

A Exploração Lunar: o Impacto das Missões Artemis

Ana Caroline Pasqualotto¹, Emily Lermen², Esdras Samuel Da Silva Ferreira³,
João Guilherme Vargas Pasinato⁴, Pietro Pellizzaro⁵

¹Instituto Federal Catarinense - Campus Concórdia

anacarolone0704gmail.com, eemily.lermenn@gmail.com,
esdrasamuel07@gmail.com, joaogv.pazinato@gmail.com,
pietromatheuspellizzaro@gmail.com

Abstract. *Through the analysis of articles about lunar exploration, and the Artemis Missions, this document will discuss the trip to the Moon and lunar exploration projects, taking into account the history of man on the Moon, future missions, costs, advantages, disadvantages and complications of these trips and how they can be beneficial or problematic for the development of science and technology, as well as ways to facilitate space travel and exploration. In this context, mainly the Artemis Missions will be analyzed, which aim to return to the Moon for more in-depth research and analysis as well as other topics such as the Moon Village.*

Resumo. *Por meio da análise de artigos sobre a exploração lunar, e as Missões Artemis, este documento irá discutir sobre a viagem à Lua e projetos de exploração lunar colocando em vista a história do homem na Lua, futuras missões, os custos, vantagens, desvantagens e complicações dessas viagens e como elas podem ser benéficas ou problemáticas para o desenvolvimento da ciência e tecnologia, como também formas para facilitar as viagens e explorações espaciais. Nesse contexto, serão analisadas, principalmente, as Missões Artemis, as quais tem como objetivo voltar à Lua para pesquisas e análises mais aprofundadas também como outros tópicos como a Moon Village.*

1. Introdução

Desde o início de sua existência o ser humano sonha em pisar na Lua. Quando tal feito foi realizado em 20 de julho de 1969, com o sucesso do Programa *Apollo*, a meta foi estendida para outros planetas. Com o passar do tempo, Marte se tornou o objetivo mais viável, devido à descoberta de que em Marte existem áreas com água em forma de gelo, proximidade da Terra e distância similar à da Terra em relação ao Sol. Com isso, foi criado o Programa *Artemis*, que tem como meta uma habitação lunar com objetivo de facilitar a ida de seres humanos à Marte. Este artigo busca explicar esse programa, mostrando seus objetivos, desafios entre outras questões relacionadas.

Tal programa é separado em diferentes missões, desde a *Artemis 1* até a *Artemis 6*. Até a data de produção desse artigo, apenas a *Artemis 1* foi lançada, sendo realizado em 2022 uma operação não tripulada. A segunda missão está marcada para setembro de 2025 e terá uma tripulação de três homens e uma mulher. Tendo como objetivo orbitar a Lua. O feito de pousar novamente no satélite vai ficar reservado à *Artemis 3*, com expectativa de lançamento para setembro de 2026. A quarta missão do programa está

marcada para 2028, e sua meta é instalar a *Lunar Gateway* (estação espacial em órbita lunar). Já a *Artemis 5*, com lançamento previsto pra um ano após a missão anterior, visa transportar para a *Lunar Gateway* um módulo de reabastecimento e comunicação, além de um sistema de braço robótico e um veículo terrestre lunar.

O texto a seguir é separado em diferentes tópicos. A seção 2 aborda os principais conceitos que serão tratados no artigo. Na seção 3, é apresentado os trabalhos relacionados que mostram estudos e assuntos relevantes para o artigo. A seção 4 busca desenvolver o foco principal do texto: o Programa *Artemis*. Na seção 5, é mostrado os resultados dos conceitos explicados na seção anterior e uma breve discussão sobre os mesmos. Por fim, na seção 6, são feitas considerações finais sobre o artigo.

2. Fundamentação Teórica

Na seção de fundamentação teórica, diversos termos recorrentes no artigo serão explicados de forma clara para facilitar o entendimento desses termos e temas como: foguetes, a evolução da engenharia, a física, a corrida espacial e o Programa *Apollo*.

2.1. Foguetes

Nos últimos anos, o investimento de empresas privadas em parceria com o Estado está revolucionando os veículos aeroespaciais, a partir desse contexto, a venda de viagens ao espaço vem se tornando mais frequente e então é interessante entendermos como funcionam e para que servem estes veículos para a evolução da tecnologia e da humanidade (SILVA et al., 2022).

Considera-se que os primeiros povos a lançar foguetes foram os chineses, mas a origem histórica não é totalmente conhecida, pois há relatos que os gregos utilizavam artefatos parecidos, por volta de 400 a.C. Entretanto, durante a batalha de *Kai-Keng*, temos o relato mais próximo de um foguete com as características dos atuais (SILVA et al., 2022).

Ao longo do tempo os foguetes foram evoluindo, se tornando cada vez mais tecnológicos e acessíveis às empresas. Sua forma e componentes foram sendo alterados no âmbito da engenharia e na física, já que conforme a engenharia evolui, a construção de foguetes consequentemente evolui junto, para isso é necessário não só o conhecimento matemático, mas o conhecimento físico para sabermos como será o comportamento do foguete (SILVA et al., 2022).

2.1.1. Evolução na Engenharia

Ao longo do tempo, os foguetes foram evoluindo com objetivo de alcançar lugares mais distantes com menor custo possível. Podemos começar com o combustível utilizado na queima, ação fundamental para colocar o foguete em movimento. Em 1926, Robert Goddard lançou o primeiro foguete movido a combustível líquido, utilizando gasolina como combustível e oxigênio como oxidante, essa composição é conhecida como propelente. Antes de Goddard os foguetes utilizavam combustível sólido para fazerem a propulsão¹.

¹É o movimento criado a partir de uma força que dá impulso.

Combustíveis sólidos podem ficar armazenados por longos períodos, entretanto só é possível controlar o consumo por um curto tempo. Já os combustíveis líquidos possuem uma maior eficiência e é possível ter total controle sobre a taxa de queima (SILVA et al., 2022).

Nos primeiros usos do combustível líquido, Goddard utilizou uma configuração com os motores em cima e os tanques de propelentes em baixo, algo que trouxe instabilidade para o foguete e baixa ergonomia². Depois de diversos testes, o foguete passou a ter a configuração que é utilizada atualmente, com os motores sob os tanques de propelentes e adicionado a palhetas móveis, para garantir a estabilidade do foguete e giroscópio³ para controlar sua altitude (SILVA et al., 2022).

Além do álcool e oxigênio, na combustão também era utilizado hidrogênio e sódio. Tanto a água quanto o álcool que foi utilizado na combustão serviam também para resfriar o motor, pois os gases que saíam da câmara tinham a temperatura aproximada de 2.800 °C (SILVA et al., 2022).

A grande evolução nos foguetes e que desafia até os foguetes do século XXI foi visto no *Saturn V*. Para começar, seu tamanho de 111 metros, com algo novo que não tinha no V-2⁴, os estágios. O *Saturn V* tinha 3 estágios, todos movidos a combustível líquido, que após o uso era dispensado no espaço, assim tornando o veículo mais leve e consequentemente, mais econômico. Com uma massa total carregado de quase 3 toneladas, foi o foguete utilizado nas missões *Apollo* (SILVA et al., 2022).

O primeiro estágio foi responsável por tirar o foguete do repouso e movê-lo até aproximadamente a linha de *Kármán*⁵, enquanto que o segundo estágio ficou responsável por acelerar o veículo na atmosfera superior, uma zona de praticamente vácuo. Nesses dois estágios, os motores foram distribuídos de tal forma que tinha um motor central fixo e quatro motores nas bordas que poderiam ser redirecionados de forma hidráulica, alterando então, a direção do veículo. O terceiro estágio tinha um único motor J-2⁶ e utilizava o mesmo combustível do segundo estágio (SILVA et al., 2022).

2.1.2. Física

Um dos fatores que possibilitou a ampliação dos estudos referentes aos foguetes foi a divulgação do trabalho acadêmico de Newton, especificamente do seu livro "*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* Newton (1833)". Esse livro foi essencial pois trouxe vários ensinamentos sobre a física que foram importantes para o lançamento de foguetes (SILVA et al., 2022).

De acordo com Silva et al. (2022), o lançamento de foguetes baseia-se na Terceira Lei de Newton: Ação e Reação. Essa lei diz que ao aplicarmos uma força sobre um corpo, recebemos desse corpo a mesma força, assim, a lei se aplica na ação do gás expelido pelos

²Aplicação de princípios da engenharia com o propósito de torná-la mais confortável.

³Dispositivo cujo eixo de rotação mantém sempre a mesma direção na ausência de forças que o perturbem.

⁴Primeiro míssil balístico guiado de longo alcance da história.

⁵Linha que marca o início do espaço sideral, estado localizada entre 80 km e 100 km acima da superfície terrestre.

⁶O J-2 foi um motor de foguete fabricado pela *Rocketdyne*, foi um dos maiores já construídos, e era abastecido por hidrogênio líquido.

motores do foguete, que faz com que o foguete seja colocado em movimento no sentido aposto, assim gerando a propulsão do foguete (SILVA et al., 2022).

Na base de lançamento o foguete está em repouso, considerando os objetos próximos a ele, nesse momento há um equilíbrio entre a força de gravidade que puxa o foguete pra baixo e a força da base, que empurra o foguete pra cima. Após a ignição⁷ dos motores, se produz uma força de desequilíbrio que conduz o foguete pra cima (SILVA et al., 2022).

O momento inicial do lançamento é o mais tenso, pois há um grande consumo de combustível para gerar empuxo suficiente para que o foguete possa entrar em movimento. Esse é o Princípio da Inércia, um corpo tende a permanecer no seu estado de repouso ou movimento, a menos que uma força de desequilíbrio seja aplicada sobre ele (SILVA et al., 2022).

Os foguetes no geral possuem uma grande massa, portanto, durante o lançamento eles possuem a necessidade de um grande empuxo⁸ produzido pelos gases expelidos para que o coloque em movimento, ou seja, o empuxo produzido pelos gases deve ser maior que o peso do foguete. A forma na qual se consegue esse alto valor de empuxo é com uma grande velocidade de exaustão dos gases (SILVA et al., 2022).

2.2. A Corrida Espacial

Após a Segunda Guerra Mundial, uma disputa entre União Soviética e Estados Unidos se iniciou, e essa disputa evoluiu até a Corrida Espacial, que teve seu início com a União Soviética lançando os primeiros satélites artificiais da Terra ao espaço em 1957, chamados “*Sputnik*”, e posteriormente os satélites estadunidenses chamados “*Explorer*” em 1958. Junto com o lançamento do satélite artificial *Sputnik 2* foi levada a cadela Laika a bordo do satélite, sendo assim, o primeiro ser vivo a chegar no espaço. Em 1961 os soviéticos também colocaram o primeiro ser humano, Yuri Gagarin em órbita e também a retornar em segurança. Em 1965 Alexei Leonov, comandado pela União Soviética foi o primeiro astronauta a realizar uma caminhada espacial, o que marcou o fim da era de ouro do programa espacial na União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Em 1968 Yuri Gagarin durante um voo teste acabou falecendo e no ano seguinte ocorreria a explosão do foguete de titânio N1 que seria utilizado pelos soviéticos para chegar à Lua (GEITTENES, 2022).

Em julho de 1969, os norte-americanos lançaram a missão *Apollo 11* e mais 5 viagens bem sucedidas até a superfície da Lua tempo depois. Em 1971, os soviéticos lançaram em órbita a primeira estação espacial temporal da história, a *Salyut 1*, na qual três astronautas viveram na estação por três semanas (GEITTENES, 2022).

Já em 1975, após as missões bem-sucedidas à Lua e com um desaceleramento na disputa, o projeto *Apollo* e *Soyuz* marcou uma fase de cooperação entre os Estados Unidos e a União Soviética, e ao final entende-se que, a Corrida Espacial foi de extrema importância para todas as áreas da tecnologia humana e principalmente a indústria aeroespacial (GEITTENES, 2022).

⁷Processo que inflama material ou combustível.

⁸Força exercida por um fluido sobre um objeto mergulhado total ou parcialmente nele.

2.3. O Programa *Apollo*

Decorrente da Corrida Espacial, o Programa *Apollo* foi uma série de missões espaciais realizadas pela NASA, com o objetivo de levar o homem à Lua e trazê-lo de volta em segurança. Este empreendimento monumental envolveu quase 140 bilhões de dólares e mobilizou mais de 40.000 pessoas, tornando-se um dos feitos mais incríveis da engenharia na história da humanidade. Representando uma prova das grandes conquistas que o ser humano pode alcançar. A jornada à Lua sempre foi um desafio monumental em todos os aspectos. No entanto, esse desafio foi superado com árduo esforço pelos americanos em 20 de julho de 1969. O Programa *Apollo* consistiu em um total de 17 missões, das quais dez orbitaram a Lua e seis realizaram pousos lunares. As principais missões foram as seguintes (MACAU, 2007):

Apollo 8: Em 1968, a missão foi a primeira missão a orbitar a Lua, permanecendo em órbita por cerca de 20 horas. Durante esse período, foram realizadas transmissões televisivas ao vivo, um levantamento fotográfico completo para explorar as características de possíveis locais de pouso, foram nomeadas diversas crateras e identificadas as características do campo gravitacional da Lua (MACAU, 2007).

Apollo 11: É a mais conhecida entre as missões do programa *Apollo*, sendo aquela que realizou o grande feito de colocar o primeiro homem em solo lunar. Em 16 de julho de 1969, a *Apollo 11* decolou da base de lançamento 39 do Cabo Kennedy em direção à Lua, transportando os primeiros homens a pisarem na Lua em 20 de julho. Enquanto a nave passava pela face oculta da Lua, o Módulo Lunar, chamado de Águia, se separou do Módulo de Comando e iniciou a descida. A bordo estavam Neil Armstrong e Edwin Aldrin. Após o pouso, Armstrong começou sua histórica descida pela escada em direção ao solo lunar, proferindo as famosas palavras: "Este é um pequeno passo para o homem, mas um salto gigantesco para a humanidade". Conforme visto na **Figura 1** (MACAU, 2007).

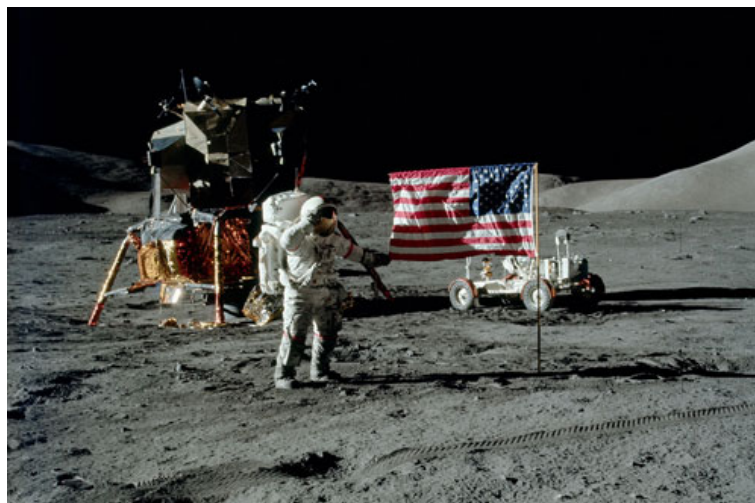


Figura 1. Primeiro homem na lua (NASA, 2024)

A *Apollo 11* foi seguida por outras seis missões. Originalmente, foram planejadas nove, no entanto, os voos das *Apollo 18* à *Apollo 20* seriam cancelados devido a cortes de orçamento na NASA. Todas as missões foram bem-sucedidas, com exceção da *Apollo 13*,

que enfrentou momentos de grande tensão devido a uma explosão no Módulo de Serviço, quase resultando na perda dos astronautas. Esse incidente foi posteriormente retratado no cinema no filme "*Apollo 13*". A partir da *Apollo 15*, os astronautas utilizaram um veículo motorizado para explorar a Lua (MACAU, 2007).

3. Trabalhos Relacionados

Por meio do artigo de Brandão (2022), realizou-se um estudo sobre a missão *Artemis* da National Aeronautics and Space Administration (NASA) que tem como objetivo o retorno à Lua até 2026. O programa *Artemis* envolve diversas agências espaciais e países, e promete avanços muito importantes tanto em termos científicos quanto tecnológicos. A análise realizada avaliou o valor científico e tecnológico da missão *Artemis*, destacando sua capacidade de possibilitar um estudo detalhado da superfície lunar, a coleta de dados históricos e o desenvolvimento de tecnologias essenciais para futuras explorações espaciais. Essa avaliação baseou-se em estudos importantes e nos resultados iniciais, como o lançamento bem-sucedido da nave espacial *Orion*. Conclui-se que a missão *Artemis* representa uma iniciativa extremamente valiosa no campo da exploração espacial, prometendo não apenas benefícios científicos e tecnológicos, mas também servindo como uma fonte de inspiração para futuros exploradores espaciais. Seus resultados iniciais demonstram progresso significativo em direção aos objetivos estabelecidos, o que reforça a importância e o potencial desta missão para o avanço da humanidade no espaço (BRANDÃO, 2022).

Como é dito por Geittenes (2022), a Corrida Espacial pós Segunda Guerra Mundial gerou grandes avanços na tecnologia, principalmente na área aeroespacial com foguetes e computadores. Esse crescimento nunca parou, e agora no século XXI, a disputa entre *Blue Origin* de Jeff Bezos e *SpaceX* de Elon Musk é o que podemos chamar de “a nova corrida espacial” e a partir dela e da evolução da tecnologia, as explorações espaciais estão cada vez mais prósperas e atingindo metas que há décadas pareciam impossíveis de se alcançar. Por meio de dados fornecidos pela NASA e empresas é concluído que devido ao crescimento exponencial dessas empresas privadas, com os grandes empresários do mundo focados em evoluir e melhorar cada vez mais a tecnologia humana e gerar grandes lucros, a exploração espacial está mais desenvolvida que nunca e muito promissora com os projetos para os próximos anos, como as missões *Artemis*, os projetos da *Blue Origin* e *SpaceX*, além dos novos avanços nas naves, estações espaciais e robôs que são lançados ao espaço com o objetivo de exploração e descoberta espacial (GEITTENES, 2022).

Através de documentos obtidos pela NASA e ONU, Pedroso (2020) afirma que, mais de dez anos após do surgimento do Tratado do Espaço Exterior que entrou em vigor em 1967 declarando que o espaço exterior é livre para exploração de todos os Estados, a Assembleia Geral das Nações Unidas aprovou o Acordo que Regula as Atividades Dos Estados na Lua e em Outros Corpos Celestes, que então entraria em vigor em 11 de julho de 1984 (PEDROSO, 2020). O Acordo da Lua reafirma e elabora muitas do que já havia sido previsto no Tratado do Espaço Exterior aplicando-as à Lua e os demais corpos celestes. O acordo também afirma que os corpos celestes devem ser usados para fins pacíficos, precisando sempre priorizar a preservação destes e que a ONU, invariavelmente, ser informada da localização e propósito de qualquer estação direcionada, com fins de exploração ou com propósito de “estacionar” nestes corpos (DEMBLING; ARONS, 1967).

O estudo de Júnior et al. (2023) oferece uma visão abrangente da evolução da exploração espacial, enfatizando a Missão *Apollo 11* como um marco histórico crucial na jornada rumo à Lua, e destaca o papel fundamental desempenhado pela NASA nesse contexto. Por meio de uma revisão teórica sobre as Explorações Espaciais e suas tecnologias, aliada a uma análise bibliográfica aprofundada, o estudo evidencia a complexidade das exigências para futuras missões tripuladas. São abordados os desafios significativos relacionados à longa duração das viagens interplanetárias e às atividades do Programa *Artemis*, destacando a necessidade premente de investimentos substanciais, estudos detalhados dos desafios técnicos e uma busca incessante por inovações tecnológicas para tornar viável essa próxima fronteira da exploração humana no espaço (JÚNIOR et al., 2023).

4. Desenvolvimento

Em 2000, os Estados Unidos apresentaram o programa Visão para Exploração do Espaço, tendo como um dos objetivos enviar astronautas à Lua e utilizar as experiências para futuras missões tripuladas a Marte. Porém em 2009, o presidente Barack Obama cancelou o programa que visava a construção de foguetes devido a altos custos de investimento. Com a assinatura do Space Policy Directives, ou SPD, em 2017, a NASA retoma suas atividades relacionadas a novas missões tripuladas e de longa duração para exploração da Lua. Foi então estabelecido o prazo limite de levar seres humanos ao polo sul da Lua até o ano de 2024 (JÚNIOR et al., 2023).

Criado em 2017 pela união entre NASA, ESA e agências espaciais de vários países, o programa *Artemis* tem como objetivo aprofundar as pesquisas a respeito da Lua e do Sistema Solar, além de aumentar a estadia dos astronautas enviados para o espaço, como forma de preparar uma futura missão ao planeta Marte (JÚNIOR et al., 2023).

O programa *Artemis* está dividido em três etapas iniciais. *Artemis I* foi a primeira missão do programa com o lançamento da nave *Orion*, com capacidade para transportar quatro pessoas, no foguete *Space Launch System* (SLS), e foi uma missão não-tripulada que levou a espaçonave para a órbita lunar e retornou em segurança para a Terra. Com duração de 25 dias essa missão foi concluída com sucesso. A segunda missão, *Artemis II*, está prevista para setembro de 2026 com objetivo de transportar quatro astronautas para um sobrevoo na Lua numa volta completa ao redor do satélite, com duração de 10 dias. A *Artemis III* está prevista para setembro de 2026, com o objetivo de realizar a primeira aterrissagem desde a *Apollo 17*. Quatro astronautas a bordo da *Orion* atracarão na *Lunar Gateway*, estação espacial em órbita lunar, permanecendo no espaço por 30 dias e, um homem e uma mulher a bordo do módulo lunar seguirão ao polo sul lunar para realização de experimentos (JÚNIOR et al., 2023).

Existem mais cinco missões posteriores. A missão *Artemis IV*, prevista para setembro de 2028, levará o módulo de habitação internacional à *Lunar Gateway*, concebido pela ESA e a agência espacial japonesa. *Artemis V*, visa levar um braço robótico e o módulo de reabastecimento e comunicação para a *Lunar Gateway* em setembro de 2029. A missão *Artemis VI*, assim como a anterior, visa levar módulos de logística para a *Lunar Gateway* em preparação para as próximas missões. Na missão *Artemis VII*, prevista para 2030, pretende-se levar um posto avançado lunar, chamado de *Lunar Surface Asset*, para a superfície da Lua. E a *Artemis VIII*, em 2030, deve ser uma missão tripulada para

utilização do posto avançado na superfície lunar (JÚNIOR et al., 2023).

4.1. Importância das missões *Artemis* na exploração lunar

O lançamento da missão *Artemis* I marca o primeiro passo no regresso da humanidade à Lua após mais de cinquenta anos, em que nenhum ser humano viajou para além da órbita baixa da Terra. Esta missão representa o início da expansão a longo prazo da nossa espécie para além da Terra, com o objetivo final de estabelecer uma presença humana permanente na Lua e, eventualmente, em Marte (KAUFMAN et al., 2022).

O programa *Artemis* não visa apenas retornar à Lua, mas também preparar-se para futuras missões no espaço. Eles planejam estabelecer uma base tripulada no lado sul da Lua, onde há evidências de depósitos de água congelada. A extração e utilização desta água será crucial para sustentar a vida humana e produzir combustível no espaço, reduzindo a dependência dos recursos da Terra. Este é um plano de ação sólido que facilitará a expansão da humanidade em todo o sistema solar (KAUFMAN et al., 2022).

4.2. Motivos para explorar e habitar a Lua

Um dos principais motivos para explorar a Lua é a busca por recursos naturais, como hélio-3, que pode ser usado na fusão nuclear, oferecendo uma fonte de energia limpa. Além disso, a Lua serve como um excelente ponto de partida para missões mais distantes no espaço devido à sua baixa gravidade. É importante ressaltar que explorar e habitar a Lua envolve aspectos jurídicos e políticos cruciais (FABRIS, 2020).

A habitação da Lua também pode fornecer valiosos dados científicos sobre a adaptação humana a ambientes extraterrestres, além de potencialmente servir como um refúgio alternativo para a humanidade em caso de catástrofes na Terra. Contudo, como Fabris observa, a comunidade internacional precisa estabelecer diretrizes claras para regular a exploração e habitação lunar, garantindo que essas atividades sejam realizadas de maneira ética e responsável (FABRIS, 2020).

Fabris (2020) destaca que, apesar desses benefícios, é essencial considerar o Tratado do Espaço Exterior de 1967, que proíbe a reivindicação nacional de corpos celestes. Este tratado garante que a Lua seja utilizada para fins pacíficos e o benefício de toda a humanidade. Portanto, a exploração lunar deve ser conduzida de forma colaborativa e regulamentada, evitando disputas territoriais e promovendo o desenvolvimento sustentável.

4.3. Desafios da habitação e exploração lunar

A habitação na Lua vem sendo muito abordada devido às Missões *Artemis*, que tem como objetivo levar novamente o homem à Lua com o intuito de criar uma habitação lunar e facilitar uma futura ida até Marte. Mesmo com um avanço significativo na tecnologia, uma futura habitação lunar ainda é algo considerado muito distante por diversos fatores, como a disputa entre os países e os altos custos.

4.3.1. Disputa entre os países

Segundo Fabris (2020) a humanidade não é um conceito bem estabelecido em direito internacional, tendo até hoje, sua definição contestada. No entanto, é possível compreender

a humanidade como um conjunto de seres humanos, independente da nacionalidade que eles possuem.

Segundo o professor René-Jean Dupuy, “seres humanos deste tempo possuem o sentimento de pertencimento duplo, à nação e à humanidade”, pois “eles participam de sistemas socioculturais que transpõem as fronteiras”. Esse sentimento de pertencimento duplo também se estender ao espaço sideral e a questão de que país o pertence (FABRIS, 2020).

Mesmo após a assinatura do Tratado da Antártica, que define ideia que um território não possa pertencer a nenhum Estado e que deve ser utilizado somente com o objetivo de “aumentar os conhecimentos do homem e melhorar nossa existência”, ainda há muito a discussão de que país pode se considerar o “Dono do universo”, tornando assim a exploração do espaço mais demorada, visto que em vez das nações se juntarem com suas tecnologias elas se isolam em suas missões e avanços (FABRIS, 2020).

4.3.2. Custos elevados

O artigo escrito por Brandão (2022) aborda os custos da NASA envolvidos nas missões *Apollo* e *Artemis* sem levar em consideração investimento de empresas privadas como, por exemplo, *SpaceX* (BRANDÃO, 2022).

Nesse estudo os custos foram separados em: (I) sistemas (Veículo Espacial, Módulo Lunar, Veículo Lançador); (II) custos do veículo espacial que envolvem o desenvolvimento do suporte e navegação; (III) custos indiretos anuais que incluem as construções das instalações, desenvolvimento do rastreamento e despesas gerais e (IV) suporte, desenvolvimento e operações das missões (BRANDÃO, 2022).

Por meio de dados disponibilizados ao longo da pesquisa pode-se concluir que os maiores gastos do programa *Apollo* foi com o veículo espacial que ocorreu entre os anos de 1963 e 1966, que corresponde ao período antes dos primeiros lançamentos teste do *Saturn V*. Todos os custos diminuíram após o lançamento do *Apollo 11* (BRANDÃO, 2022).

Além disso, também é revelado uma expectativa de orçamento para o programa *Artemis* até o final da primeira fase, *Artemis 3*, que está prevista para setembro de 2026. Os custos das próximas fases ainda não foram levantados oficialmente e, portanto, para o estudo foi comparado custos apenas até o lançamento da primeira missão de pouso humano na superfície lunar: *Apollo 11* (1969) e *Artemis* (2024) (BRANDÃO, 2022).

4.4. Moon Village

Em dezembro de 2016, o Diretor Geral da Agência Espacial Europeia, Jan Wörner, no seu Conselho Ministerial, deu rumo ao conceito da “*Moon Village*” como o próximo passo na exploração espacial humana. Porém, como é dito no artigo de Athanasopoulos (2019), a *Moon Village* é muitas vezes entendida como uma tentativa europeia de construir uma base lunar ou uma colônia lunar, quando na verdade, ela é um projeto que visa habilitar humanos a permanecer, viver e trabalhar por um certo período de tempo na superfície lunar, em resumo ela seria como um abrigo temporário na Lua, ao contrário

do que muitas pessoas pensam, a *Moon Village* não é uma tentativa de colonizar a Lua (ATHANASOPOULOS, 2019).

O artigo de Labeaga-Martínez et al. (2017) explica que, a missão *Moon Village* visa a construção de uma base permanente na superfície lunar capaz de fornecer suporte de vida durante uma missão de longa duração. Técnicas de fabricação aditiva utilizando recursos *in-situ*, do latim, “no local”, têm sido consideradas alternativas para auxiliar a construção da base permanente, devido ao enorme custo de envio de massa para a superfície lunar. A matéria-prima a ser utilizada é o regolito, que pode ser descrito como o pó obtido após séculos de colisões de micrometeoritos (LABEAGA-MARTÍNEZ et al., 2017).

A construção de estruturas de proteção na superfície lunar é, ao mesmo tempo, obrigatória e extremamente necessária, devido às severas condições ambientais. Como se pode supor, as condições ambientais na Lua são muito hostis, por conta da radiação solar e galáctica, os micrometeoritos que atingem constantemente a superfície lunar, e as temperaturas podem variar entre -171 e 110 graus Celsius (LABEAGA-MARTÍNEZ et al., 2017).

Para a construção de um abrigo para proteção humana, é necessário que, ou sejam transportados materiais de construção a partir da Terra, ou que ocorra a recolha de materiais disponíveis na Lua. Uma opção para evitar o transporte massivo de materiais para a Lua é a utilização de recursos *in-situ* (ISRU em inglês In-Situ Resource Utilization) (LABEAGA-MARTÍNEZ et al., 2017).

5. Resultados e Discussões

Através desta análise das Missões *Artemis*, que inclui um estudo aprofundado de diversos artigos relacionados, foi possível compreender a importância da exploração e habitação lunar, bem como os avanços tecnológicos e os desafios enfrentados.

As missões *Artemis* garantem que a humanidade possa viver de forma sustentável na Lua, pois estabelece metas de exploração e habitação eficientes, e desse modo, preparam o caminho para futuras missões a Marte e além, garantindo que a humanidade possa permanecer no espaço, sendo crucial para os estudos e novas descobertas. Essas missões representam um marco histórico, como o primeiro passo no retorno da humanidade à Lua após mais de cinquenta anos, desde o fim do Programa *Apollo*. Além disso, a construção de uma base tripulada no polo sul lunar, onde há ameaças de depósitos de água congelada, possibilita o aproveitamento desse recurso. Isso possibilita a produção de combustível no espaço e torna a habitação humana mais eficiente.

Entretanto a habitação lunar possui certos desafios, como a falta de colaboração entre os países e os altos custos enfrentados para manter uma habitação, atrasam o processo de desenvolvimento de missões futuras ao astro. Um dos obstáculos é a disputa entre os países pela habitação espacial, sendo que cada nação trata de uma abordagem e tecnologia para chegar a esse objetivo. Além disso também existe o desafio em relação aos altos custos necessários para enviar e fazer manutenção de uma base lunar.

Partindo desse pressuposto o Tratado da Antártica, um território não pode pertencer a um Estado, mas deve ser utilizado com o objetivo de aumentar o conhecimento do ser humano. Entretanto, na prática, as coisas funcionam de forma diferente. Um bom

exemplo disso é a Guerra da Ucrânia, onde a Rússia tenta retomar o território, que no passado pertencia a Ucrânia, mesmo agora já "pertencendo" a outro país. Se no próprio planeta Terra já existe essa divergência é apenas questão de tempo para que o homem habite outro lugar, e então esse conceito apresentado pelo Tratado vai ser apenas uma utopia.

Como já discutido anteriormente no desenvolvimento do artigo, a *Moon Village* é um projeto para estabelecer uma base permanente na Lua, não visando colonizar a Lua, mas sim estabelecer uma base permanente para missões de longa duração, na qual os astronautas possam permanecer na vila, para trabalhar e viver por um curto período de tempo. Garantindo então, ajuda e suporte para astronautas em missões espaciais, o que se provaria muito útil, uma vez que viagens espaciais não podem ir e voltar do espaço até a Terra a qualquer momento para fazer reajustes ou suprimentos para a viagem. Já sobre a construção da *Moon Village*, uma alternativa mais viável seria utilizar o regolito contido na Lua, o que diminuiria os custos de transporte, embora a extração do regolito também possua custos, essa opção ainda seria mais viável do que o transporte de materiais terrestres.

No desenvolvimento do artigo, exploramos os motivos e as implicações de explorar e habitar a Lua. Um dos principais incentivos é a obtenção de recursos como o hélio-3, que pode revolucionar a produção de energia. Além disso, a Lua oferece uma plataforma para missões espaciais mais ambiciosas. O estudo enfatiza essas atividades que devem ser regulamentadas pelo direito internacional, como o Tratado do Espaço Exterior de 1967, para garantir uso pacífico e benefícios coletivos. A colaboração internacional é essencial para evitar conflitos e promover um desenvolvimento sustentável e ético. Concluímos que a exploração lunar, bem regulamentada, pode trazer avanços significativos para a humanidade.

Os avanços no desenvolvimento do *Human Landing System* (HLS) são cruciais para o sucesso das missões lunares tripuladas. A construção e os testes deste módulo lunar têm sido intensos e multifacetados, abrangendo desde a concepção inicial até as simulações rigorosas e testes de voo. As empresas contratadas pela NASA, como a *SpaceX*, têm trabalhado arduamente para garantir que o HLS não apenas atenda aos requisitos de segurança e funcionalidade, mas também ofereça um ambiente confiável e sustentável para os astronautas durante sua descida e estadia na superfície lunar. Testes recentes de protótipos demonstraram avanços significativos em pousos suaves e precisão de alunissagem, elementos essenciais para minimizar os riscos nas operações lunares.

6. Conclusões

Por meio deste estudo e das análises realizadas sobre as Missões Artemis, foi possível discutir a importância deste programa que marcará o retorno da humanidade à superfície lunar após mais de cinco décadas desde o fim do Programa Apollo. O principal objetivo das Missões Artemis é a exploração espacial avançada, incluindo a construção de uma habitação sustentável no solo lunar, a coleta de dados científicos, amostras de minerais e outros elementos presentes na atmosfera lunar. Dessa forma, é possível identificar a importância para o avanço do conhecimento humano e para o desenvolvimento de novas tecnologias.

No entanto, apesar de a viabilidade técnica das missões serem promissora, é es-

sencial alcançar melhorias em diversos fatores para garantir o sucesso sustentável do programa. Entre esses fatores estão questões geográficas, econômicas e tecnológicas. Alguns dos principais desafios incluem a falta de colaboração internacional, os altos custos de manutenção da base lunar e a disputa por territórios na Lua. Superar esses desafios será fundamental para o êxito do Programa Artemis.

Se concluído com sucesso, o Programa Artemis será lembrado pela humanidade por suas realizações tecnológicas, financeiras e sociais. Este programa não apenas impulsionará a exploração espacial, mas também inspirará futuras gerações a continuar buscando inovações e colaborando em escala global para a expansão da presença humana no espaço.

Referências

- ATHANASOPOULOS, H. K. *The moon village and space 4.0: The 'open concept' as a new way of doing space?* **Space Policy**, Elsevier, v. 49, p. 101323, 2019.
- BRANDÃO, I. K. M. Análise da utilidade de missão do programa artemis. 2022.
- DEMBLING, P. G.; ARONS, D. M. *The evolution of the outer space treaty*. 1967.
- FABRIS, A. L. A quem pertence a lua? **Cadernos de Astronomia**, v. 1, n. 1, p. 99–107, 2020.
- GEITTENES, L. C. D. T. A corrida sideral do século xxi: *SpaceX, Blue Origin* e a indústria aeroespacial. Cruzeiro do Sul Educacional, 2022.
- JÚNIOR, O. F. dos S.; PEREIRA, F. N. V.; FERNANDES, I. F. de. O caminho para levar o homem ao planeta marte: *THE WAY TO TAKE MAN TO THE PLANET MARS*. **Caderno de Física da UEFS**, v. 21, n. 01, p. 1606–1, 2023.
- KAUFMAN, J. A.; FLOYD, T. E.; LENARTZ, A. *Artemis and an environmentally sustainable future beyond earth*. **Futures**, v. 144, p. 103060, 2022. ISSN 0016-3287. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016328722001604>>.
- LABEAGA-MARTÍNEZ, N. et al. *Additive manufacturing for a Moon village*. **Procedia Manufacturing**, Elsevier, v. 13, p. 794–801, 2017.
- MACAU, E. E. Chegamos à lua. **A conquista do espaço: do Sputnik à missão centenário**. São Paulo: Livraria da Física, 2007.
- NASA. **Primeiro homem na lua**. 2024. <<https://www.nasa.gov/podcasts/houston-we-have-a-podcast/apollo-and-the-moon/>> [Acessado: 24/09/2024].
- NEWTON, I. *Philosophiae naturalis principia mathematica*. [S.l.]: G. Brookman, 1833. v. 1.
- PEDROSO, I. C. d. desafios na regulamentação do uso e da exploração do planeta marte. 2020.
- SILVA, S. d. S. et al. Foguete: revisão histórica e impactos na sociedade. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2022.