

Arqueas e bactérias extremófilas e hipertermófilas

Archaea and bacteria extremophile and hyperthermophile

DOI:10.34117/bjdv8n10-343

Recebimento dos originais: 26/09/2022

Aceitação para publicação: 27/10/2022

Carlos Eduardo Bispo dos Santos

Graduando em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Avenida Murilo Dantas, 1349, Farolandia, Aracaju - SE, CEP:49032-490

E-mail: avakromo@gmail.com

Anne Caroline Faria Morais

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua Edivaldo Júnior de Faria, 324, Centro, Lagarto - SE, CEP:49400-000

E-mail: cfaria854@gmail.com

Larissa Maria Freire de Melo

Pós-graduação em Biomedicina Estética

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua Alexandre Freitas Barros, 428, Coroa do Meio, Aracaju - SE,
CEP:49035-140

E-mail: larissamfmelo@gmail.com

Jaila Rodrigues dos Santos

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua D Loteamento Jardim Cléa 207, Botequim, Estância - SE,
CEP:49200-000

E-mail: jailabiomed@gmail.com

Euller Massilon Costa Ramos

Graduando em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua Matilde Silva Lima, 81, Luzia, Aracaju - SE, CEP:49045-083

E-mail: eullercosta2000@hotmail.com

Maria Mayara Passos Menezes de Santana

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua Tenente Wendel Quaranta, 1967, Suissa, Aracaju - SE, CEP: 49052-260

E-mail: mayarapassos03@hotmail.com

Kissia Rick Santos Lima

Graduanda em Biomedicina

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua professor José Freitas de Andrade, 3517, Coroa do Meio, Aracaju - SE,

CEP: 49035-680

E-mail: kissia_1989@hotmail.com

Isabela da Silva Vasconcelos Rodrigues

Doutorado em Ciências

Instituição: Centro Universitário Mauricio de Nassau de Aracaju

Endereço: Av. Augusto Franco, 2340, Siqueira Campos, Aracaju - SE, CEP: 49075-470

E-mail: isabela.svasconcelos@yahoo.com

Mayra Morgana Martins de Moura

Especialista em Biomedicina Estética pela Facis São Paulo

Instituição: Centro Universitário Lusíada (UNILUS)

Endereço: Rua Guilhermino Rezende, 56, Salgado Filho, Aracaju - SE, CEP: 49020270

E-mail: mayramoura01@gmail.com

Bruno Vieira Humia

Doutor em Biotecnologia Industrial

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua Tenente Antonio Fontes Pitanga, 256, Farolandia, Aracaju - SE,

CEP:49032-360

E-mail: brunohumia@hotmail.com

Daniela de Jesus Messias Costa

Mestrado em Oncologia pelo A.C. Camargo Cancer Center

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Av. Hermes Fontes, 1707, Grageru, Aracaju - SE, CEP:49026020

E-mail: danielajfcosta07@gmail.com

Cleide Ane Barbosa da Cruz

Doutora em Ciência da Propriedade Intelectual

Instituição: Universidade Federal de Sergipe

Endereço: Rua Teixeira Freitas 10, Salgado Filho, Aracaju - SE, CEP:49020-530

E-mail: cleianebar@gmail.com

Lorena Xavier Conceição Santos

Doutora em Desenvolvimento, Saúde e Meio Ambiente

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua Teixeira Freitas, 10, Salgado Filho, Aracaju - SE, CEP:49020-530

E-mail: lolyxavier@hotmail.com

Raphaella Ingrid Santana Oliveira

Orientadora, Mestre em Biotecnologia Industrial

Instituição: Centro Universitário Estácio de Sergipe

Endereço: Rua Teixeira Freitas, 10, Salgado Filho, Aracaju - SE, CEP:49020-530

E-mail: dr.raphaella@gmail.com

RESUMO

O estudo sobre extremófilas e hipertermófilas proporciona o esclarecimento de algumas questões no campo da microbiologia e formação de uma hipótese de como parte de seu potencial pode ser aplicado nos campos médico e científico no geral. Assim, o trabalho objetiva mostrar que a manipulação de formas de vida extrema pouco estudadas pode ser facilitada e explorada na sua funcionalidade adotando formas de pesquisa, manuseio e observação, podendo extrair o máximo (ou o que for permitido e possível) de sua eficiência. Realizou-se um estudo de revisão bibliográfica integrativa, selecionando artigos pelos bancos de dados SciELO, PubMed e BVS, resultando na compilação dos mesmos dos anos de 1991 a 2020. A exposição do tema mostra-se de determinada importância podendo ser aplicada com a finalidade de proporcionar mais informações acerca dos microrganismos citados, essencialmente para que futuras pesquisas sejam realizadas e como acréscimo de conteúdo sobre os mesmos. Dados sobre o assunto, apreciando diferentes anos, resultaram em suas características singulares como: resistência a altas temperaturas, pressão, radiação e salinidade. Foi possível observar as características únicas e meios de vida dos diferentes tipos de bactérias e arqueas e seus mecanismos de defesa/sobrevivência que, até há pouco tempo, desafiavam a compreensão humana. Dessa maneira foi lançada a proposta de que tais mecanismos de defesa poderiam ser úteis no dia a dia em um ambiente científico facilitando os seus processos. No estudo foi destacado a grande importância desses seres vivos, assim como, a complexidade e dificuldade na sua extração e observação. O trabalho despertou a necessidade de observar a possibilidade de observação de suas estruturas genômicas e teorizar possíveis cenários onde eles poderiam ser aplicados.

Palavras-chave: bactéria, proteína, genoma.

ABSTRACT

The study of extremophiles and hyperthermophiles provides clarification of some issues in the field of microbiology and the formation of a hypothesis as how part of its potential can be applied in the medical and scientific fields in general. Thus, the work aims to show that the manipulation of little-studied extreme life forms can be facilitated and explored in its functionality, adopting forms of research, handling and observation, being able to extract the maximum (or what is allowed and possible) of its efficiency. An integrative literature review study was carried out, selecting articles from the SciELO, PubMed and BVS databases, resulting in its compilation from 1991 to 2020. The exposition of the theme is shown to be of certain importance and may be applied in order to provide more information about the aforementioned microorganisms, essentially for future research to be carried out and as an addition of content about them. Data on the subject, looking at different years, were analyzed, resulting in its unique characteristics such as: resistance to high temperatures, pressure, radiation and salinity. It was possible to observe the unique characteristics and livelihoods of different types of bacteria and archaea and their defense/survival mechanisms that, until recently, challenged human understanding. Thus, the proposal was launched that such defense mechanisms could be useful in everyday life in a scientific environment, facilitating their processes. The study highlighted the great importance of these living beings, as well as the complexity and difficulty in their extraction and observation. The work aroused the need to observe the possibility of observing their genomic structures and theorize possible scenarios where they could be applied.

Keywords: bacterium, protein, genome.

1 INTRODUÇÃO

Na microbiologia foram compilados dados sobre formas de vida extrema, dados esses que foram de absoluta importância para o estudo de outros microrganismos que conseguem sobreviver em meios mais difíceis do que aqueles que já haviam imaginado tempos atrás. Arqueas e bactérias extremófilas e hipertermófilas estão na base da vida como sendo os seres vivos mais antigos a habitar o planeta, segundo hipóteses (BROCK, 1978).

A maioria das hipertermófilas, dadas as suas necessidades de temperatura e pressão, pode chegar a 500 atmosferas (atm) e ficar numa faixa de -20°C a 122°C , podendo ser considerada a mais ancestral. A demora em sua reprodução deve-se aos seus meios inóspitos e difíceis, já que, nesses lugares, a chegada de alimento para que a sua própria vida seja possível é muito extrema (BROCK, 1994). O gasto de energia é calculado de acordo com seu sítio, tanto que algumas dessas arqueas levam bastante tempo para completar apenas um ciclo de quimiossíntese, processo de produção de matéria orgânica através de gás carbônico (MOREIRA, 2015).

Até a segunda metade da década de 60, os limites para a vida eram subestimados (BROCK, 1994). Fazendo uma paridade com outros eventos históricos e científicos, a penicilina G, o antibiótico mais usado e versátil conhecido, foi descoberta há pouco mais de 90 anos por Alexander Fleming em 1928 (JBPML, 2009) Isso ilustra a velocidade com a qual novas descobertas vêm sendo trazidas à luz.

Segundo a Cetus Corporation (1986) e a Roche Molecular Diagnostic (1991), algumas dessas bactérias como a *Thermus aquaticus* (uma extremófila termófila) já possuem seu lugar de destaque no campo da medicina, apesar de não ser a única. A sua aplicabilidade é muito presente no campo da biologia médica e é bem variada, também podendo ser usada nos testes de reconhecimento de paternidade, diagnóstico de certos tipos de câncer, HIV e sequenciamento de DNA (HERNANDES, MARIA et al., 2019). A sua funcionalidade fica também relacionada ao seu manuseio, sendo que, como ela sobrevive em ambientes relativamente fáceis de serem reproduzidos em laboratório (para fins de pesquisa) logo, a extração e aplicação de seus benefícios se torna viável (BRUMM et al., 2015).

Existe uma gama de bactérias e arqueas que não podem ser aplicadas ao uso médico comum por serem pouco estudadas. Seres vivos que sobrevivem e que se alimentam de radiação quase que de maneira inimaginável (JOLIVET et al., 2003), outros

que são resistentes a altas temperaturas e a pressão (SLESAREV et al., 2002) e algumas que podem sobreviver de maneira confortável, muito provavelmente, em lugares com pH a -1 na escala de Hammett, onde a existência do pH negativo é algo comum, sendo essa uma escala usada para evidenciar soluções ácidas fortes (OLAH et al., 2009). Todos os benefícios que esses seres vivos poderiam oferecer a diferentes áreas da ciência são deixados de lado por falta de recursos ou de interesse.

É possível teorizar que problemas como: uma melhor recuperação de um processo de quimio ou radioterapia, equipamentos mais eficientes e resistentes usados em cirurgias, nos campos da microbiologia e da bioquímica seriam amenizados com o estudo de características particulares, tendo em vista, que a enzima retirada da *Thermococcus gammatolerans* é termoestável mesmo quando aquecida a 95°C (ZHANG et al., 2020).

Assim, para viabilizar a hipótese, será feita uma metodologia de caráter básico estratégico, objetivo descritivo e exploratório sob o método hipotético-dedutivo, com abordagem qualitativa e ferramentas bibliográficas e documentais com o objetivo de expor características de cada uma das extremófilas/hipertermófilas citadas.

2 METODOLOGIA

O estudo baseou-se em uma pesquisa bibliográfica do tipo revisão integrativa, baseada em evidências (PBE). Tal revisão conta com um esquema de coleta, classificação e identificação de dados referentes ao tema, atempando e dando viés científico característico a sua análise crítica. O trabalho levou em consideração a análise crítica, classificação, avaliação e interpretação dos resultados, assim norteando o estudo apresentado (ERCOLE et al., 2014).

O levantamento bibliográfico desta pesquisa foi realizado entre agosto e outubro de 2021. Para validar a fundamentação da referida pesquisa, realizou-se uma revisão bibliográfica entre artigos internacionais selecionados nas bases de dados: Biblioteca Nacional de Medicina (PubMed), Biblioteca Virtual de Saúde (BVS) e Scientific Electronic Library Online (SciELO).

Para fins de inclusão no estudo, foram selecionados artigos que mais tivessem sinergia e relevância com o tema, assim sendo selecionados artigos de diferentes anos de publicação, mas com grande influência em cada uma de suas esferas específicas. Os descritores utilizados foram: Structural biology, Archaea, Routine PCR, bactérias, brines, halotolerance. O critério de exclusão veio a partir do discernimento de qual texto seria

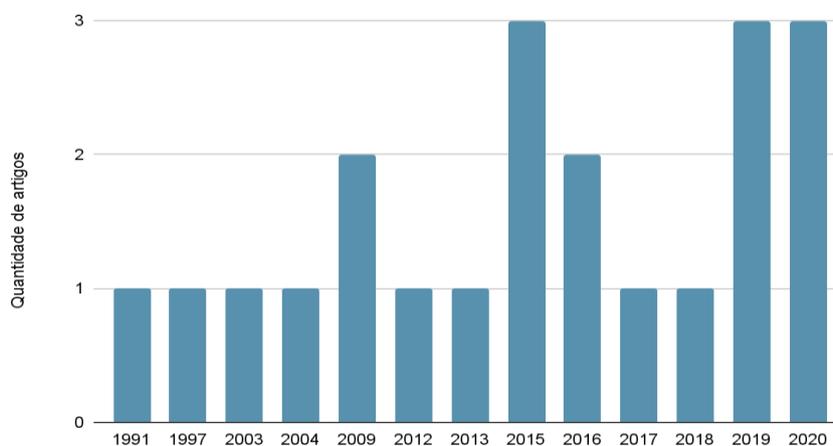
melhor aproveitado para o estudo, já que, muitos artigos apenas citam e outros são direcionados aos microrganismos que são alvo da pesquisa.

A avaliação dos resultados ocorreu por meio de gráficos (Google docs) e tabelas com as seguintes informações: Autor, revista, ano, título e resultado. Dessa forma, facilitando a observação dos dados obtidos, como também, sua discussão e classificação.

3 RESULTADOS

A pesquisa permitiu que fossem encontrados 165 artigos, mas somente 21 foram aproveitados no estudo, de acordo com o que foi tomado como ideal. Foram avaliados como “não eficientes” 144 artigos, sendo estes, sumariamente excluídos após avaliação, isso levando em conta que só foram aproveitados os artigos que falavam diretamente sobre o tema desejado. Com isso, temos a exposição do gráfico relacionando os artigos e distribuindo os seus anos de publicação (Gráfico 1) de acordo com cada base em que foi pesquisada (Gráfico 2).

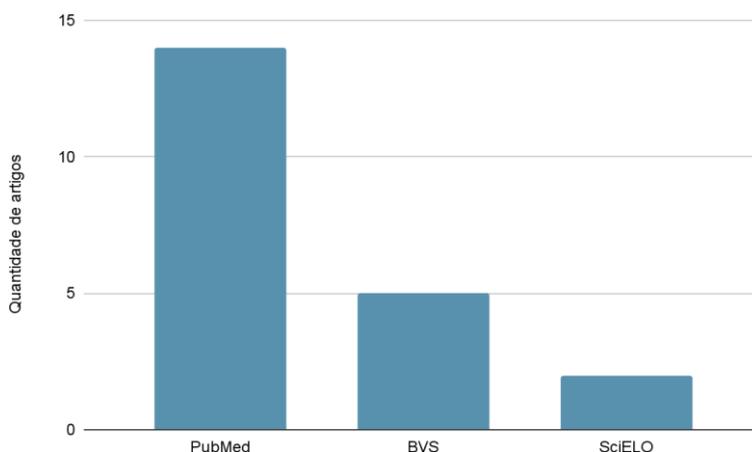
GRÁFICO 1 - Distribuição dos anos de publicação dos artigos (1991 - 2020).



Fonte: Autoria própria (2021).

O Gráfico 2 representa a quantidade de artigos por base de dados, tendo como um maior destaque os artigos das plataformas PubMed e BVS, seguido da plataforma SciELO.

GRÁFICO 2 - Distribuição quantitativa de artigos utilizados por base de dados.



Fonte: Autoria própria (2021).

Diante disso, os artigos designados que cumpriram com a proposta para que fosse possível fomentar uma discussão dentro do já estabelecido, destacam-se: Classificação das arqueas e bactérias estudadas, suas especificações, mecanismos individuais de sobrevivência, taxonomia, pontos fracos e fortes além de sua possível aplicação (Tabela 1).

Tabela 1 - Sumarização dos artigos selecionados (autor, revista, ano, título e resultado).

AUTOR	REVISTA	ANO	TÍTULO	RESULTADO
Slesarev, A. I. et al.	Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A.	2002	The complete genome of hypertermophile <i>Methanopyrus kandleri</i> AV19 and monophyly of archaeal methanogens.	Foi observado e sequenciado parte do genoma do microrganismo em questão facilitando o seu estudo, também é abordada a questão de seu monofiletismo.
Waajen, A. C. et al.	Frontiers in Microbiology	2020	Psychochemical salt solution parameters limit the survival of <i>Planococcus halocryophilus</i> in martian cryobrines.	Oferece uma relação química biológica entre fontes de vida e água em estado líquido, pondo a prova a resistência e adaptabilidade da <i>P. halocryophilus</i> em diferentes ambientes salinos, além de sua relação com a panspermia.

Kaneta, A. et al.	Nucleic Acids Research	2018	The RNA - splicing endonuclease from the euryarchaeon <i>Methanopyrus kandleri</i> is a heterotetramer with constrained substrate specificity.	Compreendimento da estrutura de RNA da <i>Methanopyrus kandleri</i> , sua transcrição e proteínas.
Burggraf, S. et al.	Systematic and Applied Microbiology	1991	<i>Methanopyrus kandleri</i> : an archaeal methanogen unrelated to all other known methanogens.	Elucidação acerca da filogenia da <i>Methanopyrus kandleri</i> , dados sobre sua estrutura e sua linhagem metanogênica.
Gros, Claudius	Astrophysics and Space Science	2016	Developing ecospheres on transiently habitable planets: the genesis project.	Oferece um estudo sobre condições de habitabilidade e uma possível diáspora biológica.
Walsh, D. et al.	Current Biology	2005	The real “domains” of life.	Trouxe a discussão sobre procariontes, traçando semelhanças entre a estrutura de arqueas e bactérias e, ainda assim, deixando claro as suas diferenças.
Jolivet, E. et al.	International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology	2003	<i>Thermococcus gammatolerans</i> sp. nov., a hyperthermophilic archaeon from a deep-sea hydrothermal vent that resists ionizing radiation.	O estudo serviu para a compreensão estrutural e descrição da <i>Thermococcus gammatolerans</i> , assim como, suas ligações químicas, DNA RNA e condições extremas.
Hernandes F. et al.	Editora Manole 4 ^o edição	2019	A célula.	Serviu de apoio para o entendimento do que é o funcionamento celular, ciclos, utilidades e matrizes.

Raymond-Bouchard, I. et al.	Environmental Microbiology	2017	Mechanisms of subzero growth in the cryophile <i>Planococcus halocryophilus</i> determined through proteomic analysis.	Estudo sobre os limites de temperatura envolvendo a <i>P. halocryophilus</i> e seu crescimento em ambientes salinos e a sua adaptabilidade a ambientes abaixo de zero.
Heinz, J. et al.	Astrobiology	2019	Bacterial growth in chloride and perchlorate brines: halotolerances and salt stress responses of <i>Planococcus halocryophilus</i> .	Relação entre o meio extremo da <i>P. halocryophilus</i> e salinas em solo de outros planetas, além de examinar os limites físico-químicos envolvendo o crescimento do microrganismo e sua tolerância a condições adversas.
Ronholm, J. et al.	Extremophiles	2015	Characterizing the surface-exposed proteome of <i>Planococcus halocryophilus</i> during cryophilic growth.	Oferece uma melhor compreensão sobre o crescimento da <i>P. halocryophilus</i> e sua composição bioquímica, tanto em ambientes com temperaturas abaixo de 0 quanto a salinidade do meio e seu surfaceoma.
Quillfeldt, J. A.	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2010	Astrobiologia: água e vida no sistema solar e além.	Proposto um estudo acerca da exobiologia e traçado um paralelo com extremófilas tomando como ponto de partida a presença de água.
Zhang, L. et al.	International Journal of Biological Macromolecules	2020	Characterization and application of a family B DNA polymerase from the hyperthermophilic and radioresistant euryarchaeon <i>Thermococcus gammatolerans</i> .	Observa a aplicabilidade de compostos que fazem parte de sua composição e sua termoestabilidade ponto térmico confortável para o seu crescimento.

Zhang, L. et al.	Applied Microbiology and Biotechnology	2019	Biochemical characterization and mutational studies of the 8-oxoguanine DNA glycosylase from the hyperthermophilic and radioresistant archaeon <i>Thermococcus gammatolerans</i> .	Feita a caracterização bioquímica da lesão de DNA causada pela oxoguanina, clivagem e sua estrutura de proteínas.
Mykytczuk, N. et al.	International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology	2012	<i>Planococcus Halocryophilus</i> sp. nov., an extreme sub-zero species from high Arctic permafrost.	Explicação sobre estrutura, classificação e local onde primeiro foi encontrado o microorganismo e também sobre a sua filogenia.
Mykytczuk, N. et al.	The ISME Journal	2013	Bacterial growth at -15°C; molecular insights from the permafrost bacterium <i>Planococcus halocryophilus</i> Or1.	Dados acerca de estrutura celular, microscopia, sequenciamento de genoma, purificação de seu DNA e análise do transcrito.
Brumm, P. et al.	PLos One	2015	Complete genome of <i>Thermus aquaticus</i> Y51MC23.	Oferece explicação sobre a sua descoberta, assim como, sua resistência a altas temperaturas, sua morfologia, aplicação em PCR, estrutura de seu genoma e metabolismo.
Rajan, R. et al.	Nucleic Acids Research	2016	<i>Methanopyrus kandleri</i> topoisomerase V contains three distinct AP lyase active sites in addition to the topoisomerase active site.	Faz um estudo sobre topoisomerase, determinação da estrutura e oferece uma explicação sobre diferentes tipos de topoisomerase e reparação de DNA.

Rospert, S. et al.	Archives of Microbiology	1991	Methyl-coenzyme M reductase and other enzymes involved in methanogenesis from CO ₂ and H ₂ in the extreme thermophile <i>Methanopyrus kandleri</i> .	Sequenciação do genoma e estuda a catalização de metano pela enzima além de estabelecer dados sobre sua descoberta e limites biológicos.
Rivera, C. et al.	International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology	1996	The phylogeny of <i>Methanopyrus kandleri</i> .	Estudo ofereceu uma maior compreensão sobre sua filogenia e determinar a sua linhagem.
Zivanovic, Y. et al.	Genome Biology	2009	Genome analysis and genome-wide proteomics of <i>Thermococcus gammatolerans</i> , the most radio resistant organism known amongst the archaea.	O estudo oferece dados relacionados à localidade da extremófila e comparações com outras espécies de extremófilas, algumas também do gênero thermococcales.

4 DISCUSSÃO

Extremófilos são seres microscópicos (em grande parte) que vivem em ambientes, como o próprio termo sugere, extremos. Esses seres não só conseguem viver em locais que, por muito tempo, foram considerados inóspitos e inadequados à sustentação da vida como também necessitam dessas condições para se manterem ativos. Caso eles saiam desses ambientes sem um devido cuidado, a morte do organismo é certa (BROCK, 1994).

Esses seres foram descobertos ainda no final da década de 70, quando biólogos começaram a voltar seus olhos para sítios antes considerados estéreis. Um deles é considerado o principal nome neste campo, Thomas Dale Brock (1926 - 2021). A incrível capacidade de sobrevivência desses seres varia de lugares extremamente quentes e ácidos para muito frios (BROCK, 1978) que em sua forma geral são considerados inóspitos e sem condições para sustentação de um antigo conceito de vida.

Existem variados tipos de extremófilas e a cada um desses tipos é designado um termo que depende diretamente do seu sítio: as que se desenvolvem em meios ácidos são denominadas acidófilas, em ambientes salinos são consideradas halófilas, as que se adaptam a temperaturas elevadas são consideradas termófilas ou hipertermófilas, em meio alcalino são chamadas alcalófilas (WOESE & FOX, 1997) e àquelas que necessitam de níveis de radiação extrema é usado o termo radioresistentes (JOLIVET et al., 2003).

A descoberta dos extremófilos deu também visão a uma linha de pensamento científico que tem raízes tanto na astronomia quanto na biologia: a astrobiologia, essa que tem uma origem intrínseca com a panspermia (QUILLFELDT, 2010). Consiste basicamente na teoria de que a vida não só se originou aqui, mas que, parte dela também veio do espaço, defendendo assim que a vida existe por todo o universo, mas não da forma que conhecemos ou somos acostumados a pesquisar (GROS, 2016). Dessa maneira a descoberta ou pesquisa por vida em lugares incomuns se torna mais vívida, podendo ser na lua, meteoro ou outro planeta; todos eles são considerados sítios extremos.

O gênero *Methanopyrus kandleri* pertence à família *Methanopyracae* sendo seu único representante. Esta é uma bactéria que foi descoberta e isolada em fumarolas aquáticas vulcânicas localizadas no golfo da Califórnia, o seu recorde de maior temperatura encontra-se em torno de 122°C e necessita de ambientes, além de incrivelmente quentes, ricos em dióxido de carbono e hidrogênio. É um anaeróbio gram-positivo em forma de bastonete e é um extremófilo excepcional (BURGRAFF et al., 2020).

Além de ser um hipertermófilo, também é um halófilo singular que pode sobreviver em altíssimas temperaturas e pode ser considerado o mais resistente dos metanógenos. Essa resistência a temperaturas elevadas se deve a sua estrutura e diferentes adaptações enzimáticas combinando assim as suas propriedades hipertermofílicas com as halofílicas e o seu metabolismo metanogênico (WOESE et al., 2020). Algumas dessas enzimas que foram moldadas para sobreviver a esses ambientes podem ser muito úteis no campo biotecnológico, na criação de equipamentos, métodos de pesquisa e avaliação e matéria-prima para laboratórios (BURGRAFF et al., 2020).

Todo genoma da *M. kandleri* foi sequenciado usando um método de sequenciamento genético personalizado e esse processo possui algumas fases: a de shotgun (onde é feito um sequenciamento do genoma total), a fase de sequenciamento direto, a fase de fechamento de lacunas e verificação de montagem e a fase de genoma computacional (SLESAREV et al., 2002). Em todo processo foi utilizado como ajuda no sequenciamento a enzima topoisomerase que trabalha justamente na separação temporária das fitas de dupla hélice de DNA e também catalisa uma quebra em suas moléculas (RAJAN et al., 2016). O sequenciamento mostrou níveis altos de Guanina e Citosina, suspeitando então que essa adaptação seja o que dê a sua característica de sobrevivência extrema. Nesse genoma estão compilados mais de 1.692 genes

codificadores e 39 genes de estrutura de RNA (SLESAREV et al., 2002). Em sua maioria, são aminoácidos carregados tanto positiva quanto negativamente, dando assim, a esse microrganismo, o ponto isoelétrico mais baixo de todas as arqueas (BURGRAFF et al., 2020). Há estudos que afirmam que a *M. kandleri* tem um alto número de genes órfãos (regiões codificadoras de proteínas que não dispõem de homólogos reconhecíveis em espécies relacionadas) (KANETA et al., 2018).

Por ser uma gram-positiva possui apenas uma membrana celular cercada por uma parede celular espessa. Tendo em vista que ela seja um hipertermófilo e ao mesmo tempo uma halófila (SHIMA S. et al., 2004), diversas mudanças estruturais precisam estar em harmonia para que seja possível a sua sobrevivência, um bom exemplo pode ser visto em sua membrana celular. Uma característica muito incomum é a presença de lipídios insaturados, mais especificamente, lipídios terpenos (terpenóides ou isoprenóides) que são de uma classe de lipídios de cadeia longa e podem ser encontrados em outras arqueas (SLESAREV et al., 2002).

A histona encontrada na *M. kandleri* é diferente das que foram encontradas em outros eucariotos metanogênicos. Ela é duas vezes maior e mesmo assim acredita-se que ela se ligue ao DNA semelhante de outros eucariotos com base em similaridades espaciais (SLESAREV et al., 2002). Outro detalhe estrutural considerado raro é a dependência de duas enzimas no teor de sal intracelular, sendo que, essa concentração afeta bastante a termoestabilidade das mesmas e às que estão envolvidas no processo metanogênico N10 e N5. Ela é protegida por um pseudomureína (este que é um pseudo peptideoglicano polissacarídeo que compõe a parede celular de apenas algumas arqueas) devido às altas concentrações intracelulares de sal (SHIMA et al., 2004).

Atualmente existem poucos estudos envolvidos na comercialização da *M. kandleri* e seu uso em áreas mais comuns. A topoisomerase é uma enzima exclusiva dessa arquea, onde a sua aplicação no campo se mostra bastante promissora e versátil, já que, possui uma capacidade de permanecer ativa mesmo que em altas temperaturas ou altas concentrações de sais. Sua singularidade também permite lidar com composições de nucleotídeos irregulares, além de estruturas de repetições complexas (RAJAN et al., 2016).

Em continuidade, a *Thermococcus gammatolernas* foi primeiramente observada em uma fissura submarina hidrotermal na Bacia de Guaymas (Golfo da Califórnia) em 2003, há cerca de 2.000 metros de profundidade. Ela se desenvolve em ambientes com

temperaturas que variam entre 60 e 95°C, sendo que seu desenvolvimento ideal esteja em torno de 90°C, além de condições necessárias de pressão e salinidade (20g/L de NaCl). O seu pH normal, para facilitar o desenvolvimento e crescimento, gira em torno de 6 sendo também o ideal para facilitar a presença de enxofre que pode ser reduzido a sulfeto de hidrogênio. A sua excepcionalidade é devido ao alto nível de tolerância à radiação ionizante e resistindo a raios gama de até 30.000 Grays (Gy) (JOLIVET et al., 2003).

Pertencente à família *Thermococaceae*, essas arqueas são anaeróbias ao extremo e quimiorganotróficas (usam compostos químicos orgânicos como fonte de energia) (JOLIVET et al., 2003). A sua enorme resistência à radiação pode ser melhor visualizada com uma comparação simples: Enquanto que para matar um ser humano só é necessária uma dose de 5 Gy e para aniquilar todas as células de uma colônia de *E. coli* uma dose de 60 Gy, o *T. gammatolerans* aguenta doses até 500 vezes maiores sem nenhuma perda de viabilidade. A fase de crescimento celular na *T. gammatolerans* não sofre alteração caso não haja uma mudança muito brusca em suas condições de sítio, mas tanto isso quanto falta de nutrientes ideais irão diminuir muito a sua radioresistência (ZIVANOVIC et al., 2009).

Após o descobrimento da *T. gammatolerans* o próximo passo foi o seu sequenciamento que conta com um cromossomo circular principal de nucleotídeos (2.042.438) que codificam 2.157 proteínas não existindo elementos extracromossômicos. A análise proteogenômica em cromatografia líquida e espectrometria de massa permitiu a identificação de 10.930 peptídeos correspondentes a 951 proteínas cuja semiquantificação foi realizada na fase celular exponencial e estacionária. Suas células formam esferas regulares com flagelos polares que permitem a sua motilidade, o tamanho varia entre 0,6 e 1.4 micrômetros e possui a capacidade de metabolizar amido e maltose. A sua natureza radioresistente é o que torna os seus estudos tão promissores e impulsiona pesquisadores a explorarem as características de seu genoma, assim também, como de seu proteoma (ZIVANOVIC et al., 2009).

Para a sua exploração foi realizado um estudo para a sua aplicação no desenvolvimento de novos marcadores enzimáticos resistentes a altas temperaturas e, também, nos estudos acerca da carcinogênese e doenças mitocondriais (ZHANG et al., 2020). Os seus mecanismos de reparo de DNA podem ser incorporados ao genoma de outras espécies superiores para reduzir o envelhecimento celular, ajudar em tratamentos invasivos que contam com o uso de radiação, entre outras aplicações (ZHANG et al.,

2019). A radioresistência da *T. gammatolerans* implica em uma variedade de aplicações que se deve, em grande parte, a incógnita de como esse mecanismo funciona, se por via metabólica ou proteínas ainda não caracterizadas (JOLIVET et al., 2003).

Em sequência, *Planococcus halocryophilus* é uma bactéria gram-positiva anaeróbia psicrófila encontrada no permafrost ártico e caracterizada como halofílica. Para a sua manutenção de vida é necessário um ambiente com alta salinidade e temperaturas excessivamente baixas, sendo que seu limite de temperatura mais baixo é de -20°C (MYKYTCZUK et al., 2013). De acordo com Brock (1994), para que exista vida só é necessário um ambiente com recursos para que a água continue líquida (mesmo que muito quente, salina ou ácida). Além disso, a *P. halocryophilus* possui uma gama de proteínas que são adaptadas ao frio extremo e isso envolve, também, alterações de membrana que a protege do ambiente (RAYMOND-BOUCHARD et al., 2017).

As suas células são móveis em formato de cocos, não formam esporos, possuem um diâmetro de 0,8 a 1,2 micrômetros e suas colônias apresentam uma cor alaranjada opaca. É também importante destacar a confortabilidade em ambos os ambientes de condições inóspitas, já que, ela é tanto psicrotolerante quanto halotolerante, vivendo assim de maneira saudável em sítios altamente salinos com uma taxa de, mais ou menos, 19% de NaCl, mas podendo também crescer a taxas de 0% de NaCl, basta a água apresentar condições para permanecer líquida (MYKYTCZUK et al., 2012).

Além dessa ser a única bactéria que conseguiu manter um crescimento tolerável, mesmo em temperaturas abaixo de zero (RAYMOND-BOUCHARD et al., 2017), ela também se mostrou ser a mais tolerante a níveis de salinidade. Possui uma capacidade singular de transformar o seu envelope celular, quando se encontra abaixo de 0°C , tanto que, essas células que se desenvolvem em temperaturas tão baixas, ganham incrustações nodulares em torno de cada célula a fim de promover uma proteção extra durante a replicação em temperaturas mais baixas. Também se destaca a sua capacidade de utilizar de, pelo menos, 25 fontes de carbono diferentes (RONHOLM et al., 2015).

Cerca de 10% do genoma total da *P. halocryophilus* é composto de aminoácidos. Sua filogenia é determinada por uma sequência de 1.550 pares de bases, possui nucleotídeos de filiação homóloga que, entre outras características, determinam essa como uma espécie diferenciada quando comparada a outras cepas (RONHOLM et al., 2017). A sua grande variedade de proteínas cria um mecanismo de regulação, tal como

de reparo, funcionando como proteínas de choque, visando manter o equilíbrio e evitando o estresse osmótico (HEINZ et al., 2019).

É também mostrado que sua estrutura enzimática e proteica age em sua arquitetura celular, atuando como um anticongelante molecular natural evitando a sua solidificação (quando em ambientes muito frios) e ao mesmo tempo construindo uma proteção a alta taxa de salinidade no meio externo (MYKYTCZUK et al., 2011). Acredita-se que esse tipo de ser vivo seja prejudicial ao meio ambiente, se de maneira abundante, tendo em vista que elas aumentam suas emissões de dióxido de carbono e podem derreter o permafrost. Isso graças a ação do homem ao interferir em seu habitat. (MYKYTCZUK et al., 2013). Além de tudo, essa é uma das bactérias mais estudadas no tocante a astrobiologia e a panspermia (WAAJEN et al., 2020).

Diante de toda esta explanação, é possível enxergar que a utilização desses seres microscópicos na vida cotidiana e em meio científico de maneira prática é um dos grandes desafios acerca das dificuldades que influem em sua exploração. Algumas dessas arqueas e bactérias conseguem sobreviver fora de seu ambiente comum, mesmo que, de maneira precária e acumulando certas dificuldades (BROCK, 1978). Um bom exemplo seria a *Planococcus halocryophilus* que consegue se reproduzir de maneira tranquila fora de seu sítio excepcional não fazendo do frio extremo e da alta salinidade como ambiente único a sua reprodução, haja em vista que ela é capaz de se reproduzir em locais com temperaturas em torno de 25°C, salinidade em torno de 0% de NaCl e pressão atmosférica regular (MYKYTCZUK et al., 2012). Mesmo que a eficiência de suas funções particulares não se desenvolva com a mesma efetividade se alocados em sítios muito frios e com salinidade em torno de 15 a 19% de NaCl, ainda ocupam destaque como uma espécie excepcional (MYKYTCZUK et al., 2013).

Segundo Waajen et al. (2020) e Mykytczuk et al. (2013), essas bactérias possuem uma desvantagem em relação ao meio em que se reproduzem. Essa desvantagem seria a alta taxa de dispersão de dióxido de carbono na atmosfera contribuindo para o derretimento do permafrost e seu degelo, um ótimo exemplo seriam as cachoeiras de sangue do Lago Bonney, na Antártida. Mas, essa característica poderia ser utilizada de outras maneiras tais como: anticongelantes de baixo custo. Esses produtos seriam amplamente utilizados em equipamentos que necessitem deste insumo para conseguirem manter uma vida útil mais aproveitável, tendo em vista que a *P. halocryophilus* é capaz de utilizar inúmeras fontes de carbono, entre elas: glicose, frutose,

dextrose, ácido acético e glutâmico (RONHOLM et al., 2015; HEINZ et al., 2019). Sua possibilidade de combinações em consonância com a sua capacidade de resistir ao frio tornam ela um potencial aliado não só no campo mecânico como também no farmacêutico.

No território da mecânica, engenharias e da física ainda existem barreiras e restrições que cada equipamento corresponde para cada área específica. Segundo Witze (2013), existe o exemplo dos space rovers, que são carros espaciais incumbidos de fazer exploração, coleta de dados e amostras em locais que um ser humano comum não conseguiria. Mesmo que essas máquinas tenham sido construídas para resistir a condições extremas, ainda assim, elas possuem as suas limitações, duas delas seriam: resistência a grandes pressões e a altos níveis de radiação (LAI et al., 2020).

Em teoria, uma boa solução para esse problema seria a análise do genoma de dois desses seres microscópicos: a *Thermococcus gammatolerans*, campeã no quesito de radioresistência (JOLIVET et al., 2003), e também a *Methanopyrus kandleri*, uma arquea que consegue resistir a altas pressões (BURGGRAF et al., 1991). A análise desses dois seres poderia oferecer algumas soluções, isso dependeria de como seria feita a exploração dos seus mecanismos de sobrevivência.

Se for tomada como exemplo a *Thermus aquaticus*, uma termófila resistente à fervura usada no sequenciamento de DNA entre outros (BRUMM et al., 2015), é possível de se imaginar pesquisas semelhantes sendo postas em prática. No que diz respeito a resistência a altas temperaturas a *Methanopyrus kandleri* consegue resistir em ambientes que estejam numa média de 120°C, algo muito raro para um ser vivo (SHIMA et al., 2004). Enquanto a *Thermus aquaticus* consegue resistir a sítios muito mais brandos, com temperaturas que giram em torno de 80°C apenas (BRUMM et al., 2015).

Em ambientes onde os recursos que envolvem radiação ionizante são necessários, o risco para saúde humana, mesmo que hoje em dia já tenha sido bastante minimizado, é ainda uma realidade. Diversos tipos de equipamentos, medicações e tratamentos utilizam dessa forma de energia atômica, de modo que, o tratamento de doenças e manutenção da vida seja potencializado (HAVRÁNKOVÁ, 2020). Mesmo com todos os cuidados, o risco ainda é real, mas poderia haver maneiras de minimizar ainda mais essa possibilidade de ameaça à saúde. Como outro exemplo, pode ser citada a acidófila *Lactobacillus acidophilus* que pode ser usada para a descontaminação de água (ANJUM et al., 2014) ou mesmo o iodo que impede que a tireóide absorva radiação demais (KIM et al., 2020).

A afinidade da *Thermococcus gammatolerans* poderia ser utilizada no campo da física médica, imagenologia, tratamentos de câncer, energia e usinas nucleares, entre outros, apenas seguindo o mesmo princípio das demais, onde suas características extremas são exploradas e utilizadas.

Poderiam, também, ser citadas possíveis melhorias no campo da agronomia, conduzindo assim experimentos para o aperfeiçoamento de algumas espécies de plantas tornando-as mais resistentes às condições climáticas ou pouca irrigação. Conseguem-se observar na *Planococcus halocryophilus* uma notável capacidade de habitação a meios que diferem do seu ideal, além de poder fazer utilização de 25 fontes diferentes de carbono. (MYKYTCZUK et al., 2013). Isso graças a sua estrutura genômica complexa e particular a tornando única, devido ao seu desenvolvimento de incrustações nodulares que servem de proteção sempre que mudam de condições de salinidade e de temperatura (RAYMOND-BOUCHARD et al., 2017).

Dessa forma, torna-se teoricamente possível o emprego, não somente dessas, mas de uma grande variedade de extremófilas em diferentes setores que englobam um certo conceito de vida, tanto podendo facilitar quanto melhorar diversos aspectos da mesma. A evolução humana depende diretamente de como se conhece, explora e estuda o meio em que se vive, tendo como um dos princípios fundamentais a otimização da vida e de como vivê-la. Se houver um esforço inserido na realização de estudos assertivos, compilação de dados e busca de resultados para essas questões, o cômputo seria generosamente recompensador.

5 CONCLUSÃO

A pesquisa apresentou diferentes tipos de arqueas e bactérias, extremófilas e hipertermófilas e seus mecanismos de defesa e adaptação para ambientes extremos por apresentarem estruturas genômicas particulares únicas, sendo comum a incidência de altas e baixas temperaturas e condições de salinidade. Os dados compilados e estudados ajudaram no entendimento de como essas formas de vida podem ser necessárias tanto para o ser humano quanto para a qualidade do ambiente, trazendo a necessidade de mais estudos esquadrihados, não só sobre esses, mas também para vários outros tipos de microrganismos extremos.

Na carreira científica existe uma necessidade para a solução e melhoramento de problemas já existentes, mas também, daqueles que ainda não apareceram. Desta forma,

torna-se crucial a aplicação de tais microrganismos a fim de melhorar a vida, sua sustentabilidade, qualidade e longevidade. A criatividade no meio científico anda de mãos dadas com o esforço de tornar a vida melhor e mais durável. O cientista, nesse aspecto, torna-se essencial no exame de práticas e tecnologias que auxiliem nessa melhora. A ele, assim como a outros profissionais, cabe o dever de perpetuar a pesquisa, e também, aprimorá-la.

Dada a variedade imensa de seres que já foram descobertos e que excederam a compreensão humana sobre o que seria o limite da vida e os que ainda esperam para serem estudados, é certo dizer que da superfície quase nada ainda foi mapeado e que ainda há muito trabalho a ser feito. É necessário o aporte de recursos para que estudos futuros sejam realizados, para que haja resultados concretos e para que esses resultados sejam empregados de maneira prática no meio a que elas se destinariam. Espera-se que seja fornecido um debate para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- ANJUM, N. et al. (2014). Lactobacillus Acidophilus: Characterization of the species and application in food production. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (9).
- BROCK, T. D. (1994). Life at High Temperatures. *Yellowstone National Park: Yellowstone Association for Natural Science, History & Education*. Inc.
- BOCK, T. D. (1978). Thermophilic Microorganisms and Life at High Temperatures.
- BRUMM, P. J. et al. (2015). Complete Genome Sequence of Thermus Aquaticus Y51MC23, *PLoS ONE*. 10.
- BURGGRAF, S. et al. (1991). Methanopyrus Kandleri: an archaeal methanogen unrelated to all other known methanogens. *Systematic and Applied Microbiology*, 14 (4).
- CARVALHO, H. F. et al. (2019). *A célula*. 4^o edição.
- GROS, C. (2016). Developing ecospheres on transiently habitable planets: the genesis project. *Astrophysics and Space Science*. 361 (324).
- HAVRÁNKOVÁ, R. (2020). Biological effects of ionizing radiation. *Casopis Lekarů Ceskych*, 159 (7).
- HEINZ, J. et al. (2019). Bacterial growth in chloride and perchlorate brine: Halotolerances and salt stress responses of Planococcus Halocryophilus. *Astrobiology*, 19 (11).
- JOLIVET, E. et al. (2003). Thermococcus gammatolerans sp. nov., a hyperthermophilic archaeon from a deep-sea hydrothermal vent that resists ionizing radiation. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53.
- KANETA, A. et al. (2018). The RNA-Splicing endonuclease from the euryarchaeon Methanopyrus Kandleri is a heterotetramer with constrained substrate specificity. *Nucleic Acids Research*, 46 (4).
- KIM, S. Y. et al. (2020). An approach to incorporate multiple forms of iodine in radiological consequence analysis. *Journal of Environmental Radioactivity*, 123.
- MILES, H. C. et al. (2020). Seeing through the “science eyes” of the ExoMars Rover. *Computer Graphics and Applications*, 40 (2).
- MYKYTCZUK, Nadia C. et al. (2013). Bacterial growth at -15°C; molecular insights from the permafrost bacterium Planococcus Halocryophilus Or1. *The ISME Journal*, 7 (6).
- MYKYTCZUK, Nadia C. et al. (2011). Planococcus Halocryophilus sp. nov., an extreme sub-zero species from high Arctic permafrost. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62 (8).

- OLAH, George A. et al. (2009). *Superacid Chemistry*. Wiley, 2^o edição.
- QUILLFELDT, J. A. (2010). Astrobiologia: água e vida no sistema solar e além. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 27.
- RAJAN, Rakhi et al. (2016). Methanopyrus Kandleri topoisomerase V contains three distinct AP lyase active sites in addition to the topoisomerase active site. *Nucleic Acids Research*, 44 (7).
- RAYMOND-BOUCHARD, I. et al. (2017). Mechanisms of subzero growth in the cryophile Planococcus Halocryophilus determined through proteomic analysis. *Environmental Microbiology*, 19 (11).
- RIVERA, M. C. et al. (1996). The Phylogeny of Methanopyrus kandleri. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 46 (1).
- RONHOLM, J. et al. (2015). Characterizing the surface-exposed proteome of Planococcus Halocryophilus during cryophilic growth. *Extremophiles*, 19 (3).
- ROSPERT, S. et al. (1991). Methyl-coenzyme M reductase and other enzymes involved in methanogenesis from CO₂ and H₂ in the extreme thermophile Methanopyrus Kandleri. *Archives of Microbiology*, 156, 49-55.
- SHIMA, S. et al. (2004). Hyperthermophilic and sal-dependent formyltransferase from Methanopyrus Kandleri. *Biochemical Society Transactions*, 32 (2).
- SLESAREV, Alexei I. et al. (2002). The complete genome of hyperthermophile Methanopyrus kandleri AV19 and monophyly of archaeal methanogens. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 99.
- WAAJEN, A. C. et al. (2020). Physicochemical salt solution parameters limit the survival of Planococcus Halocryophilus in martian cryobrine. *Frontiers in Microbiology*, 11.
- WALSH, D. A. et al. (2005). The real “domains” of life. *Current Biology*, 15 (7).
- WITZE, A. (2013). Space rovers in record race. *Nature*, 498.
- ZHANG, L. et al. (2020). Characterization and application of a family B DNA polymerase from the hyperthermophilic and radioresistant euryarchaeon Thermococcus Gammatolerans. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156 (1).
- ZHANG, L. et al. (2019). Biochemical characterization and mutational studies of the 8-oxoguanine DNA glycosylase from the hyperthermophilic and radioresistant archaeon Thermococcus Gammatolerans. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103 (19).
- ZIVANOVIC, Y. et al. (2009). Genome analysis and genome-wide proteomics of Thermococcus Gammatolerans, the most radio resistant organism known amongst the Archaea. *Genome Biology*, 10 (6).