

Linux nas incursões espaciais americanas no século 21 Linux in american space forays into the 21st century

Marcos Paulo da Rocha Moura Miúdo 
marcospaulomoura1999@gmail.com

Simone Maria Viana Romano
simone.romano@fatec.sp.gov.br

Angelo Werthmuller Fondello Silva 
angelo.silva14@fatec.sp.gov.br

RESUMO

A tecnologia espacial é um dos setores que mais investe em automação e integração de estruturas e equipamentos. Envolvendo um enorme número de empresas diferentes, sempre apresentou um desafio entre integração de *software* e *hardware* das mais diversas áreas. Os computadores necessários para controlar e processar toda essa estrutura necessitam ser ágeis, confiáveis e capazes de executar todos os desafios propostos por esta tecnologia. Controlando estes computadores, o sistema operacional Linux mostrou-se capaz de realizar esta missão, sendo atualmente utilizado nos grandes foguetes reutilizáveis ou em drones sob solo marciano. Este estudo exploratório, realizado como revisão bibliográfica, destaca a aplicação do Linux, assim como a tecnologia espacial e seus desafios. Os dados obtidos durante a pesquisa possibilitaram afirmar que a NASA e a SpaceX mudaram a forma como equipes e empresas atuam nas missões espaciais. O Linux vem permitindo que equipes de cientistas em universidades ou empresas de tecnologia de pequeno porte atuem de forma importante para o sucesso da nova era espacial. A missão espacial DM-2 ocorrida em maio de 2020, é a prova do sucesso da utilização do Linux.

PALAVRAS-CHAVE: NASA. Linux. SpaceX. Espaço.

ABSTRACT

Space technology is one of the sectors that most invests in automation and integration of structures and equipment. Involving a huge number of different companies, it has always presented a challenge between integrating software and hardware from the most diverse areas. The computers needed to control and process this entire structure need to be agile, reliable and able to perform all challenges. The Linux operating system proved to be capable of accomplishing this mission, and is currently used in large reusable rockets or drones under Martian soil. This study, carried out with a bibliographic review, highlights the history and increase in the application of Linux, as well as space technology and its great challenges. The data obtained make it possible to state that NASA and SpaceX have changed the way teams and companies operate in space missions. Linux has enabled teams of scientists at universities or high-tech companies, but small, without large resources, to act in a vital way for the success of the new space age. The DM-2 space mission, from May 30, 2020, became proof of the success of using Linux.

KEY-WORDS: NASA. Linux. SpaceX. Space.

INTRODUÇÃO

O século XXI é um ponto marcante da história em relação aos equipamentos, e independente da área, sempre haverá alguma tecnologia nos auxiliando. No mundo, a inovação é importante, pois sem ela uma tecnologia pode ficar ultrapassada.

A maioria dos equipamentos possuem, em comum, um sistema operacional. Este sistema interage com diversos componentes e acessórios, o *hardware* do computador. Seja nos equipamentos diversos ou nos computadores, é possível dizer que há uma falta de confiança e conhecimento para sistemas operacionais gratuitos. Apesar disto, o *Linux*, um sistema operacional *open source* e gratuito, apresentou um crescimento em 2020, em parte, por causa do encerramento do suporte ao popular *Windows 7* (uma versão do sistema operacional *Windows*, desenvolvido pela empresa *Microsoft* em 1985) (W3SCHOOLS, 2020).

O presente trabalho tem como objetivo estudar o sistema operacional *Linux* e sua aplicação tecnológica na área espacial, demonstrando a confiança no uso deste sistema em programas especiais, dado o perigo que uma falha nesta tecnologia acarretaria, incluindo prejuízos físicos, ambientais e humanos, muitas vezes irreversíveis. A segurança e a alta performance exigida para o sucesso de uma missão espacial requer atenção em todos os detalhes, incluindo os sistemas operacionais integrados aos milhares de componentes de uma nave espacial.

Este artigo, por meio de uma pesquisa exploratória e de revisão bibliográfica em artigos referentes a utilização do *Linux* na engenharia espacial, revela a evolução deste sistema operacional, assim como a ampliação de sua utilização e versatilidade, apontado que o *Linux* está cada vez mais predominante na tecnologia espacial.

Para isso, será primeiramente contextualizado o tema, mostrando um pouco da história da exploração espacial; posteriormente serão detalhadas as especificações técnicas e composição do *Linux*. Em seguida, será descrito o início do uso do sistema e como ele foi escolhido e utilizado na maior agência espacial do planeta.

Em destaque, o voo da *SpaceX* (*Space Exploration Technologies Corp*, uma empresa americana com foco em veículos e aeronaves espaciais), que já é um marco histórico, foi realizado utilizando *Linux* e outras tecnologias de código livre.

1. CONCEITOS INICIAIS

O homem observa as estrelas desde o princípio dos tempos e, com a evolução tecnológica, foi possível aperfeiçoar o conhecimento dessa área com lunetas, telescópios; hoje, existem grandes observatórios espaciais desvendando o espaço. Ao longo do tempo, apenas observar de longe, tornou-se algo insuficiente para o ser humano. Então foram idealizados e criados os satélites artificiais, que nada mais são do que dispositivos com determinadas funcionalidades que foram lançados ao espaço pela raça humana a fim de contemplar diversos objetivos dos governos, tais como monitoramentos, implementações de conexão, mapeamento de dados científicos entre muitas outras utilizações.

Observar o espaço de perto já era uma realidade, então foram surgindo ideias de expedições espaciais. Com tanta curiosidade e avanços nesta área, o homem precisava de mais segurança, confiabilidade, otimização e uma melhor manutenção para realizar estas expedições.

Uma vez que a área de tecnologia requer a utilização de vários termos técnicos neste artigo, é importante que sejam abordados alguns conceitos voltados para a funcionalidade prática dos componentes de informática e outros conceitos relacionados ao tema e suas aplicações.

Esses conceitos são o *kernel* e o sistema operacional. Um exemplo de sistema operacional, é o *Windows*, um sistema muito conhecido por estar instalado na maioria dos computadores.

O nome *kernel* vem do inglês, e significa “núcleo”. Em linhas gerais, o *kernel* é o “cérebro” do computador. Peça fundamental dos sistemas operacionais, ele é a ligação entre o processamento dos dados e os programas. Mesmo estando presente no *Windows* e no *MacOS*, por exemplo, ele ficou mais conhecido com o desenvolvimento do Linux. (SACRAMENTO, 2014).

Outro exemplo de sistema operacional é o *Macintosh Operating System (MacOS)*, sistema operacional usado e desenvolvido pela empresa norte americana *Apple*, difundido e usado nos *MacBooks (notebooks da marca Apple)* e *iPhones (celulares da marca Apple)*, ou ainda é possível citar o *Android* (um sistema operacional de *smartphones*, o *Android* é baseado no *Kernel Linux*) como outra opção de sistemas operacionais.

Seguindo uma linha de raciocínio parecida, Plaza (2014) afirma que: “podemos definir o sistema operacional como um *software* primário que opera entre o *hardware* do dispositivo e milhares de outros *software*, os aplicativos”.

Fazendo uma analogia, pode-se comparar uma nave espacial a um sistema operacional, pois, é um artefato ou veículo que uma pessoa consegue ver (parte visual) e manipular (parte de sistema e controles). Mas, para que essa nave possa ser controlada e manipulada para

funcionar corretamente, ela precisa de um motor. Esse motor da nave seria o *kernel*, sendo a parte lógica por trás do sistema operacional o que permite a boa funcionalidade e manipulação desse sistema.

O *kernel* em questão é o *Kernel Linux*, que roda a base de um código aberto e que depende de uma comunidade (pessoas dispostas à manutenção deste código). Este *kernel* e os sistemas baseados nele, são, na maioria, gratuitos.

Sistemas baseados em código aberto são mais conhecidos como *open source*, termo em inglês que descreve um *software* ou sistema operacional que tem seu código fonte mantido por comunidade e sem custo de licença.

Existe também o *NT Kernel*, ou *Windows NT*, que é o *kernel* utilizado pela *Microsoft* para o desenvolvimento do *Windows*. Neste caso, existe uma empresa por trás de todas as operações e esse *kernel* é a base para um sistema que exige uma licença para ser usado; portanto, é pago.

Kernel Linux é um produto de código aberto e gratuito que foi disponibilizado por Linus Torvalds (Figura 01), em 1991, para o uso e base de desenvolvimento para os que se interessaram. A partir do *Kernel Linux*, foram surgindo algumas versões de sistemas operacionais com suas particularidades, como por exemplo *Debian Linux*. Segundo Fernández-Sanguino (2020), o Debian é uma das versões mais antigas e que quando foi lançado era a única distribuição aberta para a contribuição de todos os desenvolvedores e utilizadores.

Essas duas versões de sistemas foram as bases para novas distribuições (versão modificada de um sistema operacional baseado em *Kernel Linux*). Há também uma distribuição que ocorreu a partir do *Debian Linux*, muito conhecida, o *Ubuntu* e o *Red Hat* que também serviram de base para outros sistemas operacionais, como por exemplo o *Fedora*.

Figura 01 - Linus Torvalds



Fonte: Linux Journal (2019)

2. LINUX e NASA

A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), ou Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço, é a agência de ciência espacial americana, criada na Guerra Fria (1947-1991) com o intuito de enviar o homem à Lua.

A criação da NASA foi totalmente relacionada à corrida espacial entre os Estados Unidos da América (EUA) e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) que já havia, também, criado o Programa Espacial Soviético.

Segundo a *Linux Foundation*, os computadores contavam com uma versão do Windows chamada Windows XP como sistema operacional que, por motivos de falta de suporte técnico a distância, necessitavam de um sistema de fácil manutenção, maior segurança e estabilidade, que o líder da equipe de infraestrutura da *United Alliance*, empresa que a NASA contratou para os projetos que envolveram o Ônibus Espacial Discovery e da Estação Espacial Internacional (no original: *International Space Station*, ISS).

Optou-se por utilizar um sistema operacional com *kernel* baseado em Linux. E foi assim que a NASA acabou decidindo utilizar uma versão um tanto antiga, porém estável do Debian Linux.

Com o novo sistema operacional, a NASA conseguiu a estabilidade e a segurança que precisava para operar os seus sistemas. Ademais, trabalhou com sistemas Linux e aplicações de código aberto para redução considerável de custos na implantação do ambiente tecnológico. Fora maior estabilidade e menor custo, o sistema operacional Debian 6 também ofereceu um melhor desempenho para as máquinas, levando em consideração que não necessitava de equipamentos robustos para rodar perfeitamente (LINUX FOUNDATION, 2013).

A segurança, a estabilidade e, principalmente, o maior desempenho oferecido pelo Debian Linux, também justificava a escolha de uma versão estável do sistema, levando em consideração que, na época da implantação, já estava para ser lançado o Debian 7; mesmo oferecendo algumas ferramentas adicionais, não poderia atender as necessidades da empresa, por não estar há tanto tempo no mercado. A nova versão do Debian Linux poderia apresentar eventuais instabilidades.

A implantação do novo sistema operacional iniciou-se em 2011. Os astronautas começaram a utilizar notebooks com Linux e as máquinas receberam o codinome de Squeeze devido a sexta versão do Debian Linux, que tinha o mesmo apelido.

Foram desenvolvidos dois cursos, em parceria com a Linux Foundation, para ensinar aos astronautas conceitos do Linux - do básico ao avançado e, também, para orientar os

envolvidos a desenvolver aplicações para o novo sistema. Somente, então, foram feitas as devidas substituições nos sistemas da Estação Espacial Internacional.

As máquinas que, antes rodavam Windows, agora passaram a trabalhar com Debian. (uma sua sexta versão escolhida, dada sua maior estabilidade e tempo de uso pela comunidade). Com o tempo, a NASA seguiu com as aplicações Linux, usando o sistema em suas missões seguintes.

A implantação e o uso do Linux passaram a integrar o sistema operacional para operar o R2 (Robonaut 2): um robô humanoide desenvolvido em parceria com a GM (General Motors), criado para operar as mesmas ferramentas que um humano seria capaz de operar. Uma réplica do R2 foi apresentada em 06 de fevereiro de 2011, em um Super Sunday, evento anual onde ocorriam importantes jogos da Liga de Futebol Americano nos Estados Unidos da América.

Em 2011, foram cancelados os planos para lançamentos de naves tripuladas por humanos, voltando a serem feitas em 2020, onde Doug Hurley e Bob Behnken, os primeiros astronautas da NASA a voar para uma empresa privada, não chegaram no tradicional Astrován, e, sim, em um Tesla Model X fabricado pela empresa de seu chefe (GUIMÓN, 2020).

2.1 LINUX NO ESPAÇO

A NASA em conjunto com a *SpaceX* continuou com os estudos e lançamentos não tripulados. Um exemplo real foi o lançamento do próprio R2, um robô humanoide desenvolvido para auxiliar os astronautas em suas tarefas e, também, servir como companhia. Enquanto sua réplica estava em exibição no *Super Sunday*, o verdadeiro R2 estava a bordo do *Discovery* que aguardava seu lançamento, ocorrido em 24 de fevereiro de 2011, no *Kennedy Space Center*.

Segundo Sneddon (2018), em 2018, foi apresentado o *Crew Interactive Mobile CompaniON* (CIMON) (apresentado na figura 02 a seguir), um assistente baseado em inteligência artificial que foi desenvolvido para rodar no *Ubuntu*.

O CIMON é um assistente autônomo, alimentado por IA, que pode ver, ouvir, entender e falar com astronautas graças a uma série de câmeras, microfones, sensores e processadores *on-board*. Doze *fans* internos dão ao seu corpo, uma bola flutuante de 8kg, mobilidade direcional completa, incluindo a capacidade de acenar ou sacudir a cabeça (SNEDDON, 2018).

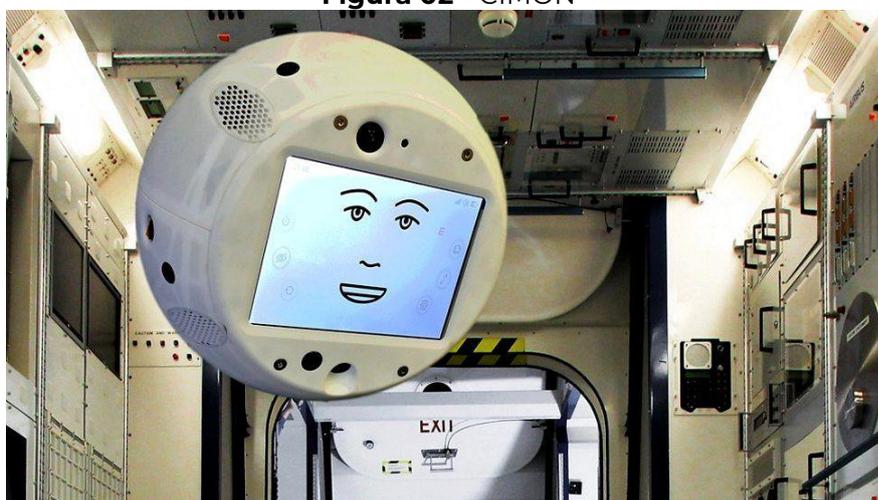
Sneddon (2018) afirmou que a ideia começou com a iniciativa de ajudar os astronautas em momentos de ocupação, uma vez que o CIMON pode interagir através de comandos por

voz. Os astronautas estariam livres para concluir tarefas que ocupariam ambas as mãos, enquanto interagiam com o assistente.

O assistente podia efetuar pesquisas e dar explicações para os astronautas, mas esse não era 100% do seu propósito. O CIMON desempenhava um papel social cuja finalidade foi pensada desde o seu desenvolvimento físico, contendo em sua estrutura uma cabeça arredondada e apresentando a tela um rosto amigável.

A base de dados do assistente tem como origem uma *cloud* (um sistema de armazenamento em nuvem) da empresa *International Business Machines Corporation* (IBM), criada em 1911; a mesma utilizada para o *IBM Watson* (Inteligência artificial desenvolvida pela IBM).

Figura 02 - CIMON



Fonte: BBC (2018)

Mesmo com todo investimento em explorações espaciais e ferramentas, para que isso fosse possível, Elon Musk, fundador, CEO (*Chief Executive Officer*, o Diretor Executivo) e CTO (*Chief Technology Officer*, o maior nível empresarial da área de tecnologia) da *SpaceX*, ainda queria mais. Depois de alguns estudos, decidiu investir pesadamente em uma área um pouco diferente. Assim surgiu o projeto *Starlink* (Figura 03), uma rede de satélites que tem o objetivo de fornecer internet de alta velocidade e baixa latência para usuários e com cobertura global de conexão.

Figura 03 - Satélite da *SpaceX*

Fonte: BBC (2020)

Quando um satélite apresenta defeitos que não podem ser reparados, a empresa rebaixa a órbita do satélite que é atraído pela gravidade da terra e este acaba entrando novamente na atmosfera do planeta, sendo, assim, completamente queimado no processo. A fase de testes apresentou como resultados iniciais que a conexão atinge uma velocidade que ultrapassa a marca de 100Mbps (*Megabits* por segundo) (BOYLE, 2020).

O objetivo é chegar a 1Gbps (*Gigabits* por segundo) por usuário. A conexão será feita com terminais em solo, assim como a maioria dos dispositivos *Wi-Fi* (uma tecnologia que permite que aparelhos se conectem à internet sem a utilização de fios). O grandioso projeto tem se mostrado real e funcional. É possível ver da Terra a rede de satélites quando estão em uma órbita mais baixa, pois, refletem a luz solar aparecendo no céu como um “cordão estelar”.

Esse “cordão estelar” gerou críticas de astrônomos que alegaram que isso dificultava a observação astronômica em solo, mas o CEO da *SpaceX*, afirmou que, futuramente, os satélites vão ser equipados com quebra-sol para evitar a reflexão solar.

Os engenheiros da *SpaceX*, responsáveis pela rede, afirmaram que existem mais de 480 satélites funcionando em órbita e cerca de 60 novos satélites são enviados a cada lançamento. Nesses lançamentos, existem cerca de 4 mil computadores que operam com sistema operacional Linux.

Segundo Boyle (2020), que recebeu essas afirmações do próprio Mat Monson, participante do projeto *Crew Dragon Endeavour* (Figura 04), apesar de toda segurança por trás de sistemas operacionais baseados em Linux, ocorreram erros. Acrescentou, apenas, que atualizações de sistema foram suficientes para eliminar esses problemas.

Esse fato prova a segurança e praticidade do Linux. As atualizações de sistema dos satélites são bem constantes. Em geral, a rede gera cerca de 5 TB (*Terabytes*) de dados por semana, em sua maioria são dados relacionados a telemetria. Alguns filtros são feitos para

reduzir a redundância e quantidade de dados armazenados, tudo deve ser bem calculado, pois a rede *Starlink* está sempre “conversando” com a *Crew Dragon Endeavour*.

Como demonstrado no quadro 1, a seguir, a jornada do Linux até ganhar os céus foi vagarosa, mas aos poucos se tornou mais presente. Esses são dados de lançamentos de alguns dispositivos que usam Linux no início do século 21.

Quadro 1 - Lista de dispositivos

| Nome | Operador | Data de Lançamento | Detalhes |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------|---|
| <i>QuakeSat</i> | <i>QuakeFinderLLC</i> | 2003 | <i>Diamond Systems Prometheus PC/104x86</i> modulo CPU com Red Hat Linux |
| UWE-11 | Universidade de Würzburgo | 2005 | <i>Hitachi H8S 2674 16-bit microprocessor</i> , μ Clinux |
| <i>MidSTAR-1</i> | Academia Naval dos Estados Unidos | 2007 | ARM Linux em um <i>payload controller</i> |
| UWE-22 | Universidade de Würzburgo | 2009 | <i>Hitachi H8S 2674 16-bit microprocessor</i> , μ Clinux |
| <i>X-Sat</i> | Universidade de Tecnologia de Nanyang | 2011 | <i>Payload controller</i> : Linux em vários processadores <i>StrongArm SA1110</i> |
| <i>IPEX</i> | <i>Cal Poly SanLuis Obispo, JPL</i> | 2013 | 400 MHz <i>Atmel ARM9</i> CPU, Linux 2.6.3 |
| <i>STRaND-1</i> | Centro Espacial <i>Surrey</i> | 2013 | <i>Digi-Wi9C</i> com μ Clinux e <i>GoogleNexus One</i> com <i>Android</i> |
| <i>PhoneSatsatellites</i> | NASA | 2013 | <i>Google Nexus One</i> e <i>Nexus S</i> com <i>Android 2.2</i> |
| <i>Dove satellites</i> | Plannet | 2013 | Processadores <i>COTS x86</i> de baixo consumo, <i>Ubuntuuserver</i> |
| <i>LightSail-1</i> | Sociedade Planetária | 2015 | Computador de placa única <i>Tyvak Intrepid v6</i> |

Fonte: Adaptado de Leppinen (2017)

Não é de domínio público encontrar as informações utilizadas nos códigos desses lançamentos, mas é possível identificar um padrão entre os lançamentos e comparar seus resultados e motivações. Em 2003, com o lançamento do *QuakeSat*, o objetivo era provar conceitos para detecção de sinais precursoros de terremoto diretamente do espaço. Ele era um nanossatélite (Nanossatélite, nomenclatura de satélites com menos de 10kg).

Em 2005, foi lançado outro nanossatélite, o UWE-1 (acrônimo de *University Würzburg Experimental 1*) do departamento de informática da universidade de *Würzburg*, mais uma vez com caráter experimental. Tinha como objetivo tirar fotos da Terra. Foi usado na missão da Agência Espacial Europeia de *Plesetsk*, na Rússia. Este é um dos chamados *cubesat* (uma

subcategoria de nanossatélite, são mais miniaturizados e geralmente usados para pesquisas espaciais e comunicações radioamadoras; tendem a ter menos de até 1,5 kg) (LEPPINEN, 2017).

Este, por sua vez, foi logo seguido de mais três outros lançamentos usando Linux até 2018; porém, a partir do segundo, que veio em 2007, as especificações técnicas foram mantidas em sigilo, apenas é conhecido o uso de Linux.

Os especialistas usaram as duas maiores características do Linux, a portabilidade e a versatilidade, além de tornar os satélites mais baratos. Porém, em 2005, o Linux foi usado em um autêntico satélite, o *MidSTAR-1*, um satélite artificial produzido pelo Programa de Pequenos Satélites da Academia Naval dos Estados Unidos.

Ainda foram lançados outros satélites e podem-se destacar dois. O primeiro é o *LightSail-1*, que foi lançado pela *The Planetary Society* (uma organização sem fins lucrativos criada em 1980 criada por Carl Sagan). Segundo *The Planetary Society* (2020), o satélite foi lançado como uma demonstração de tecnologia espacial e, para isso, usou *Linux*. Leppinen (2017) ainda mostra que em 2013, quando a NASA realizou o lançamento de seu primeiro satélite, o *PhoneSat*, *CubeSats* criados a partir de *smartphones*.

E como último exemplo, segundo Rigues (2021), em 22 de fevereiro de 2021, após uma viagem de exatamente 7 meses, a missão *Perseverance* chegou à Marte. Nela, como experimento de demonstração tecnológica, foi enviado um drone chamado de *Ingenuity*, Tim Canham, engenheiro de software da NASA, realizou uma entrevista em 17 de fevereiro de 2021 para a *IEEE Spectrum* (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, uma organização profissional sem fins lucrativos americana) e disse “Esta é a primeira vez que levamos o Linux à Marte”.

O quadro 1 mostra como, aos poucos, o uso de Linux deixou de ser exclusividade de operação "menores" e chegou nas grandes agências e programas espaciais do mundo. Na década do início dos anos 2000 eram lançados apenas pequenos satélites com funções muito específicas. Em menos de 30 anos depois, houve a missão DM-2 (Sigla da missão *Demo-2*, com início em 2019), com o *Crew Dragon Endeavour*, na qual a NASA, juntamente da *SpaceX*, mandou dois astronautas para a Estação Espacial Internacional e manteve as aplicações Linux como carro chefe das máquinas que rodavam o software de voo.

O crescimento do Linux foi vagaroso, mas ele, enfim, tomou seu lugar entre as poderosas e frequentes ferramentas da tecnologia espacial.

3. MISSÃO: *SPACEX*, *DM-2* E O *CREW DRAGON ENDEAVOUR*

O último grande feito da união da exploração espacial e do Linux, sem dúvidas, foi o evento do dia 30 de maio de 2020 com o sucesso da missão *DM-2*.

A missão tinha como objetivo levar os tripulantes da Terra até a Estação Espacial Internacional para monitorar o sistema de acoplamento automático na estação, além de realizar outros testes de desempenho da *Crew Dragon Endeavour*, foguete projetado pela empresa *SpaceX*, tornando-se, assim, a primeira empresa privada a realizar um lançamento espacial (GUIMÓN, 2020).

O fato de haver uma decolagem de foguete feita nos Estados Unidos em nove anos já foi um marco histórico por si próprio (BBC, 2020), ela foi tripulada pelo comandante Douglas Gerald Hurley e pelo comandante de operações Robert Louis Behnken.

Para o sucesso da missão, tanto o foguete quanto a nave foram extremamente importantes. Antes de mais detalhes, é necessário explicar o funcionamento de uma decolagem de missão espacial. Basicamente a missão é dividida em 2 partes: a nave e o foguete; no primeiro são abrigados os tripulantes e no segundo fica apenas o motor. A Figura 4, a seguir, representa a cápsula *Crew Dragon Endeavour* com mais detalhes (Figura 04).

O foguete da missão *Crew Dragon Endeavour*, era um modelo *Falcon 9* que é derivado do foguete *Falcon Heavy*, criado em 2010 pela própria *SpaceX*, sendo ele até então o foguete mais poderoso em atividade.

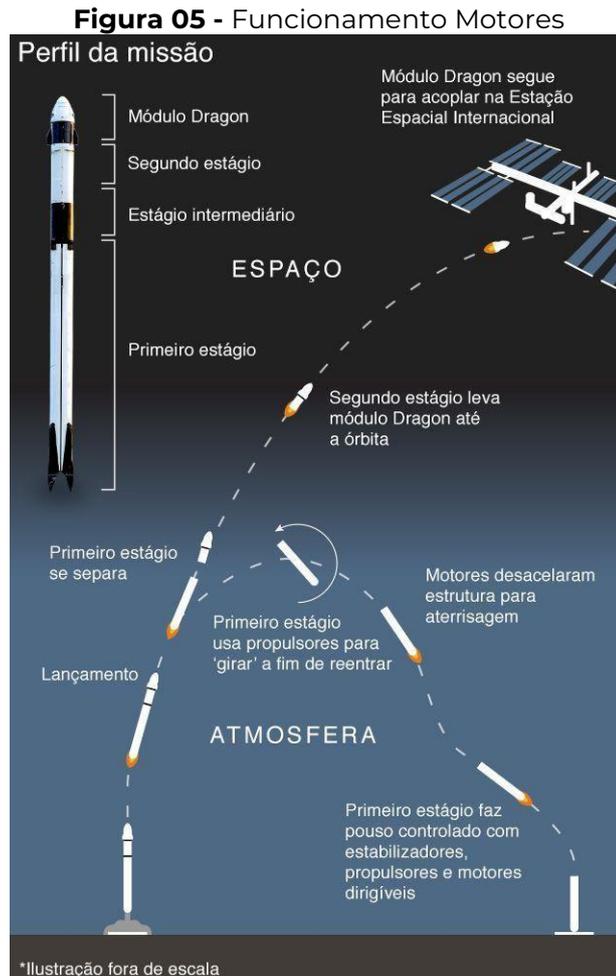
Figura 04 - Cápsula Crew Dragon Endeavour

Fonte: BBC (2020 apud BBC, 2020)

Originalmente, o *Falcon 9* era um dos foguetes auxiliares do *Falcon Heavy*. O foguete era a união de mais dois foguetes auxiliares, permitindo assim maior velocidade e maior facilidade em manobrá-lo. O *Falcon Heavy* ficou muito conhecido por um outro lançamento da própria *SpaceX* quando mandou para o espaço um automóvel modelo *Tesla Roadster* junto de um manequim.

Retornando ao *Falcon 9*, um dos grandes diferenciais desse modelo é que ele não só acaba economizando milhões de dólares na sua construção como ainda consegue ser reutilizável para outros possíveis lançamentos.

Após o lançamento, os motores em determinada altura, são ejetados da nave e conseguem calcular uma trajetória de pouso em um determinado ponto, o que faz com que sejam recuperados. O gasto de combustível espacial é maior, mas a economia em recuperar o foguete inteiro é muito maior, além de ajudar na preservação do meio ambiente. A próxima figura ilustra o trajeto do motor de volta à Terra (Figura 05).



Fonte:SpaceX (2020 apud BBC, 2020)

Em sua matéria, Rolfini (2020) expôs o funcionamento do foguete. O *hardware* do foguete tem três processadores¹ *Intel x86*. Cada processador *x86* controla uma instância do sistema operacional para os controladores de voo e controladores de hardware, centralizando em uma única estação de trabalho todos os controladores e processadores, automatizando testes e ajudando na segurança. Embutido nestas estações de trabalho estão o sistema operacional *Debian Linux*. Existem três sequências de controlador de voo no primeiro estágio (acoplado na nave) e mais três no segundo (sem a nave).

Todo *software* é escrito em uma linguagem. A escolhida para o *software* de voo foi C e C++. Para os cálculos e decisões do voo, são necessários os resultados dos núcleos de processamento. Se ocorrer alguma inconsistência, não terá nenhum comando liberado. Se todos os núcleos retornarem a mesma saída, será enviado aos microcontroladores do foguete que controlam os motores para realizarem uma determinada ação, como uma correção de reentrada.

¹ Processador é um *chip* responsável pela execução de cálculos matemáticos e decisões lógicas de um computador

Após elucidar a questão do foguete, vem a segunda parte mais importante, a nave. A nave chamada de *Crew Dragon Endeavour* é a evolução de uma outra nave muito comum, a *Cargo Dragon*, que foi usada para o mesmo propósito muitas vezes.

Sobre ela, segundo a matéria do Olhar Digital (2020), foi realizada uma entrevista no perfil oficial da *SpaceX* no *Reddit* (uma rede social muito comum nos Estados Unidos da América) e nela os engenheiros Jeff Dexter, Josh Sulkin, Wendy Shimata, John Dietrick, Sofian Hnaide e Matt Monson divulgaram mais alguns detalhes da ficha técnica da nave e do foguete.

O *software* de voo do foguete foi escrito em C++; tem como sistema operacional o Linux e, a interface foi escrita em uma outra linguagem de programação, o *JavaScript*. Aqui é devido destacar que foi utilizada uma outra tecnologia junto do *JavaScript*, o *Chromium*. Ele tem a mesma função de sua versão mais conhecida, o *Google Chrome*, ambos são navegadores de internet, porém a diferença é que assim como o Linux, o *Chromium* tem o código aberto ao público.

De acordo com Roulette (2020), em 2 de outubro de 2020, os astronautas Doug Hurley e Bob Behnken retornaram a salvo ao planeta Terra, pousando no Golfo do México. Os astronautas passaram cerca de 21 horas na viagem de volta na cápsula *Crew Dragon Endeavour*.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Dentre os grandes bastiões tecnológicos existentes, é possível classificar a tecnologia espacial de uma maneira ímpar. Nos anos 50, houve o início da corrida espacial entre os diversos núcleos de poder do mundo.

Em 1957, no lançamento do primeiro satélite artificial da Terra, o mundo parou para vislumbrar as futuras possibilidades desse avanço. Assim se manteve, a tecnologia está aqui para ser discutida por todos os povos, para uni-los a fim de propagar os conhecimentos entre todos para o progresso global.

O Linux é um sistema operacional de código livre, ou seja, é mantido por uma comunidade. Começou de uma forma bem singela, mas a sua presença em lançamentos de satélites acadêmicos deu-se no início dos anos 2000. Esta ferramenta nunca esteve tão valorizada no nicho tecnológico espacial como está, agora, em 2021.

Com a integração da NASA e da *SpaceX*, para lançamentos não tripulados, foi possível aproveitar o conhecimento que fora desenvolvido em laboratórios universitários ou em empresas de alta tecnologia, mas de pequeno porte, normalmente altamente especializadas.

Sendo o Linux de código aberto e muito utilizado nessas empresas ou centro de pesquisa, devido ao baixo custo. Foi possível integrar e obter soluções para os desafios da nova era espacial.

Como resultado, verificou-se o avanço das tecnologias em grandes foguetes reutilizáveis e em drones sob o solo marciano, tendo em comum o Linux, que passou a ser ferramenta crucial para tais feitos por especialistas. Foi possível verificar que o Linux passou a ser aplicado ao cenário espacial atual a partir de estudos exploratórios e bibliográficos para a maior compreensão das suas possibilidades de aplicação para o conhecimento da sociedade.

5. CONCLUSÃO

A partir dessas informações é possível identificar um denominador comum nos últimos anos com exploração espacial, no cerne dos maiores avanços sempre havia algum ponto referente a *software* livre, em específico o Linux.

Após um apanhado histórico é possível perceber como o fascínio pelo espaço estava cravado no DNA humano e pode ser notado como as tecnologias foram evoluindo, resultando em vários tipos de sistemas operacionais de apoio e controle dos processos nas diversas atividades da área espacial.

Por sua versatilidade, o bastião acabou sendo esse sistema operacional de software aberto. Sua capacidade de compactar nossas máquinas e utilizá-las foi imprescindível para a raça humana e ajudou a galgar os passos para a humanidade estar onde se encontra hoje e, segundo próprio Elon Musk na entrevista já citada, "Linux fez Marte ser possível", atestando ainda mais a porta que a humanidade abriu com esse software.

O Voo da *SpaceX* não resume a história da tecnologia espacial ou a história do próprio Linux, mas é o mais recente ponto e o mais notório dos últimos anos em relação ao Linux. Ele é a epítome máxima de um longo processo de uso do Linux, seja academicamente, militarmente e mais para a frente entrando na NASA.

Os próprios lançamentos de universidades e organização sem fins lucrativos, mostram como o Linux os ajudou, justamente por ser acessível e permitir seu uso sem muitos gastos a mais. Esses pequenos passos agora dão visão geral mais credibilidade e ajudam a validar o argumento de: O Linux sim é relevante e presente na história da exploração espacial moderna.

É possível olhar um denominador comum, onde o Linux potencializa e barateia uma operação. Já as pessoas do projeto acabam por realizar um levante do nome do sistema, seja a

frase de Musk sobre a possibilidade de Marte agora ser um alvo possível graças ao Linux, ou o engenheiro Tim Canham, da missão *Perseverance*, onde em uma das declarações dele foi a de que finalmente o Linux chegou em Marte.

Por meio do Linux, foi possível otimizar os computadores, apoiando o avanço na exploração espacial, sendo que o próximo objetivo é levar uma missão tripulada a Marte.

REFERÊNCIAS

BBC. **Por que o lançamento inaugural de nave da SpaceX é histórico também para a Nasa.** 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-52844579>. Acesso em: 16 set. 2020.

BOYLE, Alan. *5 trillion bytes a day: SpaceX engineers flash some facts about Starlink satellites* GeekWire. Disponível em: <https://www.geekwire.com/2020/5-trillion-bytes-day-spacex-engineers-flash-facts-starlink-satellites/>. Acesso em: 24 mar. 2021.

FERNÁNDEZ-SANGUINO, Javier et al. **Uma Breve História da Debian.** Debian. Disponível em: <https://www.debian.org/doc/manuals/project-history/project-history.pt.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2021.

GUIMÓN, Pablo. **SpaceX coloca dois astronautas em órbita e realiza um feito na corrida espacial privada.** 2020. Disponível em <https://brasil.elpais.com/ciencia/2020-05-31/spacex-faz-a-primeira-viagem-espacial-privada-da-historia-e-coloca-dois-astronautas-em-orbita.html?rel=mas>. Acesso em: 25 jan. 2021.

LEPPINEN, Hannu. *Current use of linux in spacecraft flight software* Department of Radio Science and Engineering, Otakaari 5A, 02150 Espoo, Finland, p. 6, Tabela 1 “List of analysed spacecraft”, outubro/2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321788741_Current_use_of_linux_in_spacecraft_flight_software. Acesso em 25 mar. 2021.

LINUX FOUNDATION. *Linux Foundation Training Prepares the International Space Station for Linux Migration.* 2018. Disponível em: <https://training.linuxfoundation.org/solutions/corporate-solutions/success-stories/linux-foundation-training-prepares-the-international-space-station-for-linux-migration/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

PLAZA, William R. **O que é um sistema operacional?** Hardware.com.br. Disponível em: <https://www.hardware.com.br/artigos/o-que-e-um-sistema-operacional/>. Acesso em: 22 fev. 2021.

RIGUES, Rafael. **Linux chega a Marte a bordo da Ingenuity** Olhar Digital. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2021/02/22/ciencia-e-espaco/linux-chega-a-marte-a-bordo-da-ingenuity/>. Acesso em: 22 fev. 2021.

ROLFINI, Fabiana. **SpaceX lança astronautas ao espaço com suporte do Linux.** Olhar Digital. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2020/06/05/ciencia-e-espaco/spacex-lanca-astronautas-ao-espaco-com-suporte-do-linux/>. Acesso em: 25 jan. 2021.

ROULETTE, Joye. **Astronautas da Nasa completam missão no espaço a bordo da SpaceX.** Agência Brasil. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2020-08/astronautas-da-nasa-completam-missao-no-espaco-bordo-da-spacex>. Acesso em: 22 fev. 2021.

SACRAMENTO, Vinícius. **O que é e como funciona o kernel; o núcleo do seu computador.** Techtudo. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/02/o-que-e-e-como-funciona-o-kernel-o-nucleo-do-seu-computador.html>. Acesso em: 22 fev. 2021.

SNEDDON, Joey. **Meet the Astronaut AI that Runs on Ubuntu Omg! Ubuntu!** Disponível em: <https://www.omgubuntu.co.uk/2018/07/cimon-astronaut-ai-runs-ubuntu>. Acesso em: 20 out. 2020.de outubro de 2020.

THE PLANETARY SOCIETY. **Lightsail.** 2020 Disponível em: <https://www.planetary.org/sci-tech/lightsail>. Acesso em: 19 mai. 2021.

W3SCHOOLS. **OS Platform Statistics.** 2020. Disponível em: https://www.w3schools.com/browsers/browsers_os.asp. Acesso em: 10 mai. 2021.