LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
João Pessoa - PB, 3 a 5 de novembro de 2020

POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO DE BATERIAS EM FIM DE VIDA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS - O CASO DA CHINA

Tainara Volan
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Reitor João David Ferreira Lima, Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil
tainaravolan@gmail.com

Caroline Rodrigues Vaz
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Reitor João David Ferreira Lima, Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil
caroline.vaz@ufsc.br

Mauricio Uriona-Maldonado
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Reitor João David Ferreira Lima, Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil
m.uriona@ufsc.br

RESUMO

Com a crescente demanda por veículos elétricos (VEs), o estoque de baterias descartadas aumentará drasticamente se nenhuma ação para sua reutilização ou reciclagem for tomada. Uma solução é reutilizá-las como sistemas de armazenamento de energia (ESS) para mitigar a intermitência na geração de energia renovável. Com o auxílio da dinâmica de sistemas (DS), este artigo tem como objetivo modelar os efeitos a longo prazo das baterias em fim de vida, simulando cenários de ESS e reciclagem. A China foi escolhida como país de análise. Posteriormente testou-se possíveis alternativas de cenários, levando em consideração a deterioração da bateria e perda de energia. Como contribuição do trabalho tem-se a capacidade de descobrir as melhores alternativas de políticas para reutilização de baterias, levando em consideração as incertezas de longo prazo. Além disso, o modelo de DS pode ser facilmente adaptável a outros países.

PALAVRAS CHAVE. Baterias. Veículos elétricos. Reutilização.

Tópicos: EN&PG. AG&MA. SIM.

ABSTRACT

With the growing demand for electric vehicles (EVs), the stock of discarded batteries will increase dramatically if no action is taken to reuse or recycle them. One solution is to reuse them as energy storage systems (ESS) to mitigate intermittency in renewable energy generation. With the aid of systems dynamics (DS), this article aims to model the long-term effects of batteries at the end of their life, simulating ESS and recycling scenarios. China was chosen as the country of analysis. Subsequently, possible alternative scenarios were tested, taking into account battery deterioration and energy loss. As a contribution of the work, there is the ability to discover the best policy alternatives for reusing batteries, taking into account long-term uncertainties. In addition, the DS model can be easily adapted to other countries.

KEYWORDS. Batteries. Electric vehicles. Reuse.

Paper topics: EN&PG. AG&MA. SIM.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

Os veículos elétricos (VEs) estão entrando no mercado automotivo, proclamando um futuro mais limpo [Casals et al., 2019]. Contudo, o gerenciamento inadequado de baterias em fim de vida (EOL, do inglês *End-Of-Life*) pode comprometer os benefícios da adoção de VEs, gerando resíduos de baterias, os quais não estão sendo recuperados [Ramoni e Zhang, 2013].

Uma alternativa é encaminhar as baterias EOL para a reciclagem. Está é uma estratégia potencial para aumentar os suprimentos e mitigar as flutuações de preços de materiais críticos das baterias de lítio [Mayyas et al., 2019]. Além de ser fundamental para manter um ciclo fechado de metais [Hamuyuni e Tesfaye, 2019].

Outra alternativa para as baterias EOL de VEs é o reuso em sistemas de energias renováveis (solar e eólica, por exemplo), podendo ser utilizada como sistemas de armazenamento de energia (ESS, do inglês *Energy Storage Systems*), dessa forma proporcionado maior estabilidade e confiabilidade na rede, além de aumentar a taxa de integração de energias renováveis [Casals et al., 2019]. O uso das baterias como ESS é realizado após elas serem testadas, remanufaturas/recondicionados e então empregadas no sistema [Shokrzadeh e Bibeau, 2016]. Espera-se que a procura de baterias cresça rapidamente nos próximos anos, tornando esse mercado cada vez mais estratégico a nível global. Além disso, as baterias podem auxiliar quando há oscilações na oferta de energia, oferecendo flexibilidade, ou seja, capturar energia solar e eólica quando abundante e liberar conforme o necessário [Europeia, 2019].

Trabalhos utilizando a simulação têm sido feitos nos últimos anos [Agnew et al., 2019; Alamerew e Brissaud, 2020]. O estudo de Agnew et al. [2019] aborda a interação entre as baterias ESS e módulos fotovoltaicos em residências. O estudo traz como resultados principais a elevada taxa de adoção de baterias nos próximos anos, com penetração no mercado de massa em 2036, isso para um cenário que considera parâmetros da cidade de Queensland na Austrália. Ademais, com base nas trajetórias dos preços nos sistemas, as baterias se tornarão viáveis financeiramente para as residências na próxima década [Agnew et al., 2019].

Já o trabalho de Alamerew e Brissaud [2020] abordou aspectos referentes ao sistema logístico reverso de produtos EOL, dando destaque para os fatores que influenciam a dinâmica da decisão sobre a recuperação das baterias, e quais os fatores facilitadores e principais desafios para o avanço da circularidade das baterias de VEs. A simulação foi focada em um aspecto micro, incluindo estudo com empresas para validação.

Nesse contexto, apesar dos trabalhos já realizados, não abordou-se nos estudos uma visão macro das baterias EOL, como a estimativa do número de baterias EOL e, posterior, estimativa da capacidade potencial de armazenamento adicional em sistemas de energia eólica e solar. Para isso, um modelo de simulação de dinâmica de sistemas (DS) é desenvolvido e aplicado. A aplicação do modelo é feita para os parâmetros e dados da China, isso se deve por ser o país líder em número absoluto de VEs, sendo que em 2018 ultrapassou a marca de 2 milhões de unidades [IEA, 2019].

2. Construção do modelo de Dinâmica de Sistemas

O modelo foi construído em três setores principais: estimativa de crescimento de VEs; estimativa de descartes de baterias EOL; posteriormente, processos de gerenciamento de baterias EOL. Os setores principais são apresentados na Figura 1.

Para a simulação foram utilizados alguns parâmetros e suposições, ambos necessários para se alcançar o objetivo. O horizonte temporal desse estudo é de 35 anos (de 2005 a 2040) de forma a testemunhar os efeitos diretos e indiretos das possíveis interferências realizadas no sistema, salienta-se que o modelo não leva em consideração nenhuma dinâmica de nível micro, como armazenamento e transporte de produtos.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

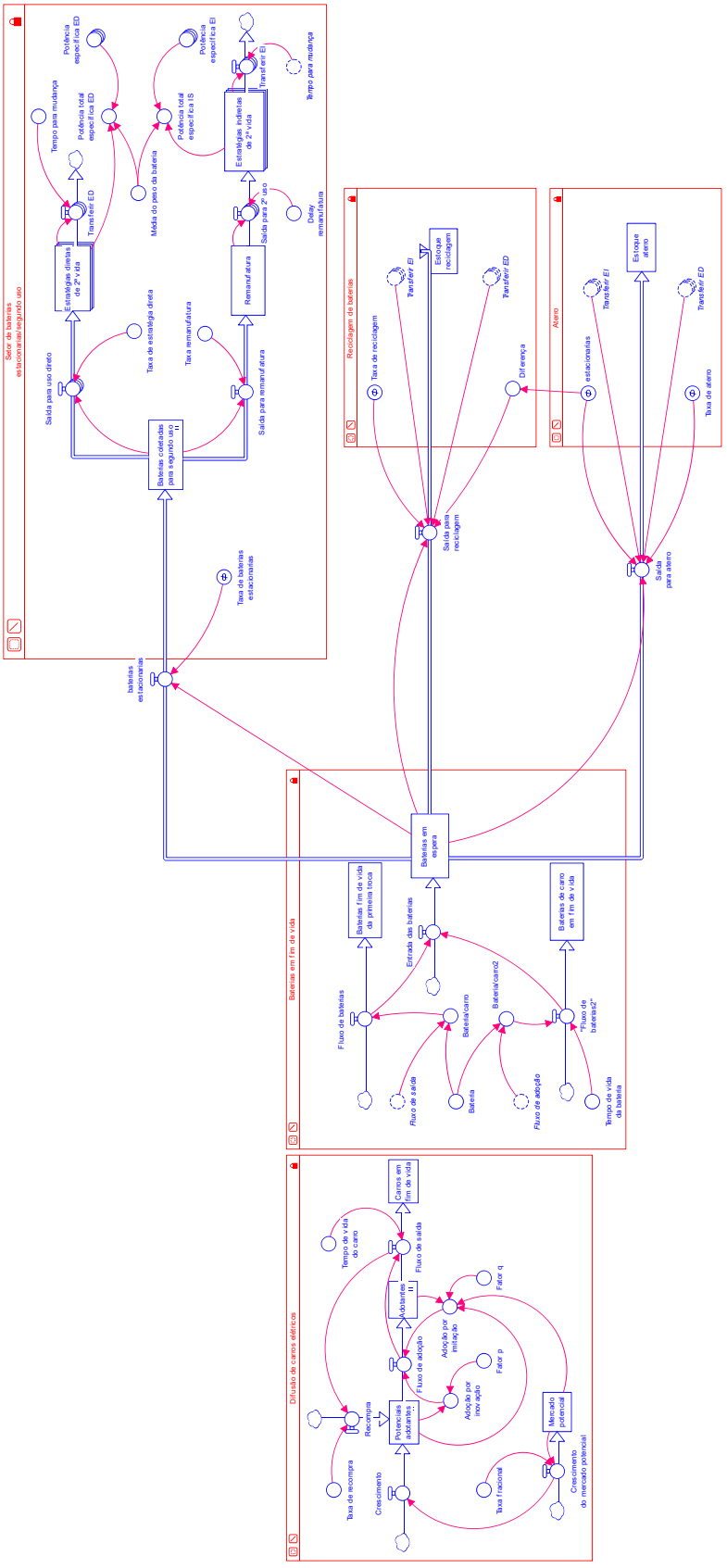


Figura 1: Modelo de difusão de Bass para veículos elétricos.

O primeiro setor calcula a difusão de veículos elétricos na China. O modelo descreve o crescimento da frota a partir do mercado potencial (M_p) soma o valor do período anterior, o qual cresce conforme uma taxa fracional (T_f) determinada mediante o histórico de dados, sendo multiplicado pelo fluxo de crescimento do mercado potencial (CMP), conforme (1) e (2).

$$M_p = M_p(t - dt) + \int_{t=0}^{T} [T_f \cdot M_p(t-1)]dt \tag{1}$$

$$CMP = M_p \cdot T_f \tag{2}$$

Essa estrutura fornece o motor de crescimento do sistema, tendo relação com o estoque de Adotantes (A) e Potenciais Adotantes (PA) os quais são modeladas conforme a equação de Difusão de Bass [Bass, 1969] apresentada em (3), ela foi amplamente utilizada para estudar e modelar a difusão de tecnologias ao longo do tempo [Schmidt-Costa et al., 2019].

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + \frac{q}{m}N(t)[m - N(t)] \tag{3}$$

Onde:
p é o parâmetro de adotantes inovadores;
q é o parâmetro de adotantes imitadores;
m é o número final de adotantes totais ou mercado potencial;
N(t) e *n(t)* são os números de adotantes totais e novos adotantes no tempo *t*.

Na equação (3) *p* e *q* são parâmetros calibrados com base em dados históricos. Posteriormente, apresenta-se o estoque de adotantes (A), o qual apresenta os efeitos do acúmulo da aquisição de VEs, calculado de acordo com (4).

$$A = A(t - dt) + \int_{t=0}^{T} [A(t-1)]dt \tag{4}$$

Os Adotantes são conectados ao fluxo de saída (F_s), o qual representa o número de VEs que deixam de serem utilizados durante o tempo de análise (quebrados, descartados), são eles que abastecem o estoque de veículos em fim de vida.

Para o tempo de vida dos veículos, utilizou-se os dados do trabalho de Yu et al. [2019], os quais identificaram uma média de 25 anos de uso. Desse modo, subentende-se que a cada 25 anos há mais uma bateria EOL. Soma-se a isso a degradação da bateria, que ocorre quando atinge cerca de 80% de sua capacidade inicial [Shokrzadeh e Bibeau, 2016], situada em média entre 8 e 10 anos de uso [Ai et al., 2019]. Considera-se também no modelo que após a utilização do veículo o usuário volta ao sistema para recompra de um novo veículo, para tanto assume-se uma taxa de 95%.

No segundo setor, chamado de baterias em fim de vida, o estoque nomeado como baterias em espera é reponsável pelo armazenamento das baterias vindas do primeiro setor, sendo elas advindas da primeira troca enquanto o veículo está em uso, e da segunda troca quando há o fim de vida do próprio veículo. Cabe ressaltar que, para fins de simplificação da simulação, considerou-se que uma unidade de veículo contenha uma unidade de bateria.

Posteriormente, elas são fracionadas e encaminhadas para diferentes formas de gerenciamento. Diante da revisão de literatura realizada identificou-se três caminhos principais que as baterias podem percorrer: a utilização como segundo uso em aplicações de armazenamento de energia, sendo aqui chamados de ESS ou baterias estacionárias; a reciclagem e; por fim, o aterro. Desse modo, buscou-se a representação em três possibilidades.

A primeira representa o segundo uso das baterias como ESS, fez-se uso da unidade de medida de potência específica, ou seja, a quantidade de energia obtida por quilograma de bateria (Watts/kg ou W/kg) [Larminie e Lowry, 2012], para estimar a quantidade de energia vinda de fontes renováveis que poderia ser armazenada, esse valor é multiplicado por 24 horas, 30 dias e 12 meses, resultando em 8.640 horas, obtendo assim como unidade de medida gigawatt hora (GWh).

As baterias podem ser reaproveitadas diretamente ou sofrerem um processo de remanufatura, de qualquer forma apresentam um envelhecimento ao longo de sua cadeia, que afeta diretamente a potência específica. Embora a previsão de um cenário realista para a perda de capacidade da bateria seja complexa e sujeita a diversos parâmetros, este estudo pressupõe um cenário básico para representar a capacidade disponível quando a bateria é removida do veículo e utilizada então como estacionária. Desse modo, assume-se no modelo um decrescimento da potência específica da bateria, conforme apresentado na Tabela 1 para a cada dois anos de uso, somando no total 10 anos.

Tabela 1: Potência específica por ano de uso em baterias estacionárias

Ano de uso	**W/kg (uso direto)**	**W/kg (uso indireto)**
2	240	240
4	200	220
6	140	180
8	70	110
10	10	50

Como forma de comparar o potencial de armazenamento de energia por meio das baterias estacionárias, inclui-se na simulação um setor auxiliar de projeção de crescimento de energias renováveis. A estrutura apresenta semelhança com o setor de difusão de VEs, alterando apenas alguns parâmetros.

Os setores de aterro e reciclagem apresentam somente um estoque, pois possuem somente o objetivo de quantificar o número de unidades que são encaminhadas para este fim, e que se acumulam com o tempo. Os parâmetros utilizados na modelagem são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros inseridos na simulação

Parâmetros	**Valores**	**Fonte**
Mercado potencial - VEs	40.000.000 unidades	IEA [2019]
Mercado potencial - solar	700.000 MW	IRENA [2020]
Mercado potencial - eólica	100.000 MW	IRENA [2020]
Taxa Fracional - VEs	1%	Estimativa dos autores
Taxa fracional - solar	1%	Estimativa dos autores
Taxa fracional - eólica	1%	Estimativa dos autores
Fator p - VEs	0,000004	Calibração do modelo
Fator q - VEs	0,65	Calibração do modelo
Fator p - solar	0,0000517	Calibração do modelo
Fator q - solar	0,5978	Calibração do modelo
Fator p - eólica	0,0000549	Calibração do modelo
Fator q - eólica	0,5730	Calibração do modelo

3. Validação do modelo

Existem alguns testes estabelecidos para auxiliar na verificação da utilidade do modelo para sua finalidade, incluindo testes estruturais e comportamentais [Barlas, 1996]. Desse modo, o presente modelo passou por testes de validade, incluindo consistência dimensional, condições extremas e reprodução comportamental [Sterman, 2000].

Nas Figura 2 e 3 apresentam-se a reprodução do comportamento do modelo para as variáveis-chave: veículos elétricos, energia solar e energia eólica.

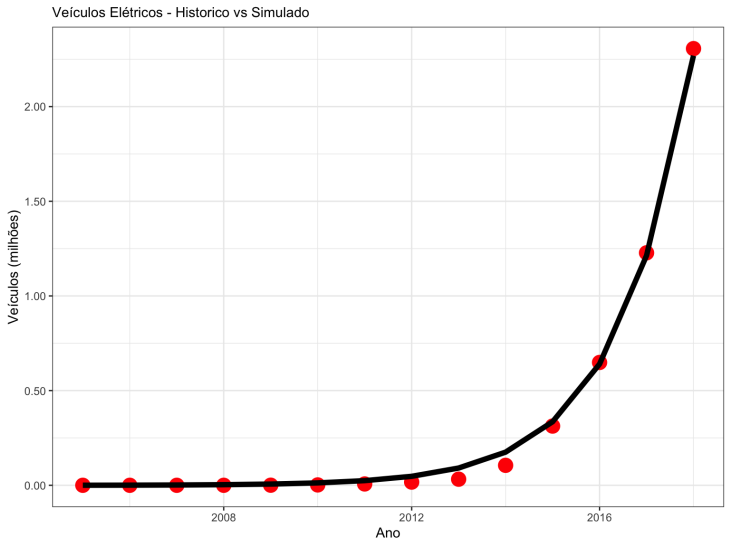


Figura 2: Dados históricos e simulados da frota de veículos elétricos na China.

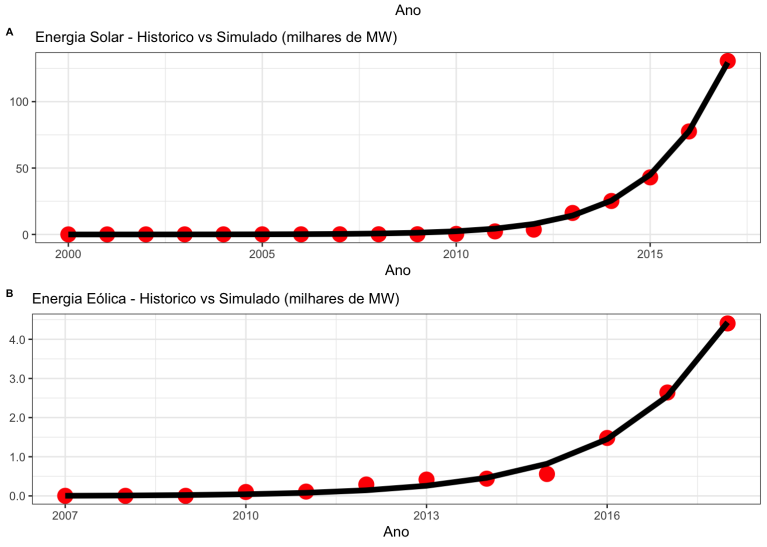


Figura 3: Dados históricos e simulados de MW da energia solar e eólica na China.

Além disso, o comportamento do modelo foi verificado em relação a dados das séries temporais para três variáveis da simulação: difusão de VEs, crescimento da energia solar e eólica.

Para a verificaçao, fez-se uso do Coeficiente de Determinação (R^2), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e Erro Médio Absoluto (MAE), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Medidas de acurácia

Variável	(R^2)	**RMSE**	**MAE**
Veículos elétricos	1	229220,61	20178,99
Energia solar	1	1442,13	896,92
Energia eólica	0,99	104,38	71,63

Com base nos valores de acurácia encontradas, conclui-se que o modelo se ajusta adequadamente aos dados históricos.

4. Resultados e Discussões

Com o modelo calibrado e em pleno funcionamento passa-se a fase de construção dos cenários, com o objetivo de estimar a capacidade potencial de armazenamento adicional em sistemas de energia solar e eólica.

Nas Figuras 4 e 5 apresentam-se os resultados para os cenários projetados, os quais serão explicados na sequência.

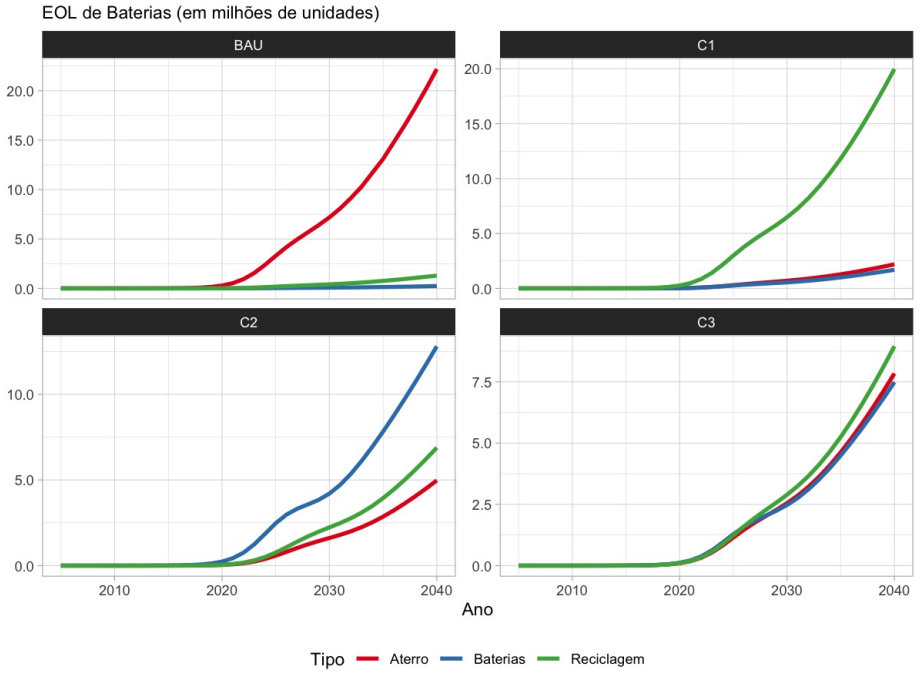


Figura 4: Baterias EOL.

Para o cenário BAU (*Business as Usual*) não foram encontrados dados referentes a quantidade de baterias EOL de VEs que são recicladas, aterradas ou reutilizadas (e.g. baterias estacionárias) atualmente. No entanto, se tem conhecimento de que a China domina o mercado de reciclagem e baterias de segunda vida no mercado de eletrônicos [Colthorpe, 2019]. Assim sendo, para

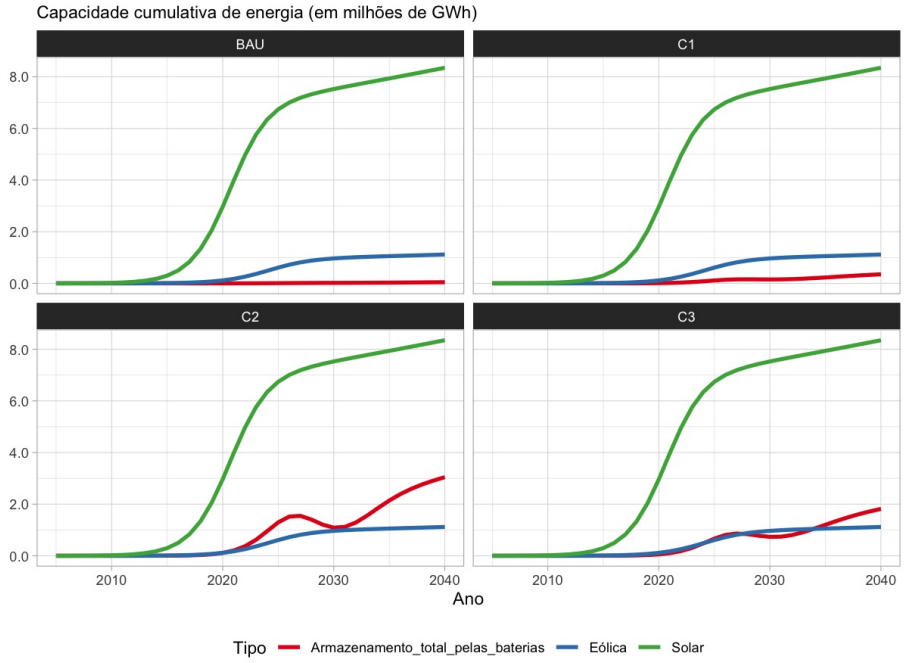


Figura 5: Capacidade acumulativa de energia com o uso de baterias estacionárias.

o modelo assume-se uma taxa de reciclagem de 5% ao ano, para o aterro o valor de 94%, próximo ao considerado por Heelan et al. [2016] e o restante, 1%, reuso como baterias estacionárias.

De acordo com a simulação, estima-se que em 2040, o montante de baterias EOL pode alcançar a marca de 25 milhões de unidades. Destas, cerca de 80% se destinará a aterros, gerando prejuízos ambientais e econômicos. Posteriormente, se analisa a quantidade atual de baterias sendo utilizadas como ESS e o quanto de potência que por elas pode ser armazenado (GWh) com a sua possível utilização. Apesar de um número baixo de baterias ser destinada para o segundo uso, ainda há um poder de armazenamento, em 2040 o valor se aproxima de 45.000 GWh, o suficiente para ser utilizado em 150.000.000 de residências com padrão médio de consumo de 300 kWh.

Todos os cenários adotam a suposição que haverá uma evolução da bateria no que se refere ao tempo de vida. As baterias possuem, atualmente, uma média de 10 anos de vida no primeiro uso em VEs. No entanto, alguns autores acreditam que essa tecnologia pode melhorar e o tempo de vida útil aumentar. Para isso, supõe-se que até 2040 alcançará 18 anos de vida [Ai et al., 2019; de Castro et al., 2013]. Essas alterações beneficiariam positivamente o meio ambiente, devido a redução da quantidade de baterias EOL.

Sendo assim, o primeiro cenário (C1) considera grandes investimentos e desenvolvimento de fábricas e tecnologias para a reciclagem de baterias de VEs, num cenário otimista para 2040, onde a taxa de destinação pode variar entra 80% a 90% de baterias recicladas. Tal cenário se assemelha ás baterias de chumbo-ácido, que atualmente possuem uma taxa de reciclagem de 99% aproximadamente [Heelan et al., 2016].

Percebe-se uma inversão de valores, quando comparado ao cenário BAU, praticamente a mesma quantidade de baterias é remanejada para a reciclagem ao contrário do aterro, valor próximo a 75%, ademais completa-se com aproximadamente 1,7 milhão de baterias indo para o setor de baterias estacionárias. Com um poder de armazenamento de 4% em relação as necessidades futuras

das energias renováveis.

Para alcançar essa meta audaciosa do C1 diversas barreiras devem ser rompidas, os autores Salim et al. [2019] citam que algumas delas podem ser classificadas como falta de rentabilidade para a reciclagem, falta de regulamentações, falta de incentivos econômicos para coleta e reciclagem e apoio para instalações de fábricas. Essas barreiras são críticas, pois são os principais meios para garantir a efetividade de coleta e reciclagem das baterias.

O segundo cenário (C2) apresenta intenso investimento no uso de baterias como estacionárias, já que elas apresentam ainda capacidade de armazenamento mesmo após a utilização em VEs. Desse modo, a taxa apresenta variação entre 75% e 95% em 2040, de forma a retirar valor econômico para uma nova aplicação e estender o tempo de utilização das baterias. Além disso, pode representar uma forma de auxílio no crescimento das energias renováveis, devido a sua intermitência, as baterias podem ser a solução que conecta dois problemas.

O setor de aterro apresenta uma redução de 77% comparado ao BAU, sendo elas recolocadas em sua maioria no setor de baterias estacionárias e, posteriormente, no setor de reciclagem. Ganha relevância esse último, pois as baterias que são utilizadas como estacionárias, após um determinando tempo, estará novamente disponível à um gerenciamento EOL. Diante disso, é importante que neste cenário o foco das ações de investimento para estratégias de gerenciamento de baterias EOL, não devem ser dadas somente a baterias estacionárias, isso por que as baterias são apenas postergadas de um destino fim quando da sua utilização, e em aproximadamente 10 anos adentram o ciclo novamente.

Diferentemente do C1, o C2 apresenta um completo poder de armazenamento de energia a partir de 2021, podendo o excedente ser usado para a energia solar. Do total, no final de 2040, é possível chegar a um valor maior que 32%, podendo ser de grande valia para o sistema completo. Salienta-se, que o C2 é preferível quando se trata da alta incerteza da capacidade de infraestrutura de reciclagem, em recuperar adequadamente materiais valiosos a partir de um crescente fluxo de resíduos de baterias. Nesse contexto, benefícios potenciais podem surgir com a reutilização de baterias usadas como sistema de armazenamento em aplicações de segunda vida, pois isso pode atrasar o processo de reciclagem em até 10 anos, permitindo o desenvolvimento de tecnologias e instalações mais adequadas as demandas, reforçando o que foi dito no trabalho de Cusenza et al. [2019].

Para o terceiro cenário (C3), considera-se uma simulação de equilíbrio, onde há taxas semelhantes de destinação das baterias, sendo parte delas utilizadas como estacionárias e após isso recicladas, e uma parte indo diretamente para a reciclagem. Definiu-se uma variação de 35% a 45% para as baterias estacionárias, sendo que o restante (55% a 65%) é dividido igualmente entre a reciclagem e o aterro. Não buscou-se zerar a quantidade de baterias que vão para o aterro, pois considera-se um cenário extremamente otimista, as tecnologias que permeiam as baterias EOL de VEs ainda são imaturas, exigindo grande esforço intelectual e também econômico para o seu desenvolvimento, dessa forma, acredita-se que uma quantidade, mesmo que inferior, de baterias continuará tendo sua disposição final em aterros.

O setor de reciclagem, em comparação ao BAU, cresce mais de 85,5% passando de 1,29 milhão para 8,95 milhões de unidades de baterias. O mesmo ocorre para as baterias estacionárias, com um aumento de 96%, passando de 0,24 milhão para 7,49 milhões de baterias. Constata-se ainda, que no C3 há uma redução de 64% do montante de baterias EOL do setor de aterros.

Quanto a capacidade de armazenamento, no C3 o que se percebe é uma capacidade inicial das baterias em suprir a demanda da energia eólica, aproximadamente 20% da necessidade das energias renováveis, representando em comparação ao BAU, um crescimento de 18%.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Nos cenários C2 e C3 da Figura 5, observa-se uma queda na capacidade de armazenamento por volta de 2026 e a volta do crescimento a partir de 2031. Tal comportamento, deve-se a alguns fenômenos que possam estar acontecendo internamente no modelo. Tais como, uma queda de baterias indo para o setor de segundo uso no modelo, o que impacta na capacidade de armazenamento ou ainda um decréscimo de baterias entrando no sistema.

5. Considerações finais

Este trabalho utilizou uma abordagem baseada em simulação para entender os impactos das baterias EOL na China. O cenário BAU demonstrou que as baterias EOL podem causar grandes problemas futuros devido a sua acumulação, visto que há falta de conhecimento da tecnologia e referência de dados. Como soluções, apresentam-se a reciclagem e utilização da bateria em segundo uso, a qual foram discutidas em cenários.

O cenário C1 valoriza investimentos na reciclagem, e no fim do período de análise mostra uma diferença no montante total. Por meio dela é possível um fornecimento alternativo de elementos (como cobalto e lítio), de forma a aumentar a disponibilidade e segurança no fornecimento de matérias primas. No entanto, essa transição necessita de grandes esforços, como construção de fábricas, padronização do *design* de baterias, infraestrutura de coleta, entre outros. Ademais, têm como consequência um aumento de 3,24% na capacidade das baterias estacionárias em armazenar energia e suprir a demanda existente nos setores de energia eólica, passando no final de 2040 um valor próximo de 44.000 GWh para 350.000 GWh.

Posteriormente, há o cenário C2, com intenso investimento de baterias como ESS, desse modo, o segundo uso das baterias pode postergar a ida da bateria para o aterro ou reciclagem, aumentando sua vida útil, além de trazer retorno econômico. No estudo, o potencial de armazenamento de baterias é maior que 3.000.000 GWh de capacidade.

O último cenário, C3, busca o equilíbrio do sistema, onde reciclagem e segundo uso crescem paralelamente. Diante da simulação, esse cenário não sobrecarga em nenhum dos setores, dando tempo para as mudanças necessárias acontecerem, entre elas aumento da capacidade de fábricas, criação e desenvolvimento de modelos de negócio, políticas e regulamentações para uso da bateria EOL.

A possibilidade de haver projeções futuras podem contribuir na formulação de políticas e regulamentações, as quais podem ser aplicadas tanto para ações no âmbito de reciclagem das baterias que possam retornar para os VEs, como para movimentos de incentivos à utilização das baterias como ESS, haja vista que o segundo uso pode auxiliar no gerenciamento do mix de energia, além de servir como *backup* quando os sistemas estiverem desativados, ou seja, atuando em outros gargalos do sistema. Desse modo, a simulação pode suportar testes de diferentes políticas e auxiliar na visualização dos dos seus efeitos.

O presente estudo, apesar de ser aplicado para a China, pode ser replicado para diferentes países do mundo, tanto desenvolvidos como em desenvolvimento, que podem vir a se deparar com o problema do descarte das baterias de VEs e da intermitência das fontes renováveis nas próximas décadas. Essa característica do modelo é descrita por Sterman [2000] como *family member*, o modelo pode gerar o comportamento de outras instâncias de mesma classe, desse modo, pode ser considerado genérico.

Referências

Agnew, S., Smith, C., e Dargusch, P. (2019). Understanding transformational complexity in centralized electricity supply systems: Modelling residential solar and battery adoption dynamics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116:109437.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Ai, N., Zheng, J., e Chen, W.-Q. (2019). U.s. end-of-life electric vehicle batteries: Dynamic inventory modeling and spatial analysis for regional solutions. *Resources, Conservation and Recycling*, 145:208–219.

Alamerew, Y. A. e Brissaud, D. (2020). Modelling reverse supply chain through system dynamics for realizing the transition towards the circular economy: A case study on electric vehicle batteries. *Journal of Cleaner Production*, 254:120025.

Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 12(3):183–210.

Bass, F. M. (1969). A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 15 (5):215–227.

Casals, L. C., Barbero, M., e Corchero, C. (2019). Reused second life batteries for aggregated demand response services. *Journal of Cleaner Production*, 212:99–108.

Colthorpe, A. (2019). China to 'dominate recycling and second life battery market worth uss45bn by 2030". URL https://www.energy-storage.news/news/china-to-dominate-recycling-and-a-second-life-battery-market-worth-us45bn-b.

Cusenza, M. A., Bobba, S., Ardente, F., Cellura, M., e Persio, F. D. (2019). Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 215:634–649.

de Castro, B. H. R., Barros, D. C., e da Veiga, S. G. (2013). Baterias automotivas: panorama da indústria no brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. Technical Report 37, BNDES. URL https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1511.

Europeia, C. (2019). Relatório da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comite econômico e social europeu, ao comite das regiões e ao banco europeu de investimento. URL https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0176&from=EN.

Hamuyuni, J. e Tesfaye, F. (2019). Advances in lithium-ion battery electrolytes: Prospects and challenges in recycling. In *REWAS 2019*, p. 265–270. Springer.

Heelan, J., Gratz, E., Zheng, Z., Wang, Q., Chen, M., Apelian, D., e Wang, Y. (2016). Current and prospective li-ion battery recycling and recovery processes. *JOM*, 68(10):2632–2638.

IEA (2019). Global ev outlook 2019. Technical report, International Energy Agency. URL http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Global_EV_Outlook_2019.pdf.

IRENA (2020). Renewable power capacity and generation. URL http://resourceirena.irena.org/gateway/countrySearch/?countryCode=CHN.

Larminie, J. e Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons.

Mayyas, A., Steward, D., e Mann, M. (2019). The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries. *Sustainable Materials and Technologies*, 19:e00087.

Ramoni, M. O. e Zhang, H.-C. (2013). End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15(6):881–891.

Salim, H. K., Stewart, R. A., Sahin, O., e Dudley, M. (2019). End-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A stakeholder survey in australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 150:104444.

Schmidt-Costa, J. R., Uriona-Maldonado, M., e Possamai, O. (2019). Product-service systems in solar PV deployment programs: What can we learn from the california solar initiative? *Resources, Conservation and Recycling*, 140:145–157.

Shokrzadeh, S. e Bibeau, E. (2016). Sustainable integration of intermittent renewable energy and electrified light-duty transportation through repurposing batteries of plug-in electric vehicles. *Energy*, 106:701–711.

Sterman, J. (2000). *System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin McGrawHill.

Yu, L., Chen, M., e Yang, B. (2019). Recycling policy and statistical model of end-of-life vehicles in china. *Waste Management & Research*, 37(4):347–356.