

## SISTEMA DE REABASTECIMENTO ATMOSFÉRICO EM MARTE (S.R.A.M)

### ATMOSPHERIC REFUELING SYSTEM ON MARS (A.R.S.M)

Pedro Jorge Pires Cruz<sup>1</sup>

**RESUMO:** Uma das principais preocupações nas viagens espaciais sempre foi a respeito do consumo de combustível de espaçonaves, com a humanidade se aproximando rapidamente de uma era onde viagens para o nosso planeta vizinho, Marte, serão comuns com o objetivo de exploração e colonização, contudo, essas espaçonaves terão que cruzar uma grande distância entre a Terra e Marte, com algumas gastando grande parte ou todo o seu combustível para chegar ao planeta vermelho, com essas espaçonaves, dependendo do objetivo da missão, ficando sem combustível para a volta à Terra, tendo que depender de outras missões para reabastecimento, e foi pensando nesse problema de logística que desenvolvi o S.R.A.M, uma combinação de tecnologias atualmente existentes que permitiriam as espaçonaves converterem o gás atmosférico de Marte em combustível, permitindo assim que as espaçonaves de futuras explorações a Marte não fiquem limitadas a missões de reabastecimento, com essas espaçonaves podendo de forma independente, voltar para a Terra após serem totalmente reabastecidas através da conversão do ar atmosférico de Marte em combustível.

**Palavras-Chave:** Combustível de foguete. Química de foguete. Viagens interplanetárias.

1283

**ABSTRACT:** Of the main concerns in space travel has always been about spacecraft fuel consumption, with humanity rapidly approaching an era where travel to our neighboring planet, Mars, will be common for the purposes of exploration and colonization, however, these spacecraft will have to cross a great distance between Earth and Mars, with some using much or all of their fuel to reach the red planet, with these spacecraft, depending on the objective of the mission, running out of fuel for the return to Earth, having to depend on other missions for refueling, and it was with this logistics problem in mind that I developed S.R.A.M, a combination of currently existing technologies that would allow spacecraft to convert atmospheric gas from Mars into fuel, thus allowing spacecraft for future Mars explorations not to be left behind. limited to resupply missions, with these spacecraft being able to independently return to Earth after being fully refueled by converting atmospheric air from Mars into fuel.

**Keywords:** Rocket fuel. Rocket chemistry. Interplanetary travel.

## INTRODUÇÃO

E para torna realidade o processo de produção de combustível através da atmosfera marciana primeiro e preciso entender os equipamentos e suas funções nesses complexo sistema, com o início do processo de transformação do ar atmosférico se dando através de uma sucção do ar para dentro da espaçonave para onde então o ar é direcionado para o separador de

---

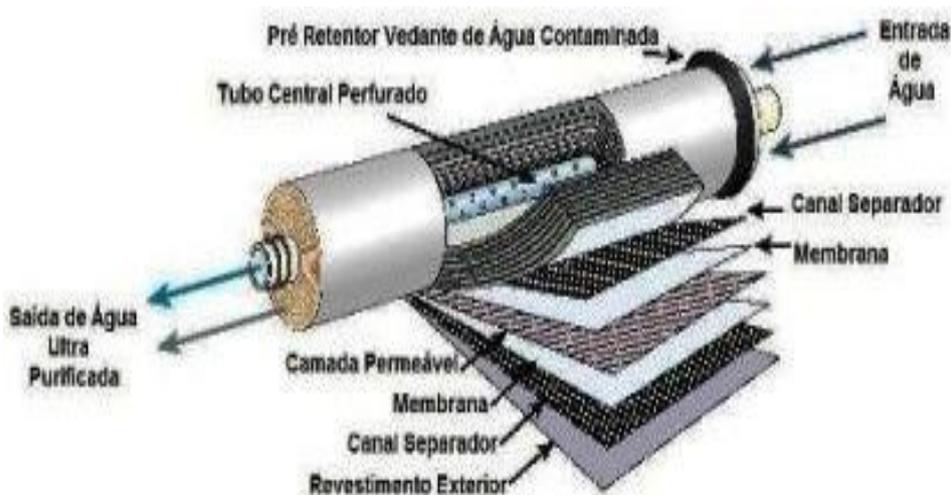
<sup>1</sup>Estudante do colégio da polícia militar de Goiás.

membrana seletiva, que irá separar o oxigênio do carbono no CO<sub>2</sub> predominantemente encontrado na atmosfera de Marte, onde após ser parcialmente separado o oxigênio do carbono separador por membranas seletivas nas quantidades absorvidas de ar pelo sistema de sucção, uma segunda tecnologia conhecida como coluna de absorção química realizando o processo de separação definitivo entre os dois elementos, com o oxigênio gasoso puro sendo enviado para um tanque de combustível separado do carbono onde será armazenado em baixíssimas temperaturas para que possa servir como reagente do carbono na combustão, com o carbono sendo dividido em dois, com uma quantidade de carbono sendo convertido em carbono sólido através do processo de deposição química de vapor ou CDV, com esse carbono sólido sendo utilizado em um motor de foguete a base de combustível sólido, com esse motor sendo usado apenas na decolagem do foguete para impulsionar a espaçonave para fora de Marte tendo em vista que seu uso no em órbita seria impossível devido a sua queima constante e ininterrupta do combustível sólido, com o carbono em estado gasoso sendo utilizado para mover a espaçonave no espaço, tendo em vista que seria possível interromper a queima do carbono em estado gasoso na câmara de combustão de um motor espacial, tendo em vista que uma queima ininterrupta da decolagem até a janela de transferência de volta para a Terra seria algo inviável, daí surgiu a necessidade de um combustível que possa ter sua combustão cortada, com essa combinação de combustíveis em diferentes fases da volta para a Terra assegurando um consumo inteligente das quantidades de combustíveis a bordo da espaçonave.

## MÉTODOS

E para que seja possível a junção do oxigênio com o carbono, para obter combustível de foguete primeiro é necessário separar o oxigênio do carbono e manter esses dois gases em estados gasosos nas suas respectivas formas puras, e para isso é necessário um equipamento conhecido como separador por membranas seletivas, bem como um segundo equipamento conhecido como Coluna de absorção que é responsável por auxiliar as membranas seletivas na separação completa do oxigênio do carbono do CO<sub>2</sub>, com as membranas seletivas podendo separar o oxigênio do carbono no CO<sub>2</sub> usando uma técnica chamada permeação seletiva. Essa técnica aproveita as diferentes taxas de difusão dos gases através de uma membrana porosa ou densa. Existem diferentes tipos de membranas seletivas que podem ser usadas nesse processo, mas uma das mais comuns é a membrana de polímero. As membranas de polímero são compostas por nanoporos que permitem a passagem seletiva de moléculas de acordo com seu tamanho e afinidade química. No caso da separação de CO<sub>2</sub> em oxigênio e carbono, a membrana seletiva permitiria que as moléculas de CO<sub>2</sub> atravessassem a membrana mais facilmente do que as moléculas de oxigênio. Isso ocorre porque as moléculas de CO<sub>2</sub> são

maiores e têm uma maior afinidade com a membrana em comparação com as moléculas de oxigênio. À medida que o CO<sub>2</sub> atravessa a membrana, o oxigênio é bloqueado e permanece do lado oposto da membrana, permitindo a separação dos dois gases. Essa técnica é chamada de permeação seletiva de CO<sub>2</sub> e é amplamente utilizada em processos industriais para separação e purificação de gases. No entanto, é importante destacar que a eficiência desse processo depende da seleção adequada da membrana e do design do sistema. Além disso, a pressão e a

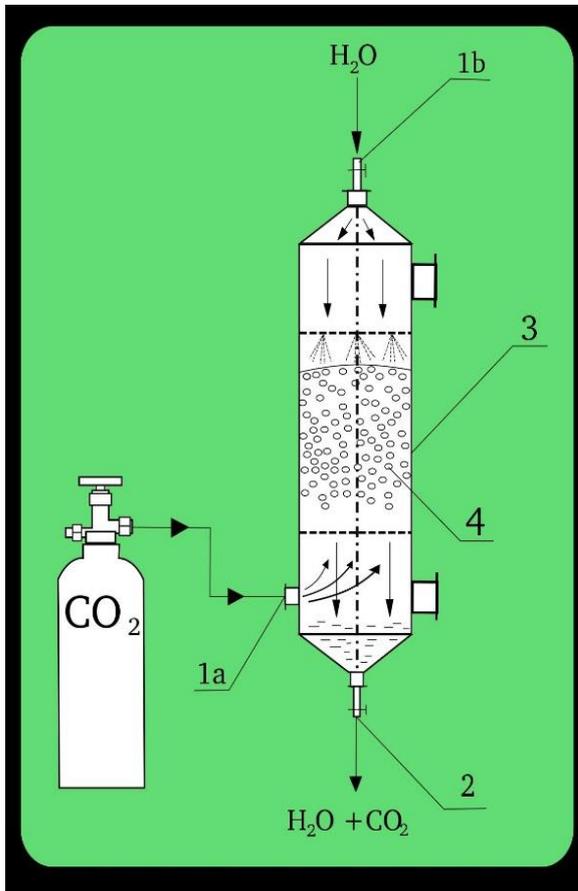


temperatura também influenciam na taxa de separação e eficiência do processo.

( Separador por membrana seletivas )

Contudo o separador por membranas seletivas não capaz de separar totalmente o oxigênio do carbono e é aí que entra a coluna de Absorção que irá separar de vez o oxigênio do carbono, com as membranas seletivas servindo apenas para dar início ao processo de separação química, A absorção química é um processo de separação que envolve a utilização de um solvente líquido para absorver seletivamente um componente gasoso de uma corrente de gases. Nesse processo, o componente a ser removido é dissolvido fisicamente no solvente, formando uma solução líquida. A absorção química ocorre em uma torre de absorção, também conhecida como coluna de absorção. A corrente gasosa que contém o componente a ser removido é enviada para a base da coluna, enquanto o solvente líquido é introduzido no topo da coluna e flui em contracorrente ao fluxo gasoso ascendente. Durante essa contra fluência, o componente gasoso é absorvido pelo solvente e transferido para a fase líquida. O solvente utilizado na absorção química é escolhido com base na sua afinidade pelo componente a ser removido. Geralmente, é necessário utilizar um solvente líquido que seja capaz de dissolver seletivamente o componente indesejado, enquanto os demais componentes são pouco solúveis ou insolúveis. Após a absorção do componente, o solvente contaminado pode ser regenerado por meio de outro processo, como destilação ou reações químicas específicas, onde após toda

essa separação química o oxigênio é carbono mantidos em estados gasosos seriam levados separadamente para os tanques de combustíveis vazios da espaçonave ou foguete, sendo extremamente importante que os tanques estejam completamente vazios para que não haja nenhuma reação química inesperada com alguma sobra do combustível anteriormente



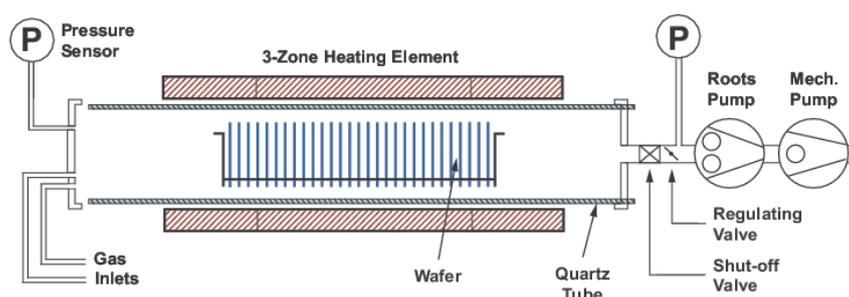
utilizado nos tanques de armazenamento do combustível.

( ilustração da coluna de absorção química )

Onde após serem separados o oxigênio será levado para um tanque de combustível, onde será armazenado em uma pressão significativamente alta, sendo mantido a uma temperatura superior aos 183 graus negativos, onde o oxigênio poderá ser mantido em sua forma gasosa, podendo ser posteriormente usado como oxidante do combustível principal, o carbono sólido, que será armazenado em um tanque separado, contudo, para que seja possível armazenar uma grande quantidade de oxigênio gasoso puro, o que conseqüentemente iria gerar uma grande pressão interna, seria necessário que a parede do tanque de combustível do oxigênio gasoso seja feita de um material mais resistente e denso, como o titânio, que poderia tanto aguentar as temperaturas extremamente baixas bem como as pressões extremamente altas no interior do tanque de combustível com o oxigênio gasosos puro com uma relativa

facilidade, com o titânio podendo resistir a condições extremas como essa em uma menor quantidade comparado a liga de alumínio amplamente utilizada no setor espacial.

Contudo, para passar o carbono gasoso do estado gasoso para sólido e utilizado uma técnica conhecida como processo de deposição química de vapor (CVD) com carbono gasoso é chamado de CVD de carbono ou CVD de carbono gasoso. Nesse processo, carbono gasoso é utilizado como precursor para a formação de filmes de carbono. O CVD de carbono geralmente é realizado em reatores de CVD com câmaras de reação aquecidas. O carbono gasoso (geralmente metano ou outro hidrocarboneto) é introduzido na câmara de reação junto com um gás inerte ou transportador, como hidrogênio. O substrato em que o filme de carbono será depositado é colocado dentro da câmara de reação. O substrato pode ser um material como silício, vidro, cerâmica, metal ou mesmo outro filme de carbono. O substrato é aquecido para uma temperatura adequada, geralmente entre 500 e 1000 graus Celsius, dependendo do processo e dos requisitos de deposição. À medida que o substrato é aquecido, ocorre a decomposição do precursor de carbono gasoso. Os átomos de carbono são liberados e depositam-se na superfície do substrato, formando um filme contínuo de carbono. O hidrogênio atua como um transportador, ajudando a transportar os átomos de carbono para a superfície do substrato, Diferentes parâmetros de processo, como temperatura, pressão, fluxo de gás e tempo de deposição, podem ser controlados para obter diferentes propriedades do filme de carbono, como a espessura, a taxa de crescimento, a estrutura cristalina e as propriedades elétricas e mecânicas.



( ilustração de um reator de CVD )

Em geral, o processo de CVD pode levar de alguns minutos a várias horas para transformar uma quantidade específica de carbono em carbono sólido. No entanto, é importante ressaltar que o CVD é um processo contínuo e pode ser implementado em

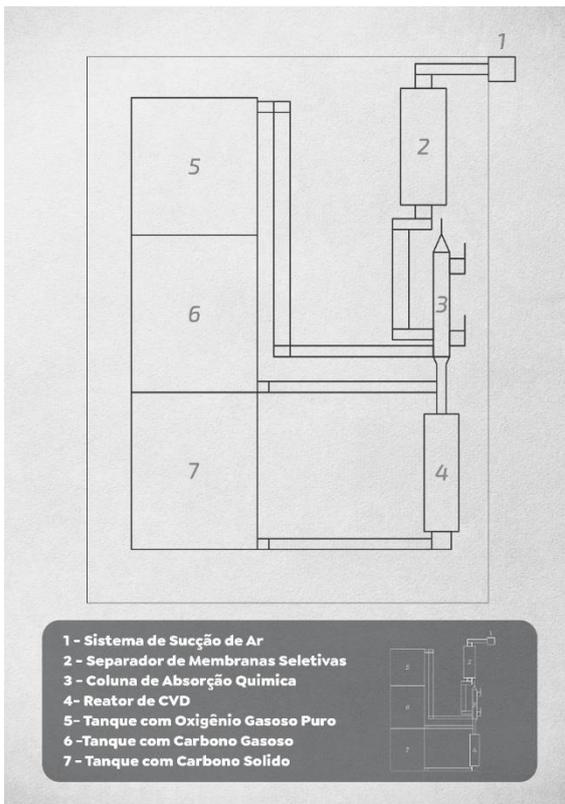
diferentes escalas, desde pequenos substratos até grandes áreas. Portanto, o tempo exato dependerá das condições específicas de cada caso e das necessidades específicas de produção, com uma espaçonave necessitando de dezenas de toneladas de combustível para que possa retornar a terra, com o processo de transformação de uma quantidade tão grande de carbono gasoso em carbono sólido utilizando um reator de CVD em uma escala industrial pequena, poderia levar vários meses, com isso não sendo um problema tendo em vista que toda a espaçonave que pouse em Marte futuramente terá que esperar um tempo mínimo de 2 anos até que Marte e a Terra estejam no seu maior ponto de proximidade o que acaba por permitir a janela de transferência entre os dois mundos, com essa espera de 2 anos dando tempo mais do que o suficiente para o reator de CVD produzir as quantidades necessárias de combustível que permitam a espaçonave de decolar de Marte.

## RESULTADOS

Contudo, a combustão do carbono sólido no motor da espaçonave dependeria exclusivamente do oxigênio para causar a reação deste combustível, e para isso o oxigênio seria liberado na câmara já em seu estado de combustão para que assim a temperatura liberada pelo oxigênio puro seja mais do que o suficiente para fazer o carbono sólido entrar no seu processo de combustão quase que instantaneamente, com o motor de combustível sólido impulsionando a espaçonave para fora do planeta em uma trajetória balística que passaria pelo espaço, para posteriormente o carbono gasoso seja utilizado como combustível nesse ambiente.

Seguindo para o segundo tipo de queima a base de carbono do motor movido a queima do carbono gasoso, onde da mesma forma da queima anterior do primeiro estágio, o oxigênio puro seria liberado em questão de milissegundos antes do carbono gasoso, para que assim quando o carbono gasoso seja liberado o oxigênio já esteja em combustão pronto para aquecer o carbono gasoso para começar a gerar impulso, com o segundo estágio sendo responsável por colocar a espaçonave em órbita e posteriormente fazer a espaçonave alcançar a velocidade de escape do órbita de Marte usando a sua segunda queima de combustível gasosa.

Contudo, vale a pena ressaltar o fato que a espaçonave que usasse essa combinação de tecnologias para a criação de combustível através da atmosfera de Marte não precisaria ter motores ou foguetes de lançamento separados por usar o combustível que no caso é o carbono, que estaria em diferentes estados, pois apesar do estado gasoso e do estado sólido do carbono terem grandes diferenças em suas formas, a técnica para expelir esses combustíveis na câmara de combustão do motor de uma espaçonave seria exatamente a mesma em ambos os casos, o que permitirá a espaçonave usar um único motor para as duas queimas distintas do carbono.



( ilustração da tecnologia de S.R.A.M )

Com a queima do carbono sólido na primeira queima do sistema para sair de marte podendo gerar ate 7,6 megajoules de energia por quilo queimado, oque associado com a baixa resistência atmosférica do planeta e a pouca atração gravitacional em relação à atração gravitacional da terra, tornaria a saída do planeta rápida e eficiente, com a segunda queima que pretende colocar a espaçonave em orbita, já no espaço, a queima do carbono gasoso que seria o combustível utilizado nesse ambiente com a ajuda da queima simultânea de oxigênio puro, poderia gerar ate 32 megajoules de energia por quilo queimado, isso associado a baixa velocidade orbital de marte em relação à velocidade orbital na terra, faria com que uma espaçonave que usasse esses sistema tivesse tanto potencia para entrar em orbita quanto potência o suficiente para romper essa orbita é seguir em direção a terra em uma viagem de volta.

Contudo, para levar os combustíveis feitos a partir da atmosfera de marte, alguns sistemas de transporte teriam que ser empregados no encanamento que levasse os combustíveis até seus respectivos tanques, com os combustíveis gasosos podendo ser levados até seus tanques de combustível através de Sistemas de sucção de ar, do mesmo tipo empregado para retirar o ar da atmosfera de marte, com o transporte do combustível sólido podendo ser feito através da sucção para armazenamento de ar da atmosfera de marte para gerar uma

pressão atmosférica que leve o carbono sólido até seu respectivo tanque de combustível, com o ar podendo ser expelido posteriormente.

## DISCUSSÃO

Contudo, o consumo de oxigênio seria igual ao consumo do carbono gasosos e carbono sólidos juntos, com o oxigênio necessitando de um tanque de combustível mais resistente para aguentar menores pressões do oxigênio em sua forma gasosa, com essa mudança acontecendo na forma da troca da parede que reveste todo o tanque de combustível internamente e externamente por um material mais resistente a altas pressões e baixíssimas temperaturas, com o metal mais indicado para isso sendo o aço inoxidável, que poderia aguentar uma pressão de até 200 megapascals e ainda sim não se torna quebradiço as temperaturas extremamente baixas que seriam necessárias para armazenar o oxigênio puro, com a parede de aço inoxidável tendo que ter camadas extras para permitir assim que o tanque de combustível armazene uma maior quantidade de oxigênio puro com mais facilidade, dessa forma a espaçonave teria oxigênio o suficiente para sustentar a combustão do carbono em seus dois estados para conseguir voltar a terra, com essas questões ficando no passado.

Com marte também facilitando o processo de volta para a Terra, tendo em vista que por ser 4 vezes menor do que a terra o consumo de combustível para entrar em sua órbita seria 4 vezes menor, com espaçonaves que pousem em marte precisando ter apenas 1/4 do tamanho de foguetes na terra para poderem decolar de marte, isso associado ao fato que a combinação de tecnologia apresentadas nesse artigo poderiam reabastecer espaçonaves completamente, torna viagens para Marte cada vez mais acessíveis, tendo em vista que missões tripuladas rumo ao planeta vermelho não precisariam mais de se preocupar com questões relacionadas ao combustível para voltar a terra.

Contudo, o valor para a construção de todo o sistema poderia variar bastante, dependendo principalmente do tamanho e qualidade dos equipamentos, no entanto, levando em conta que os equipamentos teriam que ter no mínimo um tamanho industrial pequeno, e levando isso em consideração, o preço da construção e unificação dos três equipamentos no sistema em sua menor escala para espaçonaves que pousem em marte, e avaliado em 150 mil dólares, o que é uma fração do custo de uma missão espacial a marte que use esse sistema, havendo uma diferença significativa grande no custo de construção e lançamento de uma missão a marte com o custo de construção do sistema de S.R.A.M, o que poderia viabilizar esse sistema para futuras expedições a marte, com a organização que pretenda realizar esse tipo de expedição precisando gastar apenas uma pequena fração de 150 mil dólares a mais para garantir que sua espaçonave retorne a terra.

No entanto, uma preocupação que possa vir a surgir a respeito do funcionamento do sistema e o seu consumo de energia, pois no espaço, o que inclui Marte, a principal forma de energia é a energia solar, onde em um planeta com a rotação quase idêntica a da Terra, essa única e preciosa fonte de energia se torna disponível apenas pela metade de um dia, com outros sistemas da nave já consumindo boa parte da energia absorvida pelo Sol, contudo, apesar de sim, o sistema de S.R.A.M consumir uma quantidade considerável de energia para a produção de combustível a partir da atmosfera de Marte, essa produção não teria pressa alguma para ser concluída, pois quando uma espaçonave chega à superfície de Marte, para retornar à Terra essa espaçonave precisaria esperar um período de 2 anos até a Terra e Marte estejam aliados para que assim a espaçonave possa voltar à Terra economizando o máximo de seu combustível, e nesse período de 2, os equipamentos de tamanho industrial pequeno do sistema do S.R.A.M, teriam tempo mais do que o suficiente para a criação de combustível em Marte, então com isso a seu favor, o sistema de S.R.A.M iria usar a sua grande quantidade de tempo para minimizar ao máximo o seu consumo de energia da espaçonave, o que a curto prazo pode gerar pouco combustível, mais a longo prazo pode gerar combustível suficiente para que a espaçonave possa retornar à Terra, com o tempo disponível reduzindo o consumo de energia diário, o que não torna o sistema um fardo energético ao resto da espaçonave.

Outra questão importante é o consumo de espaço do sistema dentro do interior de uma espaçonave, e a massa adicional do sistema a massa da espaçonave, com a questão do espaço que o sistema ocuparia requisitando uma ampliação no volume do primeiro estágio de um foguete ou espaçonave que pouse em Marte, contudo essa ampliação para comportar o sistema de S.R.A.M não afetaria a massa total da espaçonave, e nem sua aerodinâmica tendo em vista a baixa densidade da atmosfera de Marte, com a massa do sistema em si, mesmo em uma escala industrial pequena, não fazendo o conjunto de tecnologias pesar mais de 4 toneladas a mais na espaçonave, o que embora seja uma massa considerável, ainda tornaria possível um veículo lançador enviar uma espaçonave a Marte sem qualquer alteração adicional no lançamento ou no veículo empregado para isso, com essa massa adicional não fazendo grandes efeitos ou diferenças em uma espaçonave que pode chegar a dezenas ou até mesmo centenas de toneladas, com essas 4 toneladas garantindo que a espaçonave possa retornar à Terra através de uma produção de combustível de longo prazo.

## CONCLUSÃO

Contudo, através da tecnologia de S.R.A.M, a humanidade poderia realizar missões para Marte sem se preocupar em adicionar o combustível para a volta à Terra, com futuras espaçonaves podendo usar o combustível feito em Marte para essa fase final de uma missão a

marTE, com o conjunto das três tecnologias podendo fazer da atmosfera de Marte um posto espacial, com isso permitindo que missões para Marte possam levar mais carga e seres humanos para futuras explorações e até Colônias no planeta vermelho, pois espaçonaves que usassem esse conjunto de tecnologias não precisariam ficar a mercê daquela velha crença popular que diz que os primeiros seres humanos a ir para Marte iriam em uma viagem só de ida, com a tecnologia de S.R.A.M mostrando que essa crença está errada, com a humanidade sim podendo ir e voltar do planeta vermelho, com essa tecnologia dando aos seres humanos a Marte uma chance para quando quiserem sempre poderem voltar para casa.

## REFERÊNCIAS

FICK, Adolf. (1855). Ueber diffusion. Germany. Annalen der Physik und Chemie.

GLAUBENSKLEe, G. J. (1972). Chemical absorption column design. Chemical Engineering Journal.

YAMAUCHI, Y., Yoshida, S., Iwanaga, H. e Ogino, T. (2012). Chemical Vapor Deposition Technology and Science. John Wiley & Sons.