

São Paulo, 13 de julho de 2019.

## Sobre a chegada do Homem à Lua (50 anos do pouso da Apollo 11 em 20 de julho de 2019) - Blog da Mauá (IMT).

### 1. Qual foi o processo para o homem pisar na Lua?

É importante tentar entender o desafio não apenas pelo seu desafio técnico, mas também dos pontos de vista social e humano.

No prisma geopolítico, o mundo estava em plena “Guerra Fria” entre as duas únicas superpotências existentes naquela ocasião: os Estados Unidos da América e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Vendo a URSS alcançar pelo menos quatro sucessos seguidos na corrida espacial, ou seja, a colocação em órbita do primeiro satélite artificial, o Sputnik, em 1957; a colocação do primeiro ser vivo em órbita, a cadelu Laika, um mês após o Sputnik; o pouso da primeira sonda robotizada na Lua, Luna 2, em 1959; e também o primeiro homem a completar uma órbita em torno da Terra, Yuri Gagarin, em 1961, o presidente John Kennedy buscou entender o que poderia ser feito para nivelar a corrida com os Soviéticos, procurando manter a liderança mundial nas áreas de Ciência e Tecnologia. Consultado, Von Braun, o cientista alemão que foi levado aos EUA dentro do contexto da operação “*Paperclip*” ao final da Segunda Guerra Mundial e que era chefe do projeto espacial nos EUA, respondeu a Kennedy dizendo que a única forma de competir e eventualmente bater os Soviéticos seria a de fixar uma meta tão audaciosa que a tecnologia desenvolvida pelos Soviéticos até aquele momento seria de pouca ajuda, tornando, portanto, a competição mais equilibrada. Como seria possível fazer um astronauta orbitar a Lua, sem pousar, usando uma extensão da tecnologia que os Soviéticos já possuíam naquele momento, essa meta foi descartada em favor de levar uma equipe de homens até a superfície da Lua e trazê-los de volta em segurança até o final da década de 60, conforme proposto durante o famoso discurso de Kennedy em Houston, no Texas, em 1961. Conforme explicou Von Braun, esse feito exigiria um foguete 10 vezes mais poderoso do que aquele desenvolvido pelos Soviéticos até o momento (*Vostok I*), nivelando a competição.

Do ponto de vista técnico, o processo teve literalmente milhares de desafios. O primeiro deles foi o de definir a dinâmica de voo que levaria o Homem à Lua. Havia algumas possibilidades em estudo, uma delas envolvendo um gigantesco foguete que faria o voo direto de ida e volta, sem dispensar módulos na órbita da Terra ou da Lua, o NOVA. Ele teria que ser montado em órbita da Terra, a partir do lançamento das suas partes. As outras estratégias envolviam riscos diferentes, com manobras complicadas de reconfiguração para a viagem ocorrendo na órbita da Terra ou na órbita da Lua. A questão chave para o desenho de qualquer nave espacial é a relação entre a sua carga útil (composta pela massa dos astronautas + instrumentos específicos da missão + amostras de rochas lunares que eles trarão de volta) e a sua massa total no lançamento (incluindo o combustível, estruturas e equipamentos necessários para o funcionamento dos sistemas). Para cada quilograma de carga útil necessário em uma missão, os projetistas precisam adicionar vários quilos de combustível para transportar aquela massa ao longo de toda a missão. Porém, o problema não para por aí, pois a cada quilo de

combustível adicionado, você precisará adicionar outros tantos para levarem aquele quilo de combustível até o local onde ele será consumido, tornando o problema exponencial. No caso do Programa Apollo, a estratégia vencedora foi aquela que permitiria sair com apenas um foguete pesado da Terra (Saturno V), alijar ainda na atmosfera os enormes tanques de combustível necessários para alcançar a órbita (estágios S I e S II), e acelerar até a velocidade necessária para escapar do campo gravitação da Terra com a ajuda do estágio seguinte (denominado S IV e não S III), ejetando-o também, a seguir. Após uma manobra no espaço para trocar a posição relativa dos módulos remanescentes, o conjunto que seguiria para a Lua teria apenas uma pequena fração da massa inicial, sendo composto do Módulo Lunar (LEM), Módulo de Serviço (SM) e Módulo de Comando (CM). Novamente, ao chegar à órbita lunar, o Módulo de Serviço e o de comando (conhecidos como CSM, enquanto unidos) se separariam e ficariam sob o comando de um astronauta (Michael Collins, do caso da Apollo 11), enquanto o LEM desceria à superfície da Lua com os dois outros astronautas (Neil Armstrong e Edwin Aldrin, no caso da Apollo 11). Ao terminar a missão desenhada para a superfície, os dois astronautas seriam colocados em órbita da Lua pelo foguete do LEM (pequeno, já que o campo gravitacional daquele Satélite tem apenas 17% da intensidade do campo Terrestre) e se juntariam novamente ao CSM, para descarregar os astronautas e amostras recolhidas. Em seguida, o LEM seria ejetado na órbita da Lua, reduzindo mais uma vez a massa do conjunto para que o SM pudesse fazer a queima final de combustível, impulsionando apenas o conjunto CSM de volta à Terra. Ao chegar perto da Terra, seria o momento de ejetar o SM e a superfície seria alcançada apenas pelo CM, em uma queda devidamente protegida do calor da reentrada por um escudo térmico de material especial, o AVCOAT, que era consumido no processo de troca térmica conhecido por ablação. Após reduzir bastante a velocidade do CM por atrito, sua velocidade seria novamente reduzida por três grandes paraquedas, que permitiriam o toque seguro, em geral no mar (mas também estava testado para cair sobre terreno firme).

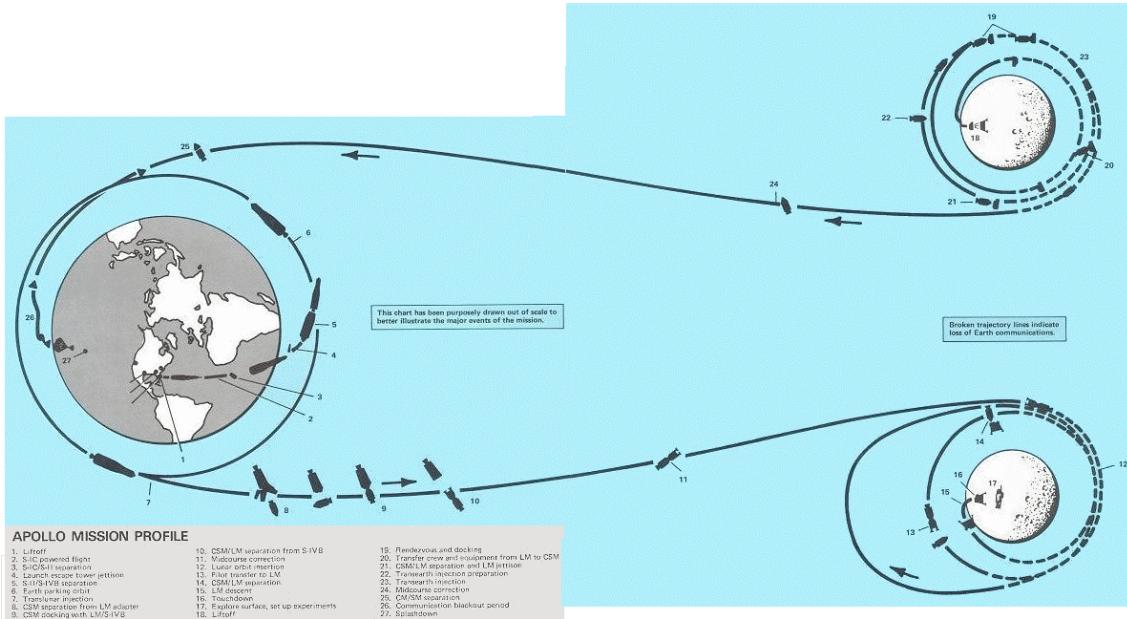


Figura 1 – Perfil típico da missão lunar do projeto Apollo 11 até 17. Fonte: <http://abyss.uoregon.edu/~js/space/lectures/lec15.html>

Do ponto de vista econômico, o esforço empentou mais recursos que a construção do canal do Panamá ou o Projeto Manhattan, que concebeu e projetou a primeira bomba atômica, consumindo mais de 4% do orçamento anual dos EUA ao longo de toda a década de 60. No entanto, talvez uma das maiores conquistas desse projeto, que foi o maior projeto Civil já realizado nos EUA até hoje, tenha ocorrido também no plano da economia: o esforço de coordenação de milhares de pessoas, ligadas a centenas de empresas, em direção a um objetivo único, no final da década, ou seja, a gestão do projeto. Neste esforço de coordenação de mais de 400.000 pessoas, foram empregadas ferramentas de gestão de projetos que eram recentes à época e cuja aplicação era possível pelo surgimento dos primeiros computadores. Como exemplo das técnicas, podemos citar o PERT (Program Evaluation and Review Technique) e o CPM (Critical Path Method).

## 2. Quais os objetivos principais desse feito? O que evoluiu na tecnologia após esse fato?

Os objetivos foram muitos e ficam evidentes ao se analisar o processo sob os aspectos geopolítico, técnico e econômico, como fizemos brevemente. No entanto podemos resumir dizendo que o projeto permitiu aos EUA manterem sua hegemonia geopolítica sobre o mundo, algo que ocorria desde o final da segunda-guerra mundial e trouxe benefícios tangíveis (tecnologias que geraram produtos novos) e intangíveis (conhecimento e patentes em diversas áreas) que permitiram também aos EUA permanecerem como epicentro técnico, econômico e financeiro por muitas décadas, talvez até os dias atuais. Como se sabe, a outra única superpotência existente no pós-guerra foi a URSS, que se dissolveu a partir de 1989, em parte pela pressão de seu enorme orçamento militar, necessário para manter o equilíbrio de forças com os EUA e a OTAN, incluindo aqui o campo espacial.

No entanto, há outros aspectos a se considerar. Uma placa deixada sobre a superfície da Lua pela Apollo 11 dizia: “viemos em paz, representando todos os seres humanos”. De fato, muitos dos benefícios decorrentes da tecnologia conquistada durante essa corrida de uma década foram responsáveis pela constante melhoria de qualidade de vida e longevidade no planeta terra.

Diariamente no mundo são feitos milhares de diagnósticos em máquinas de imagens digitais, cuja tecnologia inicial foi desenvolvida nessa época. No Brasil, por exemplo, são comuns as máquinas de medição de densidade óssea da General Electric denominadas “Lunar Prodigy ®”.

Entre outras tecnologias que ganharam forte ou nasceram completamente dentro do programa Apollo, e também dos programas Mercury e Gemini que o precederam e correram em paralelo até certo ponto, foram: os circuitos integrados; os computadores (o primeiro computador digital portátil e de alta confiabilidade foi desenvolvido pelo MIT para o programa Apollo, a fim de permitir o pouso do Módulo Lunar. O contrato de desenvolvimento foi o primeiro concedido pela NASA após o começo do programa, apenas algumas semanas após o discurso de Kennedy); materiais e tecidos avançados decorrentes das naves, seus motores e dos trajes dos astronautas; painéis solares; tecnologias de depuração de água; célula de hidrogênio; baterias eficientes; o relógio a quartzo e outras.

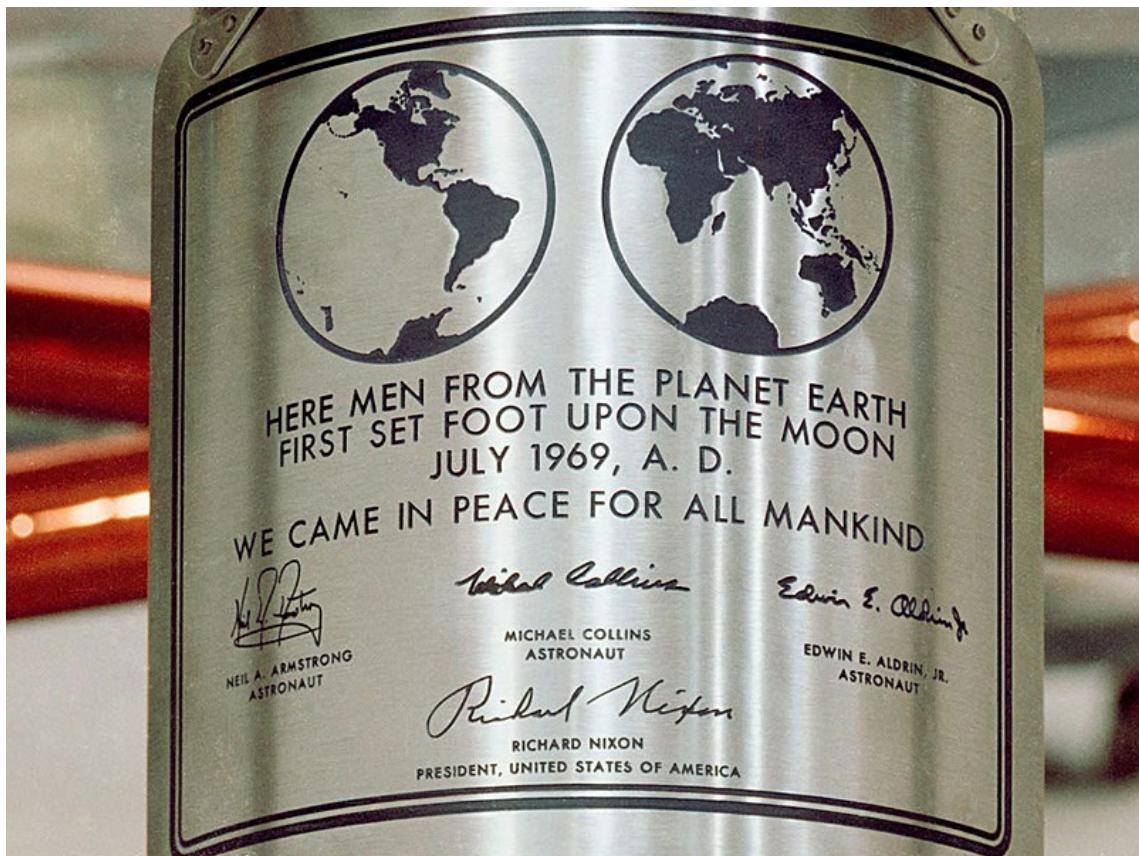


Figura 2 -Placa afixada no trem de pouso do Módulo Lunar (LM), que foi alijado da estrutura principal que retornou os astronautas Neil Armstrong e Edwin Aldrin para o CSM, que esperava em órbita lunar sobre o comando de Michael Collins. Fonte: <https://rangetracking.com/2018/08/31/we-came-in-peace-for-all-mankind/>

### 3. O que mudou depois dessa conquista (descobertas)?

A primeira questão que deve ser mencionada é que o homem pôde conhecer de perto quão inóspito seu Satélite natural realmente é. Diversas sondas haviam fotografado a Lua e a observado em comprimentos de onda diferentes da luz visível, porém, a Apollo 11 foi a primeira missão a retornar com amostras para estudo. Sua poeira fina combinada com a falta de gravidade trouxe diversos problemas inesperados para os astronautas e riscos para os equipamentos.

A corrida espacial e a chegada à Lua não resultaram, até o momento, no estabelecimento de uma base Lunar para exploração de recursos de qualquer tipo naquele planeta. Os fatos reforçam que os ganhos estão no esforço, na aprendizagem trazida pelo caminho, não necessariamente na conquista do destino.

Do ponto de vista poético, muitas pessoas (e, pelo menos uma letra de música) dizem que a ida à Lua destruiu a imagem de beleza platônica que tínhamos do nosso satélite, cortejado pelo ser humano, de forma registrada, há milênios.

Do ponto de vista filosófico, a Apollo 8 (a primeira a dar a volta na Lua e retornar à Terra sem poussar, abrindo caminho para a Apollo 11 realizar o primeiro pouso) foi um grande marco. Seus astronautas ficaram absolutamente impressionados ao perceber que todo o Planeta Terra, com seus mais de 3 bilhões de habitantes à época, podia caber inteiramente atrás de

um polegar, quando vista pela escotilha da nave. Foi uma incrível lição de humildade para o ser humano.

A Apollo 8 contornou a Lua em 24 de dezembro de 1968 e, ao ver o primeiro nascer da Terra através do horizonte da Lua, sua tripulação, Frank Borman, Jim Lovell, and Bill Anders, brindou um em cada 4 seres humanos com uma transmissão de imagem e voz inesquecível, narrando a passagem bíblica do Gênesis.

Para conhecer o ponto de vista de um astronauta sobre as transformações trazidas à vida de um ser humano em função da viagem à Lua, veja o excelente livro do astronauta Eugene Cernan, da Apollo 17: *The Last Man on the Moon* (St. Martin's Press, 1999) (\*)

#### 4. Quantas alunissagens já foram feitas e por que não voltaram mais após a missão do Apollo 17, em 1972?

As alunissagens feitas por equipamentos não tripulados, começando com a Luna 2, soviética em 1959, foram 14, principalmente realizadas pela União Soviética, Estados Unidos e, em 2019, pela China, que pousou uma sonda no lado escuro da Lua.

Já os poucos tripulados na superfície da Lua foram realizados apenas pelos Norte Americanos, em 6 missões, de Apollo XI a Apollo XVII, à exceção da Apollo XIII que sofreu sérias avarias a caminho da Lua (explosão de tanque de oxigênio) e teve que fazer uma série de improvisações e dar a volta na Lua (para obter seu impulso gravitacional) e voltar à Terra, sem pousar.

Após esse primeiro ciclo de poucos na Lua, houve um certo desinteresse popular e governamental em continuar a apoiar os voos que eram extremamente dispendiosos e ocorriam simultaneamente aos crescentes gastos e insatisfação popular com a guerra do Vietnã. Além disso, o conceito da estação espacial passou a ser desenvolvido como um passo necessário para uma conquista mais definitiva da Lua e, posteriormente de Marte, dando início ao projeto *Skylab* por parte dos EUA, à estação Mir da Rússia e, posteriormente, ao projeto consorciado da Estação Espacial Internacional (ISS), do qual o Brasil poderia ter sido parte ativa, tivesse cumprido o seu papel na manufatura de algumas partes da Estação. Finalmente, para permitir a montagem e rotação de tripulantes e experimentos científicos, foi desenvolvido o conceito do ônibus espacial, *Space Shuttle*, dos EUA, e *Buran*, da União Soviética, esse último cancelado com a dissolução política da URSS. Infelizmente, os baixos custos e alta frequência de voo prometidos pelo conceito de um ônibus retornável e reutilizável não se comprovaram, levando ao término do programa em 2011, após 115 voos. Dois ônibus espaciais foram perdidos em acidentes que custaram a vida de vários astronautas: Challenger, em 1986, com a perda de 7 astronautas norte-americanos e Colúmbia, em 2003, com 7 astronautas, sendo 5 norte-americanos, um indiano e um israelense.

#### 5. Uma questão para refletir:

A curiosidade e a conquista fazem parte da natureza humana. Várias naves e missões espaciais são nomeadas em homenagem a pioneiros dos descobrimentos na Terra ou suas naus (Columbia, Magellan, Discovery, etc..) ou ainda a mitologia e ficção científica (Apollo, Enterprise, Atlantis, etc). Atualmente, os EUA têm um cronograma para retornar à Lua até 2023 e chegar à Marte até 2029. Em paralelo, vários empreendimentos particulares visam oferecer voos orbitais corriqueiros e alguns tem como objetivo colonizar Marte e já tem

demonstrado seriedade de propósito com metas parciais cumpridas dentro do cronograma e do custo esperado.

O contraponto necessário é que o nosso planeta continua ameaçado por intolerância decorrente de diferenças políticas, econômicas, de etnia e religiosas, significativas. A falta de estudo e a fome são encontradas por todo o planeta. Para piorar as coisas e a despeito da ampla disponibilidade de provas científicas, muitos países não acreditam e não têm investido o necessário para estacionar ou reduzir o nível de emissão de gases de efeito estufa (GEE) de forma a garantir o cumprimento da meta do Acordo de Paris, que pretende limitar o aumento da temperatura média global decorrente de emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> equivalentes, em 1,5 °C até o final do presente século. Isso, mesmo quando estudos já sugerem que esse valor de aquecimento antropogênico (aproximadamente o dobro do atual) já seria alto demais, acelerando os problemas de aumento do nível dos mares, alagamentos, calor em excesso e impacto forte na disponibilidade de terras e na capacidade de alimentar todos os habitantes do planeta. Os estudos sérios da IRENA (International Renewable Energy Agency), como o “A roadmap to 2050”, de 2018, mostram que os caminhos a serem trilhados existem e são possíveis.

Sob essa ótica e, a despeito do meu interesse e entusiasmo pela exploração espacial, entendo a manutenção da nossa “casa atual”, o Planeta Azul, como a nossa missão mais importante. Além do desejo, viabilidade econômicas e técnica, entendo que a troca de investimentos (públicos ou privados) de projetos para restringir a emissão de GEE e que podem ser rentáveis, pelos projetos de exploração espacial e colonização de outros planetas somente faria sentido no presente momento se todo o esforço possível estivesse sendo aplicado na mitigação do aquecimento global e se os sistemas de defesa planetária implementados (ver <https://www.nasa.gov/planetarydefense/faq>, por exemplo), estivessem indicando riscos de caírem sobre a Terra asteroïdes capazes de levar a impactos de nível de extinção com frequências crescentes. Os homens e seus ancestrais têm vivido sobre a Terra há pelo menos 600 milhões de anos, o que sugere a baixa frequência desses impactos. Por outro lado, os estudos do Painel das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (IPCC), indicam que é possível colocar o Mundo nos trilhos com relação ao aquecimento global com investimentos retornáveis e dentro do presente século ([https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15\\_Chapter2\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf)).

## 6. Fotos e referências adicionais:

Para conhecer em mais detalhes todo o Programa Apollo, leia o livro: Apollo: Expeditions to the Moon, The Nasa History, editado por Edgar M. Cortright, Dover, 2009.(\*)

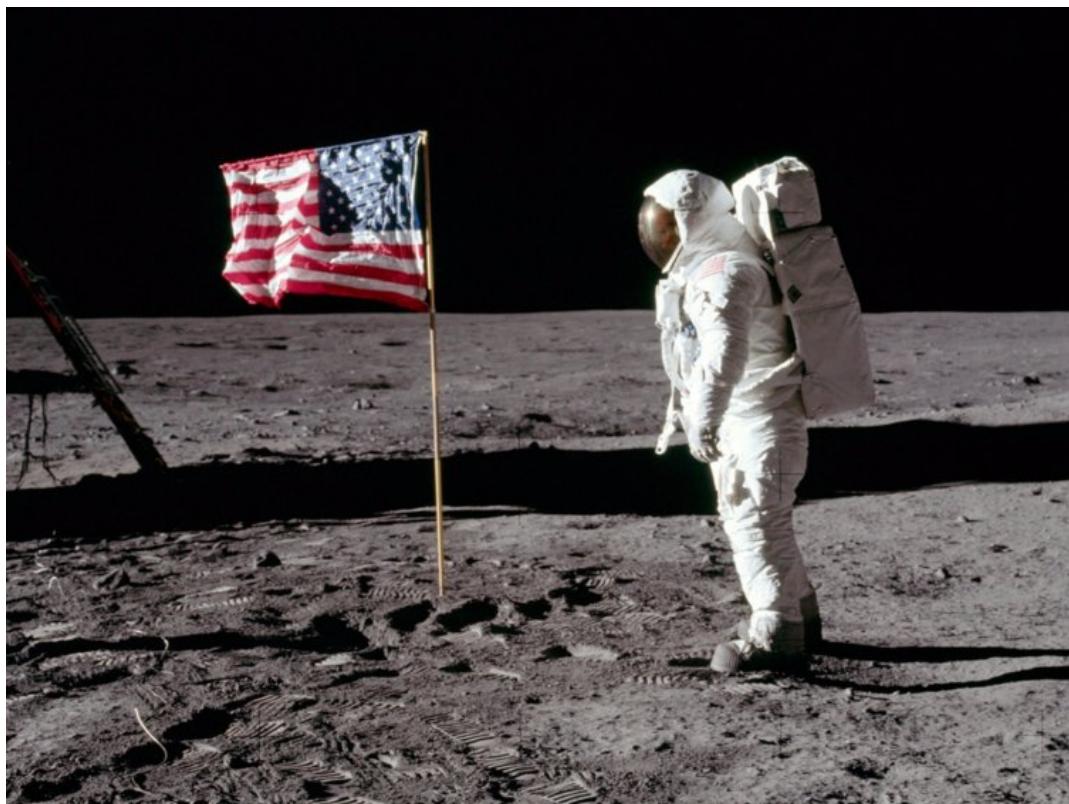


Figura 3 – Foto de Edwin Aldrin próximo à bandeira dos EUA deixada pela missão Apollo XI. Cada missão bem-sucedida deixou uma bandeira diferente. A inserção no solo era difícil por causa da diferente areia no solo lunar e as bandeiras tinham uma haste horizontal auxiliar para se manterem abertas na completa falta de movimento atmosférico. Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar\\_Flag\\_Assembly#Flags\\_deployed](https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_Flag_Assembly#Flags_deployed)



Figura 4 – Foto clássica da primeira pegada na lua. A pegada foi de Neil Armstrong e a foto é de Edwin Aldrin. Fonte: <https://www.space.com/16758-apollo-11-first-moon-landing.html>



Figura 5 – Eugene Cernan, o último homem a andar na Lua, astronauta da Apollo XVII, faleceu a 16 de janeiro de 2017. Foto: Joseph Saab, 2017.

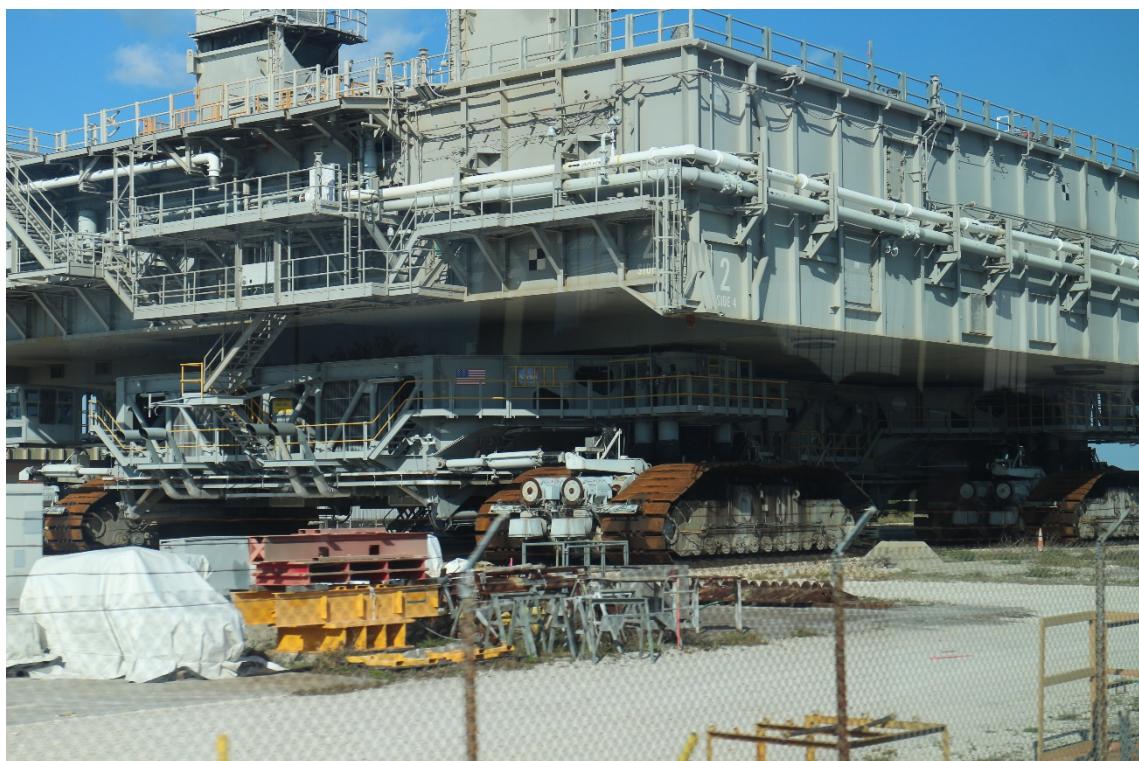


Figura 6 – o gigantesco crawler, veículo usado desde a era Apollo para transportar os foguetes do tipo Saturno V até as plataformas de lançamento. O mesmo veículo foi usado de 1980 até 2011 para transportar os ônibus espaciais completos, montados com os boosters sólidos montados até as plataformas de lançamento. Foto: Joseph Saab, 2017.



Figura 7 – Os 5 motores F1 do primeiro estágio (S 1) do Saturno V consumiam, em conjunto, 4.900 litros por segundo de combustível (RP-1) e 7.300 litros por segundo de oxigênio líquido! Foto: Joseph Saab, 2017.



Figura 8 – O segundo estágio (S 2) do Saturno V tinha apenas um motor, devido à menor massa após o descarte do estágio S1 e a menor ação da gravidade em grande altitude (ainda dentro da atmosfera). Foto: Joseph Saab, 2017.

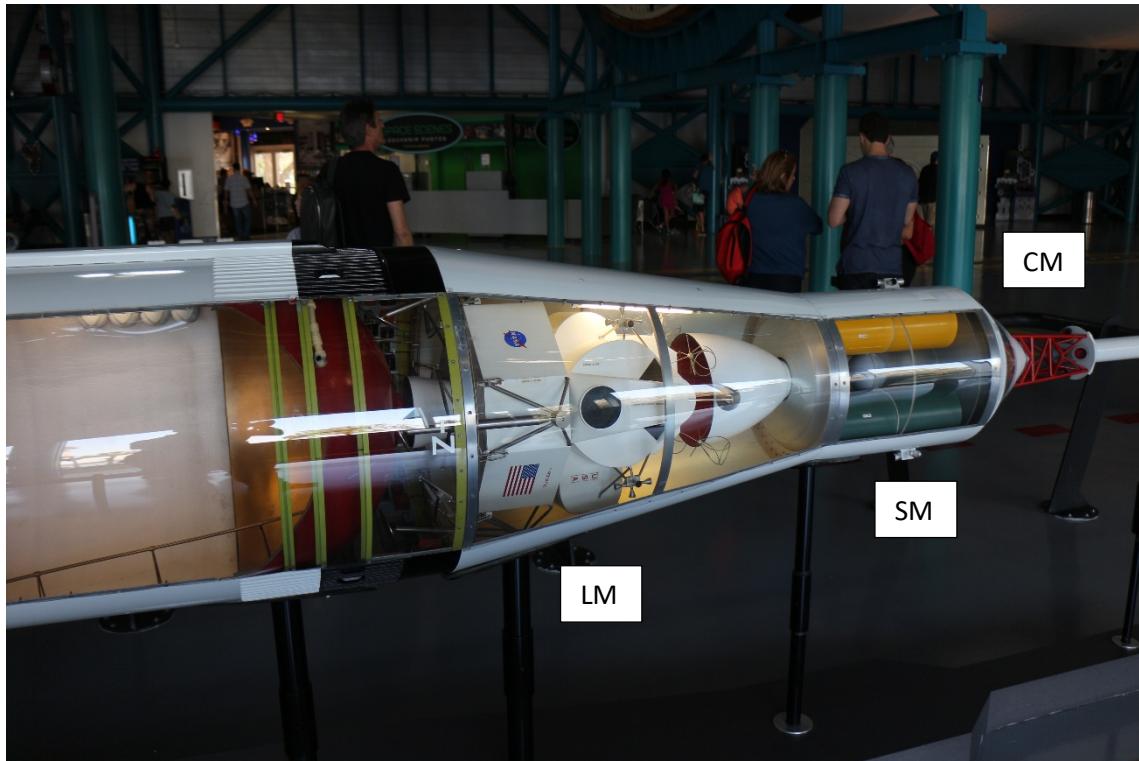


Figura 9 – Esta maquete permite ver a configuração de lançamento do Módulo Lunar (LM), o Módulo de Serviço (SM) e o Módulo de Comando (CM). Note que o primeiro estava separado dos dois últimos durante o lançamento, o que obrigou a uma manobra de acoplamento dos 3 na órbita da Terra, antes de seguirem viagem à Lua. Foto: Joseph Saab, 2017.

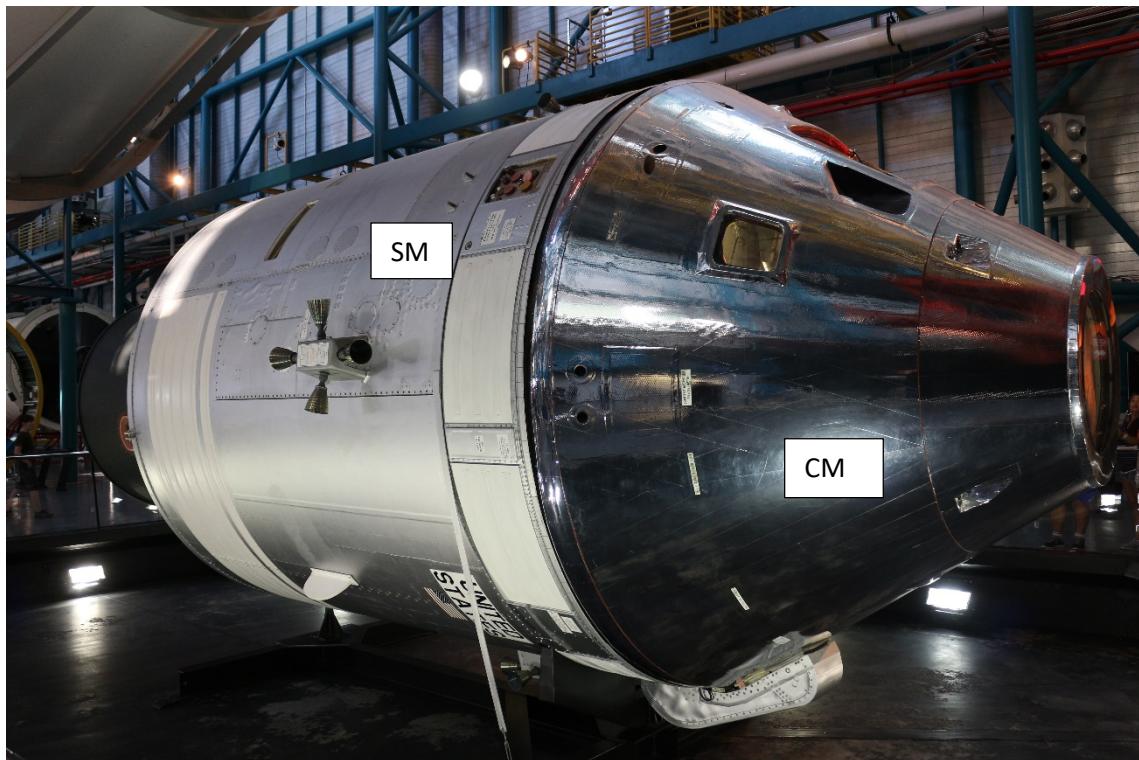


Figura 10 – Conjunto formado pelo Módulo de Comando (CM) e Módulo de Serviço (SM), denominado CSM quando associados. Foto: Joseph Saab



Figura 11 – Envelope com selo de primeiro dia de circulação do selo dos Correios dos EUA que comemora a chegada do homem à Lua. Foto: Joseph Saab.

### 6.1 Para saber mais e se envolver:

- Se você se interessa pela área Aeroespacial, conheça o projeto HPA-IMT (Human Powered Aircraft do IMT, ou Aeronave Movida à Potência Humana). O homem chegou à lua em 1969, porém, só voou com sucesso um HPA pela primeira vez em 1977, 8 anos depois. Para saber mais e se envolver nesse projeto, matricule-se no PAE HPA-IMT ou escreva para [saab@maua.br](mailto:saab@maua.br). Esse projeto aceita e precisa da colaboração de alunos de Engenharia, Administração e Design.
- Os Cursos de Engenharia Mecânica, Produção, Eletrônica, Computação, Controle e Automação e Ciclo Básico desenvolvem em conjunto o Projeto NASA *OPEN SOURCE ROVER*. Esse projeto transdisciplinar envolve várias disciplinas e atividades nesses cursos e introduções no Ciclo Básico. A atividade é nova e o modelo 01 do Rover atualmente está sendo finalizado no segundo andar do Bloco W, pelo técnico Renato. Os alunos dos diferentes cursos terão a oportunidade de projetar, construir, dotar de sensores e operar modificações do Rover da Nasa, nos próximos anos. No caso da Engenharia Mecânica, o processo envolve, além do Rover, o dimensionamento de uma “Sala Limpa” onde tipicamente são montados satélites, foguetes e rovers para a exploração espacial. Conheça o projeto fisicamente na Eureka e converse sobre as possibilidades do mesmo no seu Curso com qualquer um dos seguintes professores:

Ed Claudio Bordinassi ([ecb@maua.br](mailto:ecb@maua.br))  
Valdir ([vmjunior@maua.br](mailto:vmjunior@maua.br))  
Joseph ([saab@maua.br](mailto:saab@maua.br))  
Murilo ([murilo.carvalho@maua.br](mailto:murilo.carvalho@maua.br))  
Alexandre ([alexandre.hmoreira@maua.br](mailto:alexandre.hmoreira@maua.br))  
Patrícia ([pantonio@maua.br](mailto:pantonio@maua.br))

Para conhecer mais sobre o projeto dos Rovers da Nasa, leia o interessante livro Mars Rover Curiosity: An Inside Account from Curiosity's Chief Engineer, Manning and Simon, 2014. (\*)

(\*) Todos os livros mencionados no texto com um asterisco podem ser obtidos para empréstimo com o Prof. Joseph.

### 6.3 Links importantes:

- Treze minutos para a Lua. Uma superprodução da BBC na forma de Podcast. Imperdível!!  
<https://www.bbc.co.uk/sounds/play/brand:w13xttx2/w3csz4dj>
- Os benefícios decorrentes da corrida espacial:  
[https://www.nasa.gov/sites/default/files/80660main\\_ApolloFS.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/80660main_ApolloFS.pdf)
- Lições de gestão de projetos aprendidas com o Programa Apollo:  
<https://www.wrike.com/blog/project-management-lessons-learned-apollo-11-moon-landing/>
- Operação PaperClip:  
<https://g.co/kgs/wqn8mb>
- O desenvolvimento do primeiro computador de missão crítica (missão Apollo), pelo MIT:  
<http://news.mit.edu/2019/50th-anniversary-moon-landing-0315>  
<http://news.mit.edu/2001/commnasa-0606>  
<https://web.mit.edu/aeroastro/news/magazine/aeroastro6/mit-apollo.html>
- Para conhecer mais sobre o material desenvolvido pela NASA para proteger o CM do calor da reentrada na atmosfera Terrestre:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/AVCOAT>
- Para conhecer mais sobre o processo de ablação:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ablation>
- *Let there be light*: a incrível narrativa bíblica do Gênesis, feita pela tripulação da Apollo 8 ao ver a Terra nascer acima do horizonte da Lua:  
<https://www.youtube.com/watch?v=Ofllau2VVp4>

- Relatório IRENA 2018 sobre o Meio Ambiente.  
<https://irena.org/publications/2018/Apr/Global-Energy-Transition-A-Roadmap-to-2050>

Joseph Y. Saab, Jr.