

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE BATERIAS LI-ÍON: DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA O SETOR AEROESPACIAL

Luciana Pereira Simões, Carlos Renato dos Santos, Adriano Costa Pinto e Alison Moraes¹

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria espacial tem visto um progresso significativo, conforme observado por Perondi (2023). Os foguetes desempenham um papel crucial neste mercado, particularmente veículos suborbitais usados para experimentos científicos (PESSOA FILHO, 2021). Esses veículos têm características únicas, tornando a confiabilidade de todos os sistemas de bordo essenciais para o sucesso da missão. Uma falha de até mesmo um único subsistema pode resultar na perda de toda a missão (CILLAS, 2020; ANDRADE, 2022; DOS SANTOS, 2022).

A Figura 1 ilustra a trajetória de um voo suborbital para gerar microgravidade, que começa com a decolagem do foguete e progride por um ou mais estágios do voo. Após essa fase, o controle de rotação estabiliza a carga útil, gerando um ambiente de microgravidade. Posteriormente, a missão transita para a reentrada, seguida pela implantação do paraquedas, concluindo com a recuperação da carga útil.

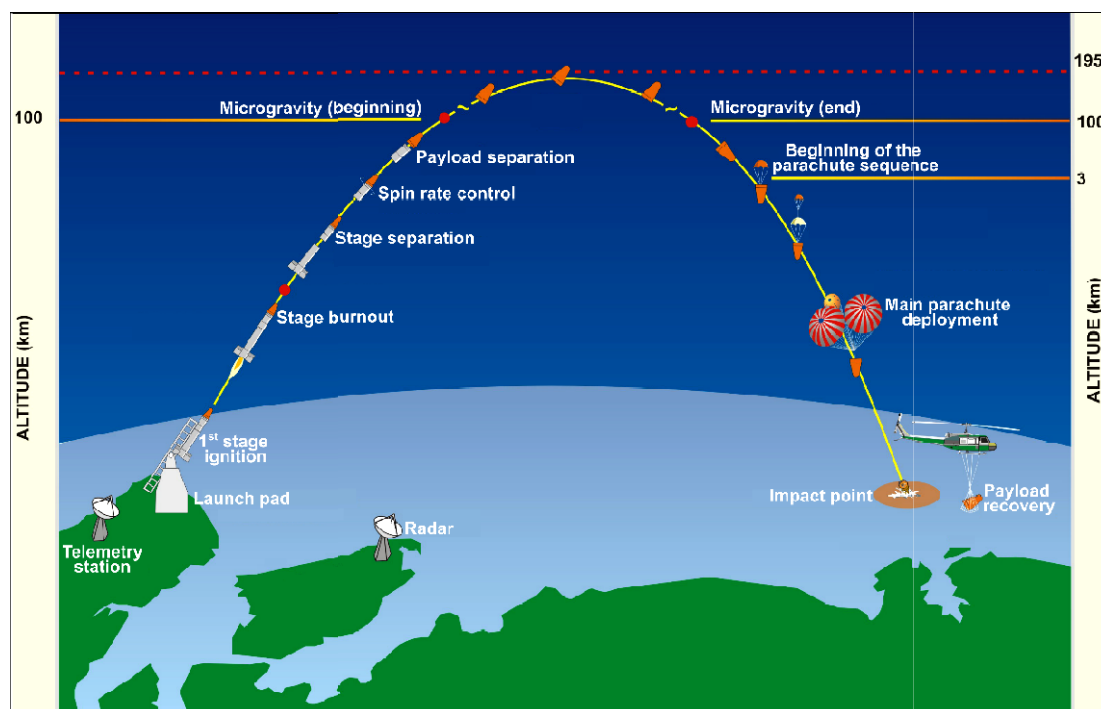


Figura 1 - Ilustração de um perfil de voo suborbital para conduzir experimentos de microgravidade com um foguete.

Entre os vários subsistemas em um veículo suborbital, as redes elétricas que lidam com funções como segurança de voo, controle e telemetria são de extrema importância. Essas

¹ Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE)



redes elétricas têm um impacto significativo no processo de lançamento e são conectadas às operações terrestres durante as fases de pré-lançamento (MOTTA, 2024)

As baterias são cruciais neste sistema, pois são conectadas a cada módulo. Mesmo se uma unidade de sensor falhar, o veículo ainda deve ser capaz de executar sua missão. No entanto, se o sistema de distribuição de energia falhar, toda a missão estará em risco. Isso destaca a importância de garantir que as baterias estejam livres de falhas, pois várias falhas internas e externas podem ocorrer durante a operação da bateria, levando a problemas de desempenho e ameaças potenciais, como fuga térmica, incêndios ou explosões. Todos esses problemas representam riscos potenciais, e qualquer mau funcionamento pode impedir que toda a missão seja concluída.

Pesquisas e contribuições globais recentes impactaram significativamente o desenvolvimento de baterias de íons de lítio (Li-ion). Esforços contínuos de melhoria, impulsionados por desafios, estão atraindo investimentos crescentes de empresas privadas. O foco atual na inovação se estende além do Li-ion, priorizando a segurança e a sustentabilidade.

O desenvolvimento de baterias depende de ferramentas como avaliação do ciclo de vida e análise técnico-econômica, conforme discutido por Deng (2015). As baterias de íons de lítio são usadas em vários domínios, conforme evidenciado por suas aplicações em Ahmed (2015), Zhao (2023), Ma (2019), Naha (2019) e Woody (2020).

No entanto, seu uso em foguetes continua sendo uma preocupação, principalmente devido à segurança (DOS SANTOS, 2023). Como Deng (2015) mencionou, incidentes envolvendo incêndio em duas aeronaves Boeing 787 Dreamliner ligadas a baterias de íons de lítio destacam a importância de garantir a segurança das baterias.

Ao contrário de estudos com foco na vida útil da célula em missões de satélite, a principal preocupação para veículos suborbitais é a segurança da missão. Durante um voo suborbital, a pressão ambiente varia da atmosférica para quase vácuo, com temperaturas internas da carga útil potencialmente excedendo 60°C. A aceleração do foguete excede 10g, além disso, durante condições de microgravidade, a carga útil experimenta forças tão baixas quanto $10^{-6}g$. Essas variações significativas ocorrem em menos de 20 minutos, típicas de um voo de foguete suborbital, conforme ilustrado na Figura 1.

Esta pesquisa tem como objetivo testar a segurança e o desempenho de células de íons de lítio para veículos suborbitais, incluindo temperatura e condução anormal, e propor uma metodologia de teste para uso seguro em projetos eletrônicos.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na segunda seção, é apresentada a metodologia para avaliar células de íons de lítio em relação à sua segurança e desempenho. A terceira seção apresenta os resultados obtidos durante os experimentos. A quarta seção discute os resultados obtidos durante a pesquisa. Na quinta seção, são apresentadas nossas considerações finais sobre o uso de células de íons de lítio em veículos subordinados.

2. MÉTODOS



Métodos de teste que simulam condições ambientais e de uso foram desenvolvidos para determinar a segurança das células de íons de lítio. Assim, uma análise está sendo conduzida atualmente para avaliar a possibilidade de usar células de íons de lítio em veículos suborbitais. O objetivo principal é determinar se as células de íons de lítio têm as características necessárias para substituir a antiga tecnologia de células de Ni-MH em voos suborbitais. Este é o primeiro passo para construir um conjunto de baterias baseado em células de íons de lítio.

2.1 Materiais

Duas células de diferentes fabricantes foram selecionadas para conduzir uma análise abrangente das células de íons de lítio que estamos investigando. Cada célula foi selecionada com base nas especificações resumidas na Tabela 1, que fornecem uma compreensão de suas características e propriedades.

Tabela 1 – Características das células testadas

	Célula 1	Célula 2
Tipo	Bateria cilíndrica 18650	Bateria cilíndrica 18650
Tensão nominal [V]	3,6	3,6
Capacidade nominal [Ah]	3,2	2,5
Tensão de carregamento [V]	4,2	4,2
Tensão de corte de descarga [V]	2,65	2,5
Máx. corrente de descarga [A]	8,0	20,0
Máx. pulso de descarga [A]	13,0	100 [por 1 segundo]

2.2 Metodologia dos testes

Para que as células de Li-íon fossem admitidas para serem embarcadas nos veículos suborbitais foi proposta uma sequência de testes onde parâmetros ambientais e de uso fossem testados gradativamente. Figura 2 apresenta o fluxo de testes para aceitação da bateria de Li-íon. A seguir serão apresentados uma síntese de cada um dos sete testes propostos para avaliar as células de Li-íon.

2.3 Teste capacidade

A aviônica do veículo é projetada para consumir uma quantidade específica de corrente dentro de uma faixa de voltagem predeterminada. É crucial verificar se as células podem fornecer os valores de corrente e voltagem necessários. Além disso, o teste de capacidade avalia a qualidade da célula. A capacidade de uma célula, conforme especificado pelo fabricante, pode ser verificada por meio de testes. O monitoramento do carregamento e descarregamento de células e sistemas de gerenciamento de bateria é fundamental para o uso eficaz da bateria, conforme discutido em detalhes em estudos como Mart-Flores et al (2023).

Este teste de capacidade avalia a qualidade da célula produzida. Como as células não são submetidas a ambientes severos, nenhum dano é esperado durante este teste. O teste de capacidade foi conduzido para avaliar o desempenho das células 1 e 2 (ver tabela 1) ao descarregar em diferentes taxas de corrente em temperatura ambiente. O teste usa uma carga eletrônica para drenar a célula em várias taxas de corrente constantes. O software LabVIEW monitora a voltagem da célula durante a descarga.

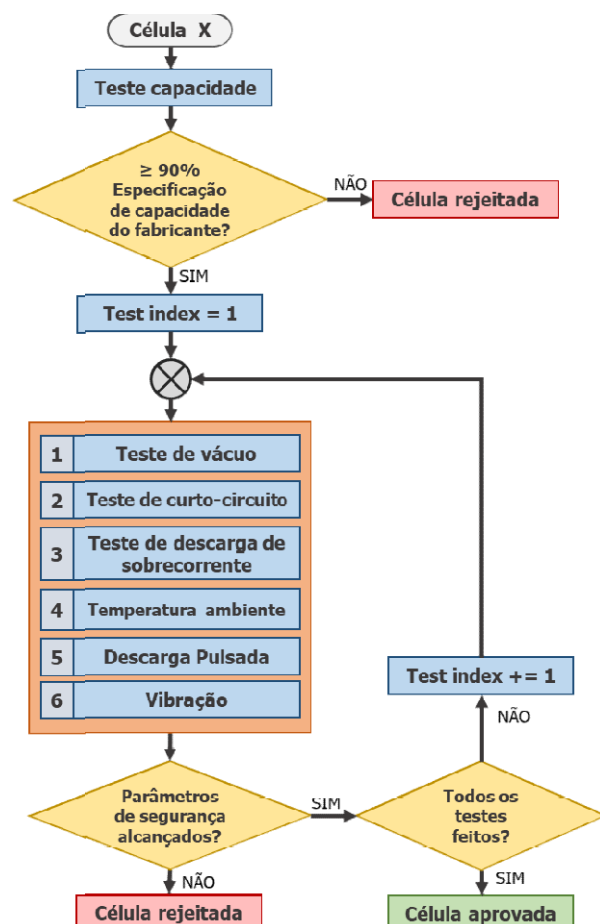


Figura 2 - Proposta de projeto de fluxo de aceitação para adequação e segurança de células de íons de lítio em veículos suborbitais por meio de sete testes

2.4 Teste de vácuo

Birkel et al. (2017) identificaram vários mecanismos físicos e químicos que podem causar a degradação de células de íons de lítio. Gradientes de pressão podem contribuir para a degradação do veículo mesmo em baixas altitudes. Em missões de microgravidade, o ambiente de vácuo pode criar diferenças de pressão que afetam restrições mecânicas, particularmente a célula da bateria. Isso pode levar a preocupações de segurança, como desencadear uma reação química, curtos-circuitos e risco de incêndio ou explosão.

Estabelecer um limite de vácuo e testar em células é crucial para identificar potenciais deformações que podem levar a problemas térmicos e de desempenho, e representar um risco de incêndio.

A sequência de teste envolve carregar e descarregar a célula, registrar a curva de descarga de voltagem e medir a massa e as dimensões da célula para avaliar qualquer impacto da exposição às condições de vácuo. Após ser colocada em uma câmara de vácuo por pelo menos 60 minutos, a célula é avaliada quanto a mudanças na massa e nas dimensões. Se nenhuma mudança for detectada, a célula passa por um processo de descarga para avaliação posterior.

Se a massa e as dimensões mecânicas da célula permanecerem inalteradas durante o processo de vácuo, os valores de tensão e corrente obtidos posteriormente também devem

ser verificados para garantir que permaneçam estáveis. Se isso acontecer pode-se concluir que a célula se comporta conforme o esperado e é adequada para uso em veículos suborbitais. Caso contrário, a célula deve ser descartada, e é altamente recomendável que seja reciclada adequadamente. Para mais detalhes, consulte Velázquez-Martinez et al (2019).

2.5 Teste de curto-circuito

Este teste examina como a célula se comporta durante um curto-circuito. É crucial entender esse comportamento para evitar desastres potenciais como incêndio ou explosão, que podem ter consequências sérias para o veículo. Embora vazamento ou deformação sejam problemas menos graves, eles ainda são motivo de preocupação.

Para conduzir o teste, é imperativo criar um curto-circuito dentro da célula. O fio que facilita o fluxo da corrente de curto-circuito deve possuir uma resistência relativamente baixa, idealmente em torno de uma dúzia de miliohms. Para medir a corrente de curto-circuito, um resistor de derivação pode ser integrado no caminho do curto-circuito (veja a Figura 3). É crucial que o resistor de derivação cumpra o requisito de ter a menor resistência possível. Além disso, é importante monitorar e registrar continuamente a temperatura da célula durante todo o processo de curto-circuito

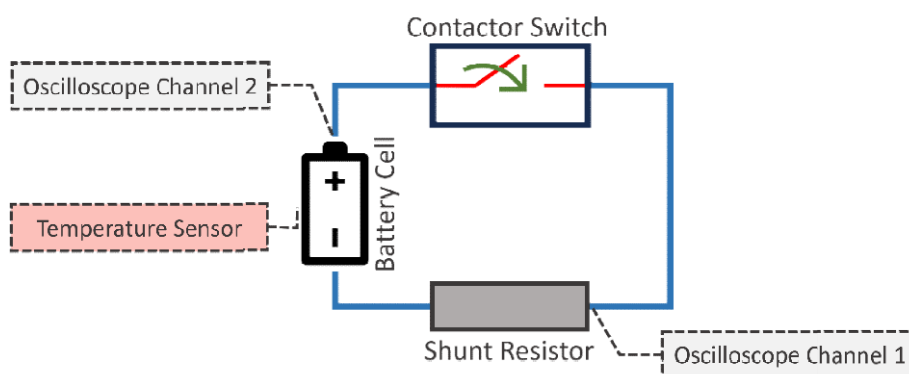


Figura 3 – Configuração do teste de curto-circuito.

A corrente de curto-circuito foi medida registrando a queda de tensão no resistor de derivação usando o canal 1 do osciloscópio. O canal 2 foi utilizado para medir a tensão na célula. A temperatura da célula foi monitorada usando um sistema de aquisição de dados controlado pelo LabVIEW. O interruptor do contator foi selecionado por sua capacidade de gerenciar altas correntes e contatos de baixa resistência.

2.6 Teste de descarga de sobrecorrente

A célula deve experimentar uma corrente acima da especificação enquanto abaixo da corrente de curto-circuito. Assim, para investigar como a célula se comporta quando um período prolongado de alta corrente é drenado. O teste visa investigar mudanças de temperatura resultantes de um aumento na corrente.

Para conduzir um teste completo, é importante controlar a corrente que está sendo drenada, geralmente usando uma carga eletrônica. A principal preocupação é monitorar a temperatura da célula durante o teste para avaliar o aumento da temperatura pelo período mais longo possível, assumimos que a tensão de corte inferior da célula é de 0,1 V para

uma corrente de descarga de 30A. Isso é para evitar término repentino e garantir uma duração de teste mais longa. É crucial manter um registro da tensão de descarga e da temperatura durante o teste. Como a corrente permanecerá constante durante todo o teste, não há necessidade de registrá-la.

2.7 Temperatura ambiente

Em estudo de Alcock et al. (2023), foi enfatizada a importância de monitorar a temperatura da célula e da bateria durante a operação, particularmente em áreas onde a temperatura pode exceder 100 °C. A bateria precisa funcionar corretamente mesmo sob tais condições extremas. Os fabricantes normalmente fornecem dois parâmetros importantes para baterias: a capacidade da bateria e a temperatura máxima de operação. Esta última se refere à temperatura mais alta na qual a bateria pode funcionar com segurança. Para validar as informações de temperatura fornecidas pelo fabricante, a célula deve passar por testes, que envolvem elevar e manter a temperatura do ambiente e da célula em um determinado nível.

Uma câmara de temperatura pode ser usada para simular condições, e uma taxa de descarga de 1C foi usada durante o teste. Registrar a voltagem e a temperatura da célula durante o processo de descarga é essencial para estabelecer uma linha de base para comparação. Testar células em temperaturas mais altas é necessário para abordar questões de segurança, especialmente para lançamentos de veículos. Este teste fornece evidências da qualidade e desempenho da célula em altas temperaturas, o que é crucial para a eletrônica a bordo de veículos suborbitais especificados para operar a 60°C. A Figura 4 apresenta a configuração do teste de temperatura.

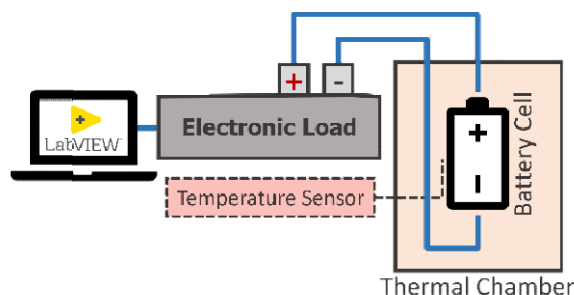


Figura 4 – Configuração do teste de temperatura.

2.8 Descarga Pulsada

A ativação de dispositivos a bordo de foguetes, como atuadores, requer pulsos de alta potência para iniciar a ação desejada. O sistema deve fornecer uma sequência de pulsos de alta corrente sem que a voltagem caia para um nível indesejável. O teste avaliou uma sequência de dez pulsos de 15 amperes com duração de 500 milissegundos e intervalo de 5500 milissegundos entre os pulsos. A duração total do teste é de aproximadamente um minuto. O pulso com a maior queda de tensão durante o teste deve ser avaliado para determinar se a célula pode fornecer a corrente e ainda manter tensão suficiente.

Para operações específicas, é necessária uma corrente de até 10A por algumas centenas de milissegundos. Conforme as especificações do fabricante, as células 1 e 2 são capazes de lidar com pulsos de amperes (veja a Tabela 1). Para confirmar essas informações e garantir que a célula atenda aos requisitos do veículo, um teste foi realizado. O teste envolveu a produção de 10 pulsos, cada um carregando uma corrente de 15^a



2.9 Vibração

Durante o lançamento, devido à aceleração sólida, a vibração é observada no foguete (PINTO, 2022). As células devem suportar esse estresse mecânico inerente ao lançamento do veículo. Para esse propósito, as células 1 e 2 foram posicionadas em um dispositivo que simulava as vibrações encontradas durante o lançamento.

Ao submeter a bateria a vibrações, ela foi descarregada com uma corrente de C/5. A curva de descarga foi antecipada para refletir um padrão consistente sem quaisquer desvios, e a observação cuidadosa não revelou quaisquer sinais de deformação mecânica.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos durante os sete testes que visavam caracterizar a bateria como própria para ser embarcada dentro do veículo suborbital serão apresentados nessa seção.

3.1 Teste capacidade

Os resultados obtidos na célula 1 indicam que sua capacidade é de aproximadamente 2600 mAh, o que é 26% menor do que o esperado. Os resultados para correntes de descarga de 2C e 3C são ainda mais preocupantes. A célula 2 também mostra valores de capacidade menores do que os especificados pelo fabricante, com uma diferença de 7% em 1C e 27% em 3C.

O painel esquerdo da Figura 5(a) mostra que a capacidade da célula 1 é de aproximadamente 2600 mAh, o que é 26% menor do que o esperado. Os resultados para 2C e 3C são ainda menores. O painel direito da Figura 5(b) indica que os valores de capacidade da célula 2 são ligeiramente menores do que o especificado, com uma diferença de 7% em 1C e 27% em 3C.

3.2 Teste de vácuo

Os resultados do teste de vácuo para as células 1 e 2 não indicaram nenhuma alteração em suas dimensões ou massa. Nenhum evento incomum ou inesperado foi observado durante o processo de carga e descarga das células. Essas observações sugerem que as células operaram normalmente, e nenhuma indicação de quaisquer problemas potenciais ou mau funcionamento foi encontrada.

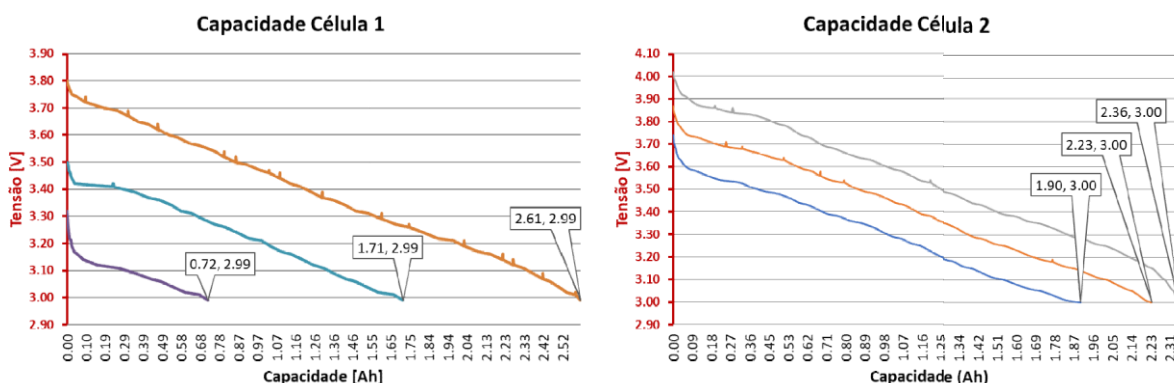


Figura 5 - Resultados dos testes de capacidade para a Célula 1 (a) e Célula 2 (b).

3.3 Teste de curto-circuito

As células 1 e 2 passaram com sucesso nos parâmetros de segurança contra curto-circuito. Isso significa que elas não pegaram fogo, vazaram, explodiram ou deformaram durante o teste. A duração pela qual a corrente permaneceu no valor máximo é insignificante. No entanto, vale a pena notar que a célula se tornou não funcional após o teste de curto-circuito. Esta é uma boa indicação de que, se tal evento ocorresse, a falha não se espalharia pelas redes do veículo. Além disso, o ligeiro aumento de temperatura não representou nenhum perigo para o veículo ou para a missão, pois o impacto foi apenas temporário.

As Figuras 6 e 7 mostram as curvas de tensão, corrente e temperatura para as células 1 e 2 durante o teste de curto-circuito. Os picos de corrente para as células 1 e 2 foram 110A e 100A, respectivamente, e a bateria durou quase 10 e 13,5 segundos. Notavelmente, não houve incidentes de explosão ou incêndio. A temperatura máxima atingida foi de 67°C para a célula 1 e 77°C para a célula 2.

3.4 Teste de descarga de sobrecorrente

Durante o teste de descarga de sobrecorrente, as células atenderam aos parâmetros de segurança. A corrente de descarga foi definida para 30 A, com uma tensão de corte de 0,1 V. A célula 1 atingiu a tensão de corte em 2,3 segundos e atingiu uma temperatura máxima de 92 °C. A célula 2 atingiu uma temperatura máxima de 110 °C e operou por 4,57 segundos com corrente de descarga de 30 A. Figuras 8 e 9 apresentam os resultados das células 1 e 2 respectivamente.

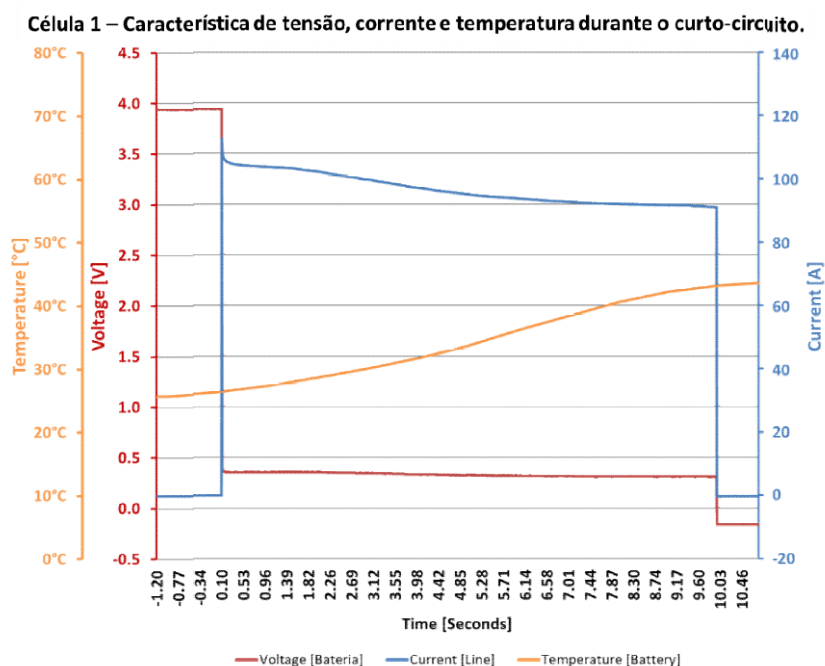


Figura 6 - Célula 1 - Curvas de tensão, corrente e temperatura do teste de curto-circuito.



II Congresso de Mulheres em STEAM

26 e 27 de setembro, no PIT, em São José dos Campos/SP

Célula 2 – Característica de tensão, corrente e temperatura durante o curto-circuito.

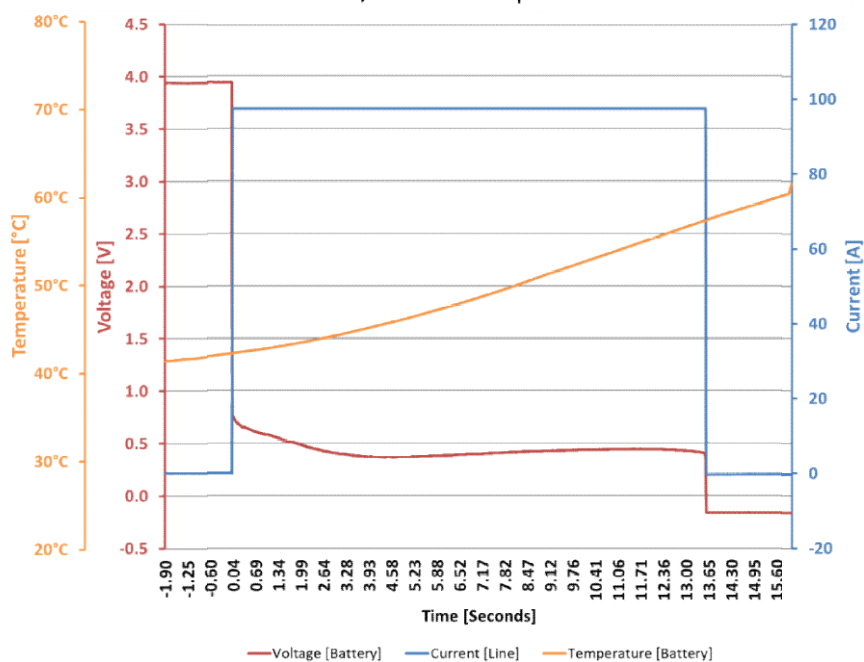


Figura 7 - Célula 2 - Curvas de tensão, corrente e temperatura do teste de curto-circuito.

Célula 1 – Característica de tensão e temperatura durante o descarga de sobrecorrente.

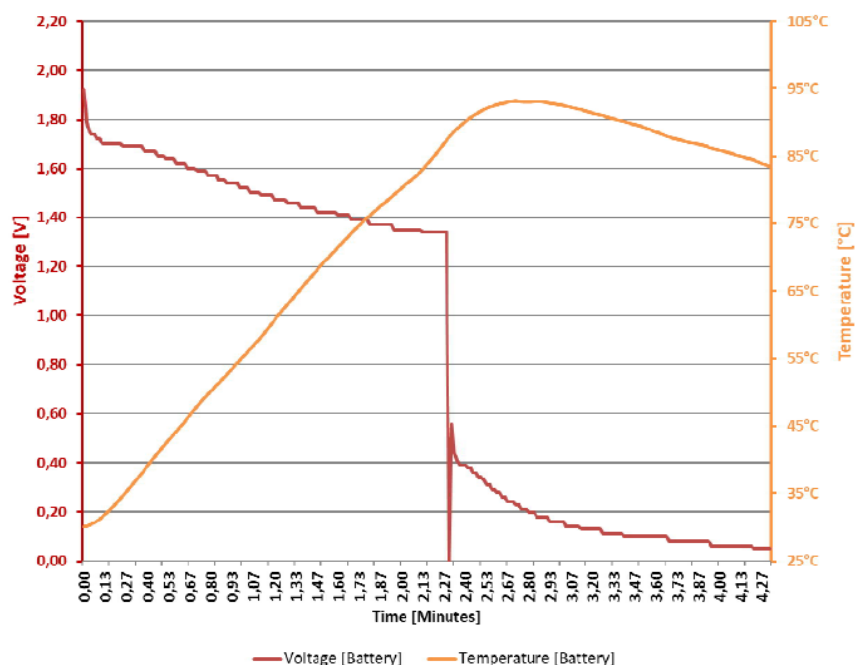


Figura 8 - Células 1 - Curva de tensão e temperatura durante uma corrente de descarga de 30 A.



II Congresso de Mulheres em STEAM

26 e 27 de setembro, no PIT, em São José dos Campos/SP

Célula 2 – Característica de tensão e temperatura durante o descarga de sobrecorrente.

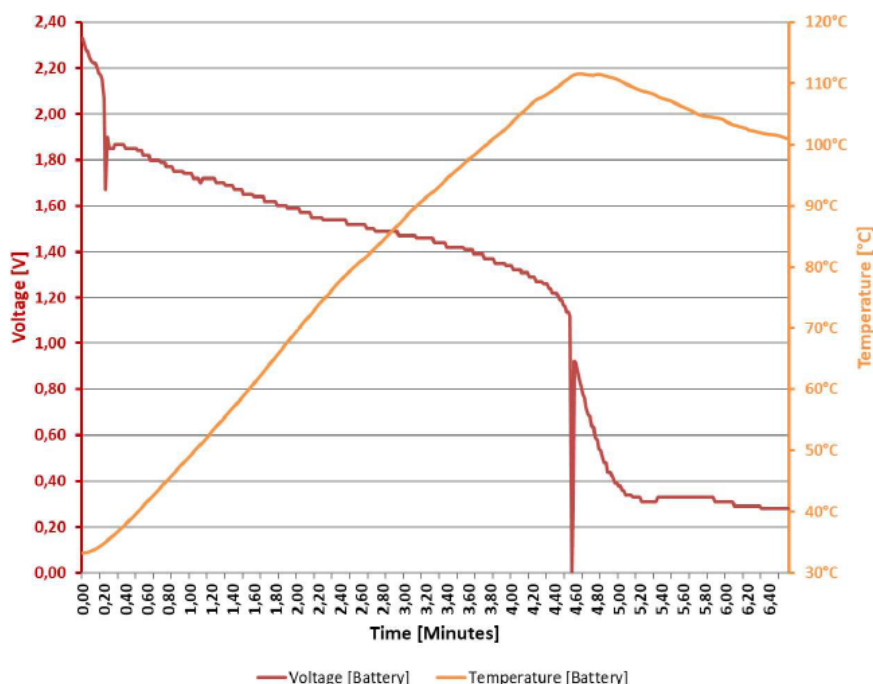
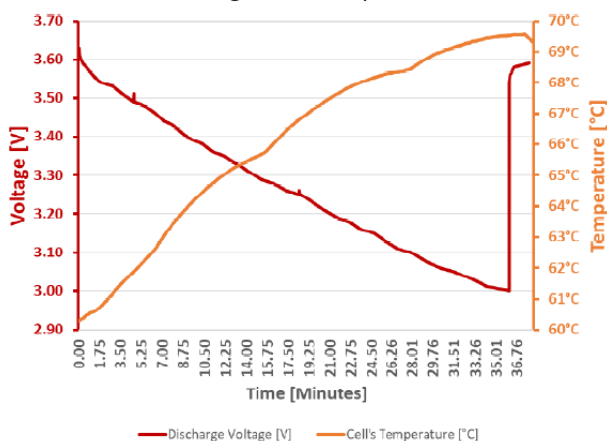


Figura 9 - Células 2 - Curva de tensão e temperatura durante uma corrente de descarga de 30 A.

3.5 Teste de temperatura ambiente

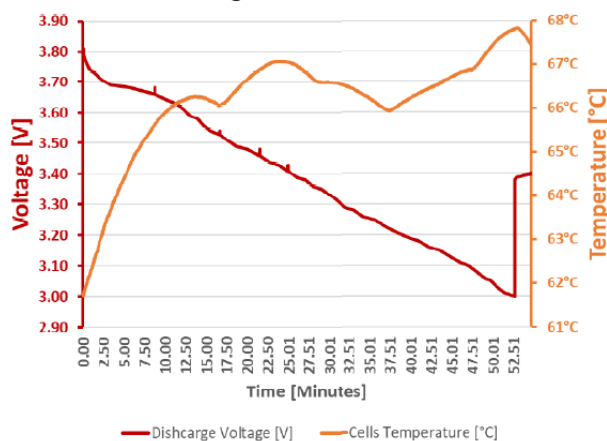
Depois que ambas as células foram testadas com uma descarga de 1C a uma temperatura de 60°, elas tiveram um bom desempenho, e o aumento da temperatura durante a descarga não afetou nenhum parâmetro de segurança. As Figuras 10 (a) e (b) apresentam os resultados para as células 1 e 2, respectivamente.

Célula 1 – Descarga a 1C na temperatura de 60°C.



(a)

Célula 2 – Descarga a 1C na temperatura de 60°C.



(b)

Figura 10 - Teste de temperatura ambiente. Célula 1 (painel esquerdo) e Célula 2 (painel direito).

3.6 Teste de descarga pulsada

As células 1 e 2 foram submetidas a uma sequência de pulsos de 10 pulsos de corrente no valor de 15^a a cada 5500 milissegundos. Ambas as células garantem que o pulso com a maior queda de voltagem durante o teste garante que a célula pode fornecer a corrente e manter voltagem suficiente. Conforme ilustrado na Figura 11.



II Congresso de Mulheres em STEAM

26 e 27 de setembro, no PIT, em São José dos Campos/SP

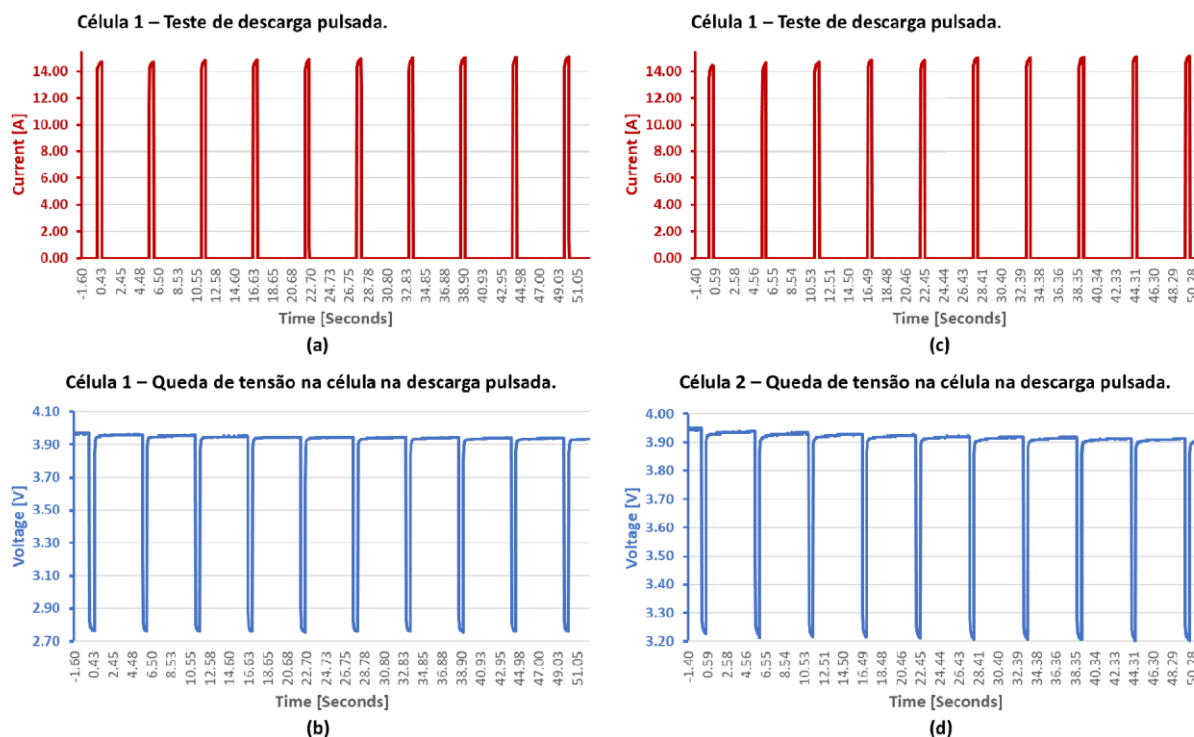


Figura 11 - Resultados do teste de descarga pulsada para a célula 1 (esquerda) e a célula 2 (direita), com valores de corrente nos painéis superiores e valores de tensão nos painéis inferiores respectivamente.

3.7 Teste de vibração

Durante a vibração nos 3 eixos (X, Y e Z) uma descarga de C/5 foi efetuada e a tensão das células monitorada. As Figuras 12 e 13 apresentam os valores de tensão nas células 1 e 2 respectivamente. A monitoração ocorreu durante as três fases de vibração: assinatura inicial, aleatório e assinatura final. Os demais eixos acompanham o resultado apresentado nas Figuras 12 e 13.

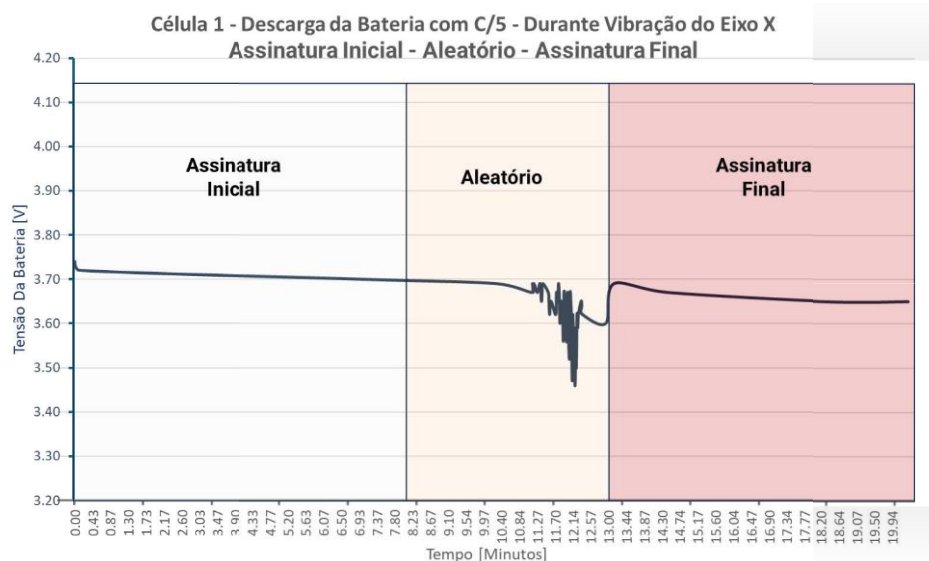


Figura 12 – Monitoração da célula 1 durante o teste de vibração do eixo X.

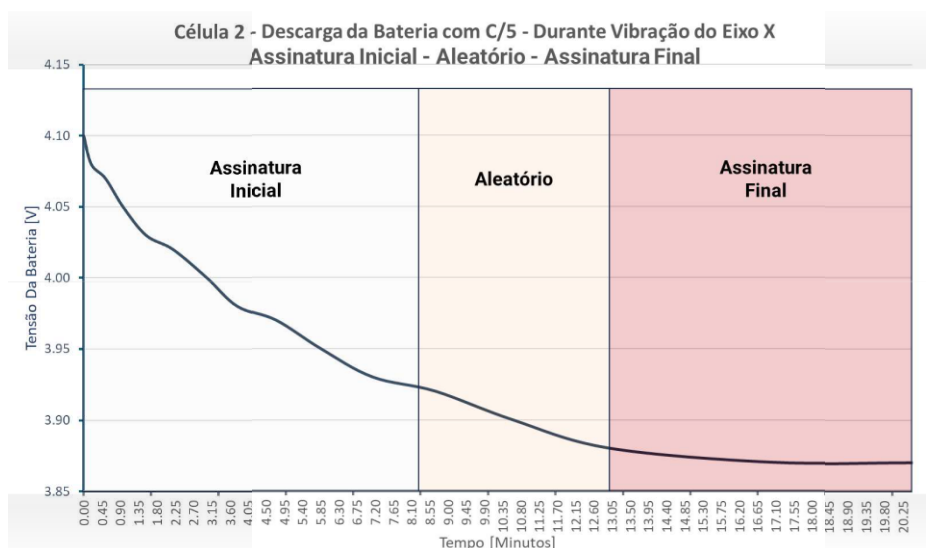


Figura 13 – Monitoração da célula 1 durante o teste de vibração do eixo X.

4. DISCUSSÃO

Após as células 1 e 2 serem expostas aos setes testes propostos os resultados indicam que o processo proposto é adequado para verificar a qualidade das células de Li-íon. Com relação ao primeiro teste onde a capacidade descrita pelo fabricante era avaliada, podemos afirmar pela Figura 5 que a célula 1 não apresenta a capacidade descrita no corpo da célula. O valor alcançado está 26% abaixo do especificado pelo fabricante. Já a célula 2 apresentou capacidade similar a descrita no corpo da célula. A célula 2 obteve uma diferença de 7% em relação à especificação do fabricante, o que está dentro da margem de aceitação esperada (10%). Pelo fluxo proposto e apresentado na Figura 2 a célula 2 ensaiada deveria ser descartada.

Nos testes de vácuo, curto-circuito, descarga de sobrecorrente, temperatura ambiente e pulso de corrente ambas as células apresentaram desempenho satisfatório e adequado, ressaltando que estes testes visavam principalmente avaliar os parâmetros de segurança. Contudo a célula 1 tendo um desempenho ligeiramente inferior ao da célula 2 quando comparados os gráficos. Entretanto, esse desempenho inferior da célula 1 não a desqualifica para utilização. Segundo os testes mencionados.

No teste de vibração, onde era analisado o comportamento da célula em um ambiente simulado de lançamento de um veículo suborbital, observa-se que a célula 1 apresentou uma variação no valor de tensão durante a fase de vibração aleatória (ver Figura 12).

Os testes avaliaram o desempenho, a segurança e a durabilidade da célula em várias condições e cenários, incluindo mudanças de temperatura e estresse mecânico, para garantir que ela possa suportar condições adversas do veículo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS



Este estudo se concentrou em investigar as implicações de segurança da tecnologia de células de íons de lítio em foguetes suborbitais. O objetivo principal era garantir que o uso de células de íons de lítio não comprometeria a segurança e a integridade das missões suborbitais. Uma vantagem dessa abordagem para qualificar células comerciais é o custo de fabricação. A tecnologia qualificada para o espaço, como baterias de íons de lítio de satélite, seria proibitivamente cara para missões suborbitais de microgravidade. Do ponto de vista tecnológico, a contribuição deste trabalho consistiu em propor uma metodologia para qualificar células comerciais que podem garantir a operação bem-sucedida e segura de missões de microgravidade. Isso permite o desenvolvimento de aviônicos e experimentos para utilizar efetivamente esses componentes comerciais (DANTON et al., 2023).

Os resultados do teste concluíram que apenas o modelo de célula 2 atendeu a todos os requisitos de segurança, não mostrando sinais de fuga térmica, deformação, vazamento ou incêndio. Portanto, é considerado seguro usar a célula de íons de lítio 2 em veículos suborbitais. O estudo teve como objetivo avaliar a adequação e a segurança das células de íons de lítio para veículos suborbitais por meio de vários testes, validando sua confiabilidade, segurança e eficiência.

É altamente recomendável que a metodologia proposta seja seguida antes de implementar mudanças para garantir a viabilidade e a segurança da adoção de células de bateria de íons de lítio em veículos suborbitais. Esta pesquisa fornece orientação valiosa para projetistas de foguetes que estão considerando usar células de bateria de íons de lítio.

A indústria aeronáutica prioriza a pesquisa de tecnologia de baterias para aumentar a densidade de energia, a vida útil e a segurança. Apesar dos desafios, as baterias de íons de lítio oferecem desempenho superior, versatilidade e custo-benefício. A pesquisa contínua promete maior segurança, eficiência e custo-benefício, impulsionada pelo mercado emergente de carros elétricos. O objetivo é garantir a utilização segura de baterias em foguetes de microgravidade. Mais informações sobre este trabalho pode ser encontrado em Simões (2024).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) por dar suporte a essa pesquisa, fornecendo a infraestrutura necessária para o desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- AHME, R. GAZZARRI, J., ONORI, S., HABIBI, S., JACKY, R., RZEMIEN, K., TJONG, J., LESAGE, J.. "Model-based parameter identification of healthy and aged li-ion batteries for electric vehicle applications". In: SAE International Journal of Alternative Powertrains, 2015. DOI: 10.4271/2015-01-0252
- ALCOCK, K.M., GONZALEZ-VILA, ., Beg, M., VEDRENO-SANTOS, F., CAI, Z., ALWIS, L.S.M., GOH, K.. "Individual cell-level temperature monitoring of a lithium-ion battery pack". In: Sensors, 2023. DOI: 10.3390/s23094306



ANDRADE, Rodrigo; MORAES, Alison ; MOTTA, Felipe. IoT-Based sounding rocket telemetry system. In: 2022 Symposium on Internet of Things (SloT), 2022, p. 1–4. DOI: 10.1109/SloT56383.2022.10070203

BIRKL, C., ROBERTS, M., MCTURK, E., BRUCE, P., HOWEY, D.. “Degradation diagnostics for lithium ion cells”. In: Journal of Power Sources, 2017 DOI: 10.1016/j.jpowsour.2016.12.011

DANTON; BEZERRA, José; ALISON; et al. 17 - Innovative and low-cost launch systems. In: BRANZ, Francesco; CAPPELLETTI, Chantal; RICCO, Antonio J; et al (Orgs.). [s.l.]: in: Elsevier, 2023, p. 403–419. DOI: 10.1016/B978-0-12-824541- 5.00005-4

DENG, D. “Li-ion batteries: basics, progress, and challenges”. In: Energy Science and Engineering, 2015. DOI: 10.1002/ese3.95

DOS SANTOS, C. R.; MARQUES, J. C. A Requirements Specification Method: Na Experience Report in Aerospace. In PROCEEDINGS OF THE 10.29327/1298356.26-20

DOS SANTOS, C. R.; MARQUES, J. C. ASP: An Aerospace Specification Process for Hardware Logic. In: WER. 2022. DOI: 10.29327/1298262.25-22

MA, Y., CHIANG, S.W., Chu, X., Li, J., Gan, L., Xu, C., Yao, Y., He, Y., Li, B., Kang, F., Du, H.. “Thermal design and optimization of lithium ion batteries for unmanned aerial vehicles”. In: Energy Storage, 2019. DOI: 10.1002/est2.48

MART-FLORENCES, M., CECILIA, A., COSTA-CASTELL, R.. “Modelling and estimation in lithium-ion batteries: A literature review”. In: Energies, 2023. DOI: 10.3390/en16196846

MOTTA, Felipe; BEZERRA, José; MORAES, Alison. Is there a market for micro-launch vehicles? In: Space Policy, p. 101629, 10.1016/j.spacepol.2024.101629

MOURA, W. de M; DOS SANTOS, C. R.; FREITAS, M. J. S.; PINTO, A. C.; SIMÕES, L. P.; MORAES, A. MicroGravity Explorer Kit (MGX): An Open-Source Platform for Accessible Space Science Experiments. Aerospace, in press. 2024

NAHA, A., KHANDELWAL, A., HARIHARAN, K.S., KAUSHIK, A., YADU, A., KOLAKE, S.M.. “On-board short-circuit detection of li-ion batteries undergoing fixed charging profile as in smartphone applications”. In: IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2019. DOI: 10.1109/TIE.2018.2889623

PERONDI, L. “The coming of age of space satellite industry: Transitioning from a growth to a maturity life cycle phase”. In: Journal of Aerospace Technology and Management, 2023. DOI: 10.1590/jatm.v15.1291

PESSOA FILHO, José Bezerra. Space age: Past, present and possible futures. Journal of Aerospace Technology and Management, v. 13, p. e3421, 2021. DOI: 10.1590/jatm.v13.1226



PINTO, A C; MACIEL, M algorithms using discrete D; PINHO, M S; et al. Evaluation of lossy compression algorithms using discrete cosine transform for sounding rocket vibration data. In: Measurement Science and Technology, v. 34, p. 015117, 2022. DOI: 10.1088/1361-6501/ac97fe

SIMÕES, Luciana Pereira; CARLOS, Santos,; MORAES, Alison. A Proposed Methodology for Assessment of Li-ion Cell Suitability and Safety for Suborbital Vehicle Applications. In: Microgravity Science and Technology, v. 36, n. 3, p. 24, 2024. DOI: 10.1007/s12217-024-10110-2

VELZQUEZ-MARTNEZ, O., VALIO, J., SANTASALO-AARNIO, A., REUTER, M., SERNA GUERRERO, R.. "A critical review of lithium-ion battery recycling processes from a circular economy perspective". In: Batteries, 2019. DOI: 10.3390/batteries5040068

VILLAS; HENRIQUE, Carlos; FELIPE, Silva,; et al. Proposal of low cost launchers for scientific missions using cubesats. Advances in Space Research, v. 66, p. 162– 175, 2020. DOI: 10.1016/j.asr.2019.12.012

WOODY, M., ARBABZADEH, M., LEWIS, G., KEOLEIAN, G., STEFANOPOULOU, A.. "Strategies to limit degradation and maximize li-ion battery service lifetime – critical review and guidance for stakeholders". In: Journal of Energy Storage, 2020. DOI: 10.1016/j.est.2020.101231

ZHAO, D., ZHOU, Z., ZHANG, P., ZHANG, Y., FENG, Z., YANG, Y., CAO, Y.. "Health condition assessment of satellite li-ion battery pack considering battery inconsistency and pack performance indicators". In: Journal of 2023. DOI: 10.1016/j.est.2023.106604