RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/06/2024 | aceito: 12/06/2024 | publicação: 15/06/2024

Telemetria e estado de saúde de baterias em frotas elétricas: bases teóricas e um arcabouço conceitual para decisão técnico-operacional

Telemetry and battery state of health in electric fleets: theoretical foundations and a conceptual framework for technical-operational decision-making

Telemetría y estado de salud de baterías en flotas eléctricas: bases teóricas y un marco conceptual para la decisión técnico-operacional

Carlos Alberto Rocha Lopes – Pesquisador independente, Engenheiro Eletricista. Especialista em Engenharia Mecatrônica, Engenharia de Segurança do Trabalho e Gestão Empresarial. Pesquisador independente em mobilidade elétrica, telemetria veicular e gestão de baterias.

Resumo:
A eletrificação de frotas utilitárias desloca o eixo de gestão de abastecimento para a governança de energia e de degradação eletroquímica. Nesse contexto, a avaliação do estado de saúde da bateria (SOH, state of health) sustenta decisões sobre confiabilidade, disponibilidade e custo total de propriedade. A estimação de SOH em operação é intrinsecamente mais complexa do que em laboratório, pois o uso real é marcado por recargas parciais, variabilidade térmica, perfis de potência heterogêneos e limitações de sensoriamento e de algoritmos do sistema de gerenciamento de bateria (BMS, battery management system). Consolidam-se fundamentos do envelhecimento em baterias de íons de lítio e discute-se a relação entre medições, estados estimados e incerteza, com revisão crítica de famílias de métodos para SOH — técnicas experimentais, modelos adaptativos e abordagens orientadas por dados — enfatizando a transferibilidade para ambientes de frota. Com base em literatura internacional sobre dados de campo e em contribuições nacionais sobre infraestrutura IoT veicular, estrutura-se um arcabouço teórico-operacional para converter telemetria em decisão: qualificação de dados, desenho de indicadores de saúde, validação sob mudança de domínio e critérios de intervenção preventiva, sem dependência de estudo de caso.

Palavras-chave:
baterias íons de lítio; frotas elétricas; telemetria; BMS; SOH; prognóstico; diagnóstico.

Abstract:
Fleet electrification shifts operational control from fueling logistics to energy governance and electrochemical degradation management. In this setting, battery state of health (SOH) underpins decisions related to reliability, uptime, and total cost of ownership. Estimating SOH in real operation is inherently more challenging than in laboratory conditions, because field usage is dominated by partial charging, thermal variability, heterogeneous power demands, and sensing and algorithmic constraints of the battery management system (BMS). Core lithiumion aging mechanisms are consolidated and the relationship between measurements, estimated states, and uncertainty is clarified, followed by a critical review of major SOH estimation families—experimental techniques, adaptive models, and data-driven approaches—with emphasis on their transferability to fleet environments. Building on international evidence from real-world datasets and on national contributions regarding vehicle IoT monitoring infrastructure, a conceptual technical-operational framework is presented to convert telemetry into defensible decisions: data qualification, health-indicator design, domain-shift validation, and preventive-intervention criteria, without reliance on proprietary case studies.

Keywords: lithium-ion batteries; electric fleets; telemetry; BMS; state of health; diagnostics; prognostics**.**

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/06/2024 | aceito: 12/06/2024 | publicação: 15/06/2024

Resumen:
La electrificación de flotas utilitarias desplaza el eje de la gestión del abastecimiento hacia la gobernanza de la energía y de la degradación electroquímica. En este contexto, la evaluación del estado de salud de la batería (SOH, state of health) sustenta decisiones sobre confiabilidad, disponibilidad y costo total de propiedad. La estimación del SOH en operación es intrínsecamente más compleja que en laboratorio, pues el uso real está marcado por recargas parciales, variabilidad térmica, perfiles de potencia heterogéneos y limitaciones de sensorización y de algoritmos del sistema de gestión de baterías (BMS, battery management system). Se consolidan fundamentos del envejecimiento en baterías de iones de litio y se discute la relación entre mediciones, estados estimados e incertidumbre, con una revisión crítica de familias de métodos para SOH — técnicas experimentales, modelos adaptativos y enfoques orientados por datos — enfatizando la transferibilidad a entornos de flota. Con base en la literatura internacional sobre datos de campo y en contribuciones nacionales sobre infraestructura IoT vehicular, se estructura un marco teórico-operacional para convertir la telemetría en decisión: calificación de datos, diseño de indicadores de salud, validación bajo cambio de dominio y criterios de intervención preventiva, sin dependencia de estudio de caso.

Palabras clave:
baterías de iones de litio; flotas eléctricas; telemetría; BMS; SOH; pronóstico; diagnóstico.

Introdução

A eletrificação de frotas representa uma mudança estrutural na gestão de disponibilidade e risco. Em sistemas térmicos, a degradação costuma ser interpretada por quilometragem, regime de uso e manutenção; em sistemas baseados em baterias de íons de lítio, o desempenho se altera por mecanismos eletroquímicos e térmicos sensíveis ao histórico operacional. Isso desloca o eixo de decisão para a governança de energia, recarga e envelhecimento como variáveis diretamente associadas à produtividade.

Sob a ótica de sistema, a bateria funciona como um ativo cujo comportamento condiciona a operação. Capacidade útil, potência entregue e segurança dependem do modo como o ativo é solicitado e monitorado ao longo do tempo. Por essa razão, estimar vida útil e saúde não se reduz à leitura de um valor: envolve inferir estados em presença de variabilidade operacional e de incerteza, tanto no ambiente quanto no próprio processo de estimação.

Nesse ambiente, a telemetria viabiliza a observação contínua de variáveis elétricas e térmicas e de eventos de recarga, criando condições para antecipar falhas, reduzir ineficiências e orientar intervenções. A utilidade desses dados, contudo, depende de critérios explícitos de coleta, qualificação e interpretação, além de hipóteses verificáveis que conectem sinais a mecanismos de degradação. Sem esse encadeamento, indicadores tendem a variar por ruído,

mudança de regime e lacunas de registro, reduzindo comparabilidade e transferibilidade entre veículos, rotas e estações.

Um enquadramento conceitual para decisões técnico-operacionais em frotas elétricas exige, portanto, explicitar limites observáveis do dado de campo e condições de validade das inferências sobre saúde de bateria. A estimação de SOH deve articular mecanismos de degradação, medições disponíveis e hipóteses de modelo; métodos aplicados fora do domínio em que foram validados tendem a produzir resultados instáveis e pouco úteis para a tomada de decisão operacional.

2. Conceitos fundamentais: o que se mede, o que se estima e o que se decide

Antes de discutir métodos, é necessário separar três camadas que, na prática, frequentemente se confundem. A primeira é a camada das medições: corrente, tensão, temperatura, potência, e registros de eventos (por exemplo, início e término de recargas). A segunda é a camada dos estados estimados: valores inferidos por algoritmos a partir de medições, como o estado de carga e o estado de saúde. A terceira é a camada de decisão: regras e critérios que transformam estados estimados em ações de operação e manutenção.

O sistema responsável por mediar essas camadas, no nível do veículo, é o **BMS** (*battery management system*), isto é, o conjunto de hardware e software que monitora a bateria, impõe limites de segurança e estima estados relevantes. A depender do projeto, o BMS mede grandezas no nível do pack e, em alguns casos, no nível de módulos e células. Esse detalhe importa: a degradação é heterogênea. Mesmo quando o usuário "vê" uma bateria única, o pack é um conjunto de células em série/paralelo, com variações de fabricação, temperatura e envelhecimento. A heterogeneidade tende a se manifestar como dispersões de tensão e de resistência interna entre células, e pode antecipar falhas de forma não óbvia para métricas agregadas.

Dois estados estimados dominam a linguagem de operação. O primeiro é o **SOC** (*state of charge*), ou estado de carga: uma estimativa do "quanto ainda há de carga utilizável", geralmente expressa em porcentagem. SOC é estimado, não medido. Mesmo em arquiteturas maduras, o SOC pode derivar ao longo do tempo por ruído de sensor, erros de calibração e mudanças no próprio pack. O segundo é o **SOH** (*state of health*), ou estado de saúde: uma medida de degradação que, em termos práticos, procura responder "o quanto a bateria envelheceu" e "quanto falta até um limite operacional aceitável". Uma definição comum associa SOH à razão entre capacidade atual e capacidade inicial; outra o associa à evolução da

resistência interna, relacionando-a a perda de potência e aquecimento. Ambas as definições refletem um fato físico: envelhecimento aparece como perda de capacidade e aumento de resistências associadas a transporte de carga e reações parasitas.

Para que SOC e SOH sejam mais do que números, é útil introduzir dois conceitos operacionais que amarram sinais a estados. O primeiro é a **tensão em circuito aberto**, **OCV** (*open-circuit voltage*): a tensão que a célula apresenta após um período de repouso suficiente para reduzir efeitos de polarização. OCV é valiosa porque, em muitas químicas, há uma relação entre OCV e SOC; porém, a relação depende de temperatura, histórico recente e envelhecimento. O segundo é a **contagem de Coulomb** (*coulomb counting*), isto é, a integração da corrente ao longo do tempo para estimar variação de carga. A contagem de Coulomb é intuitiva, mas acumula erro por drift e exige ancoragens (como correções por OCV em repousos) para manter consistência.

Essas definições são mais do que formalidades. Elas determinam onde nascem as fragilidades em campo. Se SOC deriva e SOH depende, direta ou indiretamente, da qualidade do SOC, então uma parte substancial do problema de saúde de bateria é, na verdade, um problema de governança de estimação: calibrar, auditar e validar estados estimados sob operação real, sem as condições controladas do laboratório.

3. Envelhecimento em baterias de íons de lítio: mecanismos, variáveis dominantes e implicações para telemetria

A perda de desempenho em baterias de íons de lítio é inevitável e resulta da interação entre química, temperatura e perfil de uso. No interior da célula, processos parasitas competem com as reações desejadas: forma-se e se espessa a camada interfacial sólida no ânodo (SEI, *solid electrolyte interphase*), há consumo de lítio ciclado, degradação do eletrólito e redução do material ativo; em condições específicas, pode ocorrer deposição de lítio metálico (*lithium plating*). O efeito combinado aparece como queda de capacidade útil e aumento de resistências internas efetivas, com impacto direto na potência disponível e no aquecimento sob carga (VETTER et al., 2005; BARRÉ et al., 2013).

Do ponto de vista operacional, a bateria não “gasta” apenas por quilometragem. O que acelera ou desacelera o envelhecimento é o histórico de solicitação elétrica e térmica, incluindo janelas de SOC, taxas de corrente e padrões de recarga. Por isso, a degradação raramente é linear: dois ativos com a mesma energia total processada podem envelhecer de forma distinta se expostos a condições diferentes de temperatura e regime de carga/descarga (ECKER et al.,

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/06/2024 | aceito: 12/06/2024 | publicação: 15/06/2024

2014). A consequência prática é que “capacidade” e “potência” não seguem uma curva única; elas se deslocam conforme o caminho percorrido, o que exige cautela ao extrapolar tendências de curto prazo.

Uma distinção clássica organiza esse fenômeno sem empobrecer a realidade: envelhecimento de calendário e envelhecimento por ciclo. O primeiro ocorre mesmo com o sistema inativo e é sensível a tempo, temperatura e nível de SOC; o segundo decorre do uso repetido, sendo influenciado por profundidade de descarga, taxas de corrente (C-rate) e dinâmica térmica. Essa separação é útil porque ajuda a interpretar sinais: há perda associada a permanência em condições desfavoráveis, e há perda associada ao trabalho eletroquímico repetido. Em aplicações reais, os dois componentes se sobrepõem e interagem, exigindo modelos e leituras que tratem variáveis de maneira acoplada, em vez de assumir independência (BARRÉ et al., 2013; ECKER et al., 2014).

A temperatura, em particular, ocupa um lugar central por ser simultaneamente condição de contorno e resultado do próprio funcionamento. Correntes elevadas aumentam dissipação resistiva e podem elevar o gradiente térmico interno; em baixas temperaturas, crescem limitações cinéticas e o risco de recargas agressivas; em temperaturas altas, aceleram-se reações parasitas e a degradação de materiais. Estudos de pós-mortem e varredura térmica mostram que mecanismos dominantes e velocidades de envelhecimento se alteram com o regime térmico, o que torna a leitura de temperatura um sinal estruturante para inferir saúde, e não um “metadado” secundário (WALDMANN et al., 2014).

Esse conjunto de fatos impõe um limite importante à telemetria: mecanismos eletroquímicos não são observáveis diretamente na operação. O que chega ao sistema de monitoramento são efeitos — tensão, corrente, temperatura, comportamento durante recarga e indícios indiretos de aumento de resistência. A robustez, portanto, depende de como se transforma essa evidência parcial em indicadores estáveis, sensíveis e comparáveis entre veículos e condições. A literatura de diagnóstico enfatiza exatamente essa transição: em vez de reduzir a saúde a um único número, procura-se decompor modos de degradação e reconhecer assinaturas de curva e de comportamento térmico que carregam informação sobre o processo interno (BIRKL et al., 2017; BERECIBAR et al., 2016). Para frotas, a implicação é objetiva: a telemetria tem valor quando permite associar padrões operacionais a tendências de envelhecimento e, a partir disso, sustentar decisões de recarga, manutenção e operação com consistência técnica.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/06/2024 | aceito: 12/06/2024 | publicação: 15/06/2024

4. Estimação de SOH: famílias de métodos e o que se perde quando se sai do laboratório

A literatura consolidou uma taxonomia útil para SOH. Revisões críticas apontam, de forma recorrente, dois grandes grupos: técnicas experimentais e modelos adaptativos (ou orientados por dados), com interseções que resultam em abordagens híbridas. O valor dessa taxonomia não é classificatório; é epistemológico. Cada família define o tipo de evidência que justifica a inferência de saúde.

Técnicas experimentais incluem métodos que dependem de condições específicas de teste, como medições de capacidade por ciclos completos, espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS, *electrochemical impedance spectroscopy*) e testes de resistência interna em regime controlado. Essas técnicas são valiosas por sua proximidade com fenômenos físicos. Entretanto, seu custo e suas exigências as tornam difíceis de aplicar continuamente em frota, onde interrupções e condições controladas são limitadas. O dilema, portanto, é preservar conteúdo físico sem exigir laboratório embarcado.

Uma ponte entre laboratório e campo é o uso de análises de curva, como **análise de capacidade incremental** (ICA, *incremental capacity analysis*) e análise de tensão diferencial (DVA, *differential voltage analysis*). ICA, em termos simples, observa a derivada da capacidade em relação à tensão durante carga; picos e deslocamentos carregam informação sobre mudanças internas. Em condições ideais, ICA permite identificar padrões de degradação; em condições reais, o desafio é ruído, amostragem e, sobretudo, o fato de que recargas são parciais. Ainda assim, a literatura mostra esforços para tornar ICA aplicável a módulos e packs por meio de rastreamento de picos e adaptações para implementação embarcada.

Modelos adaptativos abrangem desde modelos baseados em física até modelos orientados por dados. Um conjunto particularmente influente, por seu impacto em BMS, é o uso de filtros e observadores, como o **filtro de Kalman estendido** (EKF, *extended Kalman filter*). Em uma série clássica aplicada a BMS, o EKF é usado para estimar SOC e, em extensões, para inferir perda de capacidade e de potência ao longo do envelhecimento, apoiando-se em modelos equivalentes e identificação de parâmetros. A força dessa família é o compromisso entre interpretabilidade e viabilidade computacional. A fraqueza é estrutural: o modelo precisa representar o sistema com fidelidade suficiente, e os parâmetros precisam ser identificáveis sob os dados disponíveis. Em campo, com perfis heterogêneos e dados faltantes, identificabilidade pode se degradar.

Modelos orientados por dados, por sua vez, deslocam o foco: em vez de modelar explicitamente a eletroquímica, aprende-se um mapeamento entre sinais e saúde. Essa

abordagem ganhou força em parte por trabalhos que demonstram capacidade preditiva usando dados de início de vida para antecipar vida útil, abrindo espaço para manutenção e garantia baseadas em previsão. O risco, contudo, é a generalização: modelos treinados em regimes específicos podem falhar quando o domínio muda, fenômeno particularmente comum em frotas, onde rotas, clima, hábitos de recarga e versões de hardware variam.

Entre os extremos, crescem abordagens híbridas e estratégias que exploram "janelas informativas" do uso real. Há trabalhos que exploram ICA sob recarga parcial, usando índices de saúde derivados da curva em segmentos, combinados com inferência probabilística. Essas estratégias são promissoras porque reconhecem um fato operacional: a frota não vai se adaptar ao método; o método precisa se adaptar à frota, preservando critérios de validade.

Uma leitura pragmática emerge desse panorama. Em frotas, o melhor método não é o mais sofisticado, e sim o mais defensável nas condições de dado e uso. "Defensável" significa que a relação entre sinal, indicador e decisão é estável sob variações relevantes, e que a incerteza é conhecida e administrável.

5. Telemática e dado de campo: mudança de domínio, qualidade do sinal e governança de inferência

A principal diferença entre laboratório e campo não é apenas ruído. É a natureza do experimento. No laboratório, o pesquisador decide o protocolo; em campo, o protocolo é consequência de operação, infraestrutura e comportamento humano. Isso produz um problema de mudança de domínio: a distribuição dos dados observados em operação é diferente daquela sobre a qual muitos métodos foram validados. Em consequência, a validade externa de indicadores se torna a questão central.

Estudos baseados em dados reais mostram como indicadores "bons" podem ser altamente sensíveis a fatores não controlados, como sazonalidade térmica. Ao analisar dados de campo de um pack em veículo elétrico, extrai-se indicadores de desempenho e observa-se que eles são significativamente afetados por variações sazonais de temperatura; ao mesmo tempo, propõe-se leituras em nível de sistema de curvas de tensão diferencial como proxy de impedância em recarga, justamente para acomodar o mundo real em que a impedância "aparece" nos dados de carga. Esse resultado tem implicação direta: se um indicador varia fortemente com o clima, ele precisa ser normalizado, condicionado ou, ao menos, interpretado sob contexto térmico, sob pena de produzir alarmes falsos e decisões erradas.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/06/2024 | aceito: 12/06/2024 | publicação: 15/06/2024

Outro aspecto é a própria capacidade do BMS de estimar estados sob campo. Trabalhos recentes que analisam dados de centenas de veículos ao longo de anos discutem disparidades entre dados de campo e dados de teste de laboratório e como essas disparidades afetam a estimação de SOH. Além disso, propõem um framework de estimação multi-modal que explora múltiplas fontes de sinais para reduzir fragilidades de um único canal. A ideia subjacente é simples e poderosa: em campo, nenhuma variável isolada é suficientemente estável; robustez vem de redundância informativa e de pré-processamento rigoroso.

A telemática adiciona um componente de engenharia de sistemas ao problema eletroquímico. Dados confiáveis exigem arquitetura de captura, transmissão e armazenamento que preserve integridade temporal, reduza perdas e permita auditoria. No contexto nacional, há contribuições relevantes voltadas a infraestrutura de monitoramento em tempo real de ônibus elétrico a bateria, com aplicação em laboratório vivo de mobilidade, enfatizando a integração IoT e o acompanhamento contínuo de variáveis operacionais. Essas contribuições são importantes porque mostram que o "como coletar" é parte do "como inferir"; sem uma infraestrutura minimamente consistente, métodos de saúde viram exercícios de pós-hoc.

A dimensão de estimação de estados também tem tradição em pesquisa nacional. Trabalhos acadêmicos no Brasil abordam estimação de SOC baseada em medições de corrente, tensão e temperatura, usando variantes do filtro de Kalman, reforçando que, mesmo no nível conceitual, SOC deve ser tratado como estado estimado sujeito a incerteza, e não como medição direta. Ao incorporar essa visão, a telemetria deixa de ser "monitoramento" e passa a ser "inferência governada": define-se o que é mensurável, o que é estimável, quais hipóteses sustentam a estimativa e quais limites se aceitam para decidir.

Esse deslocamento é decisivo para frotas. O valor não está em ter muitos dados, mas em saber quais dados são comparáveis. Comparabilidade, em campo, depende de selecionar janelas de operação com condições suficientes para extrair informação de saúde. Um exemplo é a recarga: sob certas condições, segmentos de recarga atravessando faixas de tensão podem ser mais informativos do que longos históricos de uso misto. A literatura recente explora explicitamente essa lógica ao estruturar pipelines de captura de comportamento de recarga, préprocessamento para remover segmentos de baixa qualidade e extração de indicadores a partir de janelas consistentes, com objetivo de inferir SOH em escala.

6. Um arcabouço teórico-operacional para transformar telemetria em decisão

Em ambientes de frota, a utilidade da telemetria depende menos do volume de dados e mais da capacidade de sustentar inferências tecnicamente defensáveis em condições não controladas. Isso exige tratar a inferência como um produto de engenharia, isto é, como uma cadeia verificável que conecta sinais observáveis, estados estimados e decisões operacionais. Corrente, tensão e temperatura são grandezas medidas; SOC e SOH são estados inferidos a partir dessas medições; manutenção, restrições de potência, ajustes de recarga e redistribuição de missão são ações. Quando essas camadas se confundem, decisões passam a ser tomadas como se um estado estimado fosse uma medição direta, sem explicitar as hipóteses, o domínio de validade e a qualidade do dado que sustentam o número.

Dessa cadeia, a base é a qualificação do dado. A telemetria precisa carregar contexto e critérios mínimos de confiança, sobretudo em operação real, onde perdas, ruídos, deriva de sensores e lacunas de registro são frequentes. Integridade temporal, coerência física entre variáveis (por exemplo, respostas plausíveis de tensão a variações de corrente), completude e consistência térmica não são refinamentos estéticos; são condições para que o método aplicado esteja compatível com o tipo de evidência disponível. Sem essa qualificação, o sistema passa a misturar regimes incomparáveis e tende a produzir sinais instáveis, com baixa transferibilidade entre veículos, rotas e estações.

Nesse contexto, indicadores de saúde funcionam melhor como objetos intermediários do que como tentativa de “resumir” a bateria em um único valor. Indicadores intermediários capturam tendências sob condições comparáveis, permitindo leituras mais robustas mesmo quando ciclos completos não estão presentes. Segmentos de recarga em janelas semelhantes, padrões térmicos persistentes sob regimes equivalentes e proxies de resistência extraídos de comportamento elétrico são exemplos de evidência que, quando bem definida, pode ser validada e rastreada ao longo do tempo. O ganho é duplo: melhora-se a interpretabilidade (o que exatamente mudou) e cria-se um mecanismo prático para detectar quando um modelo está extrapolando, isto é, operando fora do domínio em que foi calibrado.

A validação, portanto, não deve se limitar a desempenho médio. Frotas operam sob mudança de domínio: clima, carga, perfil de potência, estilo de condução e infraestrutura de recarga alteram a distribuição dos dados e o comportamento do sistema. A avaliação precisa ser estratificada por regimes térmicos e perfis operacionais relevantes, e deve explicitar incerteza. Decisões mais seguras emergem de evidência convergente, não de um ponto isolado de SOH. Quando a incerteza cresce por falta de dados qualificados ou por incompatibilidade de regime, a confiança do sistema deve diminuir e a recomendação de intervenção deve exigir evidência adicional. Esse princípio é coerente tanto com observadores baseados em filtros (em que a

covariância é parte do estado) quanto com abordagens probabilísticas, nas quais a estimativa sem medida de dispersão tem pouco significado operacional.

Por fim, o arcabouço precisa dialogar com gestão de vida útil e com a engenharia de confiabilidade aplicada ao domínio eletroquímico. Prognóstico e diagnóstico só agregam valor quando se conectam a decisões de operação, recarga e manutenção de forma consistente e auditável. Nessa leitura, telemetria não é uma camada de visualização; é um mecanismo de redução de variabilidade e aumento de previsibilidade, orientado a preservar disponibilidade, controlar risco e estabilizar desempenho ao longo do ciclo de vida do ativo.

Referências

BARRÉ, Anthony; DEGUILHEM, Benjamin; GROLLEAU, Sébastien; GÉRARD, Mathias; SUARD, Fabien; RIU, Dominique. A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications. *Journal of Power Sources*, v. 241, p. 680–689, 2013. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.05.040.

BERECIBAR, Maitane; GANDIAGA, Iñigo; VILLARREAL, Igor; OMAR, Noshin; VAN MIERLO, Joeri. Critical review of state of health estimation methods of Li-ion batteries for real applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 56, p. 572–587, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.11.042.

BIRKL, Christoph R.; ROBERTS, Matthew R.; MCTURK, Euan; BRUCE, Peter G.; HOWEY, David A. Degradation diagnostics for lithium ion cells. *Journal of Power Sources*, v. 341, p. 373–386, 2017. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2016.12.011.

ECKER, Madeleine; NIETO, Nerea; KÄBITZ, Stefan; SCHMALSTIEG, Johannes; BLANKE, Holger; WARNECKE, Alexander; SAUER, Dirk Uwe. Calendar and cycle life study of Li(NiMnCo)O_2-based 18650 lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, v. 248, p. 839–851, 2014. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.09.143.

HU, Xiaosong; XU, Lu; LIN, Xiaodong; PECHT, Michael. Battery lifetime prognostics. *Joule*, v. 4, n. 2, p. 310–346, 2020. DOI: 10.1016/j.joule.2019.11.018.

KLASS, Verena; BEHM, Mårten; LINDBERGH, Göran. A support vector machine-based state-of-health estimation method for lithium-ion batteries under electric vehicle operation. *Journal of Power Sources*, v. 270, p. 262–272, 2014. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.07.116.

NUHIC, Adnan; TERZIMEHIC, Tarik; SOCZKA-GUTH, Thomas; BUCHHOLZ, Matthias; DIETMAYER, Klaus. Health diagnosis and remaining useful life prognostics of lithium-ion batteries using data-driven methods. *Journal of Power Sources*, v. 239, p. 680–688, 2013. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.11.146.

PLETT, Gregory L. Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPBbased HEV battery packs: Part 3. State and parameter estimation. *Journal of Power Sources*, v. 134, n. 2, p. 277–292, 2004. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2004.02.033.

POZZATO, Gabriele; ALLAM, Anirudh; PULVIRENTI, Luca; NEGOITA, Gianina Alina; PAXTON, Samuel O.; et al. Analysis and key findings from real-world electric vehicle field data. *Joule*, v. 7, n. 9, p. 2035–2053, 2023. DOI: 10.1016/j.joule.2023.07.018.

RICHARDSON, Robert R.; OSBORNE, Michael A.; HOWEY, David A. Gaussian process regression for forecasting battery state of health. *Journal of Power Sources*, v. 357, p. 209–219, 2017. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2017.05.004.

SANTOS, Angela Alves dos. Desenvolvimento de infraestrutura IoT para monitoramento em tempo real de ônibus elétrico a bateria: aplicação no Laboratório Vivo de Mobilidade da UNICAMP. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

SEVERSON, Kristen A.; ATTIA, Peter M.; JIN, Norman; PERKINS, Nicholas; JIANG, Benben; et al. Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. *Nature Energy*, v. 4, n. 5, p. 383–391, 2019. DOI: 10.1038/s41560-019-0356-8.

TERTULIANO, Filippe José Gadelha. Estimação do estado de carga em baterias de lítio-íon baseada em filtro de Kalman Unscented. 2021. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

VETTER, J.; NOVÁK, P.; WAGNER, M. R.; VEIT, C.; MÖLLER, K.-C.; BESENHARD, J. O.; WINTER, M.; WOHLFAHRT-MEHRENS, M.; VOGLER, C.; HAMMOUCHE, A. Ageing mechanisms in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, v. 147, n. 1–2, p. 269–281, 2005. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2005.01.006.

WALDMANN, Thomas; WILKA, Marcel; KASPER, Michael; FLEISCHHAMMER, Michael; WOHLFAHRT-MEHRENS, Margret. Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium-ion batteries – A Post-Mortem study. *Journal of Power Sources*, v. 262, p. 129– 135, 2014. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.03.112.

WEI, Zhongbao; RUAN, Haokai; LI, Yang; LI, Jianwei; ZHANG, Caizhi; HE, Hongwen. Multistage state of health estimation of lithium-ion battery with high tolerance to heavily partial charging. *IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 37, n. 6, p. 7432–7442, 2022. DOI: 10.1109/TPEL.2022.3144504.

WENG, Caihao; FENG, Xuning; SUN, Jing; PENG, Huei. State-of-health monitoring of lithium-ion battery modules and packs via incremental capacity peak tracking. *Applied Energy*, v. 180, p. 360–368, 2016. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.07.126.