

Confiabilidade das redes de recarga rápida: análise internacional e alternativas de atuação

Camila Ludovique Lillian Monteath Raphael Guimarães

TDSE

Texto de Discussão do Setor Elétrico Nº 121

> setembro de 2023 Rio de Janeiro



TDSE

Texto de Discussão do Setor Elétrico Nº121

Confiabilidade das Redes de Recarga Rápida: Análise Internacional e Alternativas de Atuação

Camila Ludovique Lillian Monteath Raphael Guimarães

ISBN: 978-65-86614-80-0 Setembro de 2023

Índice

Sumár	io Executivo	3
Introdu	ıção	6
1. Me	etodologia	8
2. Re	des de Recarga Rápida e seus Desafios de Manutenção	12
2.1.	Características básicas das redes de recarga rápida	12
2.2.	Riscos atrelados à operação da rede de eletropostos	14
3. Ex	periência Internacional	19
3.1.	Taxa de confiabilidade internacional das redes de recarga	19
3.2.	Melhores práticas para a manutenção da rede de eletropostos	24
4. Ce	nários de Atuação	29
4.1.	Premissas	29
4.2.	Cenário Corrente	34
4.3.	Cenário Alternativo	36
4.4.	Comparando atuações	38
5. Cons	siderações Finais	40
Referê	ncias Bibliográficas	41

Sumário Executivo

O objetivo deste Texto de Discussão é fornecer um diagnóstico da experiência internacional e alternativas de atuação que garantam a segurança e a manutenção das estações de recarga rápida de veículos elétricos (VEs) no Brasil. Portanto, a pesquisa apresenta:

- i. Dados de confiabilidade da rede de recarga em mercados mais avançados na eletrificação da frota;
- ii. Estratégias para a contratação dos serviços de manutenção; e
- iii. Um exercício quantitativo para auxiliar tomadores de decisão na seleção da melhor alternativa de garantia dos serviços de manutenção.

De acordo com estudos internacionais que avaliaram a funcionalidade das redes de recarga pública, é comum encontrar estações fora de operabilidade. A taxa de confiabilidade encontrada nos estudos varia entre 70% a 90%, ou seja, um valor bem abaixo do índice teórico de disponibilidade fornecido pelos fornecedores da tecnologia, que indicam valores na ordem de 95% a 98%. Assim, as falhas nos carregadores são mais frequentes do que as empresas admitem e o problema de manutenção é generalizado.

Entre as falhas frequentes estão problemas no sistema de refrigeração, que exigem trocas de ventiladores, filtros, líquidos e exaustores, utilizados para diminuir a temperatura e manter os carregadores rápidos operando, além de ajustes em peças e necessidade de substituição de cabos e *plug-ins*. Outros problemas habituais são a perda de conexão com a nuvem, telas sensíveis ao toque sem resposta ou indisponíveis, assim como falhas no sistema de pagamento, no início da cobrança, na rede ou nos conectores. Dessa forma, para a manutenção efetiva dos eletropostos, essas peças críticas precisam estar no local certo com o profissional adequado.

Neste sentido, para solucionar tais problemáticas operacionais de forma custo efetiva, estudos realizados mostram que é necessário aumentar o número de estações por local de recarga, pois um grande número de carregadores por ponto de recarga permite manter uma alta confiabilidade de acesso, taxa de utilização dos ativos e rentabilidade do negócio.

Por sua vez, a discussão analítica sugerida acerca da utilização da manutenção e seguro para a infraestrutura de eletropostos analisou dois cenários de atuação.

O Cenário Corrente considerou apenas a manutenção corretiva dos postos e ausência de cobertura de seguro. Por outro lado, o Cenário Alternativo supôs a contratação da manutenção preventiva, corretiva e seguro.

Primeiramente, a análise indicou um crescimento exponencial da rede de carregadores rápidos (DC)¹, seguindo a tendência de difusão dos VEs. O mercado total brasileiro seria de cerca de 2.340 estações de recarga rápida e o número de carregadores da rede hipotética (Rede H) salta de 18 estações, em 2022, para cerca de 500 unidades, em 2030.

Os resultados do Cenário Corrente indicaram que, se, em 2022, a probabilidade era de uma falha a cada 160 dias, em 2030, as chamadas de reparo podem ocorrer a cada 40 dias. Apesar do aumento da venda de energia, observa-se nesse cenário que o número médio de recargas diárias por estação apresenta um crescimento marginal no período. Isso é explicado, em parte, pelo aumento da taxa de falha e pelo tempo elevado de reparo das estações, que passam 15 dias fora de serviço e impactam o indicador. Por sua vez, o custo da manutenção, que considera um ticket médio de R\$ 10.000,00 por chamada corretiva, cresce em função do aumento de paradas. No período, o peso da manutenção corretiva no faturamento total acompanha essa tendência, saltando de 24% do faturamento para 68%.

¹ Assumiu-se que o acrônimo DC representa carregadores de corrente contínua tipicamente utilizados para rede de recarga rápida.

Por outro lado, o Cenário Alternativo indicou que, em 2022, a probabilidade de falha, que era de uma a cada 160 dias, atinge, em 2030, 345 dias. Seguindo a tendência, a taxa de falha dos equipamentos diminui e fica abaixo dos 5%, valor de disponibilidade das estações especificado pela maioria dos fornecedores. Nesse cenário, o número médio de recargas diárias por estação triplica no período. O aumento da disponibilidade dos carregadores permite o aumento do potencial de utilização dos mesmos e do número de eventos de conexão na rede, além de afetar a satisfação dos usuários de VEs que, mais contentes com a infraestrutura, passam a promover a adoção da mobilidade elétrica.

O custo da manutenção, por sua vez, assume duas tendências opostas. Devido ao aumento da exigência de tempo de atendimento, o custo do serviço de manutenção aumenta no período, saltando de R\$ 13.000,00, em 2022, para R\$ 50.000,00, em 2030, por estação. Em contrapartida, ocorre uma redução de 30% desses valores, justificada pelo amadurecimento do mercado. Adiciona-se, ainda, o prêmio do seguro, considerado na faixa de R\$ 3.000,00 por estação, o qual também apresenta, ao longo do tempo, uma redução exponencial de 30% no valor global, devido ao aumento de escala. Dadas as premissas, o peso da manutenção corretiva no faturamento total diminui ao longo do tempo, saindo de 32% do faturamento para 17%.

A comparação dos resultados entre os cenários aponta que, no curto prazo (dois anos), é mais vantajoso economicamente atuar com uma equipe reduzida, apenas realizando manutenções corretivas. No médio prazo (oito anos), porém, essa tendência se inverte, sendo mais vantajoso uma equipe de manutenção preventiva especializada, pois o aumento da utilização da rede atrelado ao envelhecimento dos equipamentos leva ao crescimento do número de paradas, tornando a manutenção corretiva mais frequente. Assim, utilizar os serviços de manutenção preventiva torna a operação e os custos mais previsíveis, facilitando a rotina tanto dos usuários quanto dos operadores da rede.

Introdução

A infraestrutura de recarga para VEs está em franca expansão e é impulsionada pela ampliação da oferta desses veículos no mercado automobilístico. Como resultado, o mercado está em um momento de transição na forma de abastecimento dos veículos, substituindo os tradicionais postos de gasolina por totens de recarga elétrica (Bibra *et al.*, 2021). Embora a maioria das recargas deve ocorrer em carregadores domésticos, que apresentam potência, custo e risco reduzido, uma rede robusta de carregadores rápidos é fundamental para atender a demanda energética do parque veicular (U.S. Departament of Energy, 2022).

Felizmente, através do Programa de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica, até 2022 já tinham sido implementados no Brasil cerca de 85 estações de recarga rápida para atender o carregamento dos 8 mil veículos puramente elétricos em circulação (Neocharge, 2022). A tendência é que esses valores continuem a crescer de forma exponencial no curto e médio prazo, conforme aponta o direcionamento do mercado. No entanto, além de promover a instalação dos eletropostos, é preciso ter em mente que a rede de recarga precisará de manutenção regular para garantir a sua plena operação.

Neste sentido, a análise da experiência internacional apontou que a taxa de indisponibilidade dos equipamentos gira entre 10% a 30%, ou seja, as falhas nos carregadores são mais frequentes do que as empresas admitem e o problema de manutenção é generalizado (Motavalli, 2022). Os relatos de usuários nas redes sociais e no site Plugshare apontam na mesma direção. É comum que muitos carregadores fiquem fora de serviço na Austrália, no Reino Unido, na China, etc. Por consequência, os proprietários de VEs estão frustrados e preocupados com o estado da infraestrutura de carregamento público disponível.

Sendo assim, os operadores da infraestrutura de recarga rápida devem criar planos de gerenciamento de seus ativos de recarga, os quais devem incluir como manter e reparar as estações de carregamento, o dimensionando os custos e os benefícios da

manutenção e da cobertura de seguro para a rede instalada (IER, 2022). Nota-se, entretanto, que essa é uma prática pouco exercida atualmente no mercado brasileiro.

A partir deste enquadramento analítico, o objetivo do presente Texto de Discussão é fornecer um diagnóstico da experiência internacional e alternativas de atuação que garantam a segurança e a manutenção das estações de recarga rápida no Brasil.

Portanto, a pesquisa visa apresentar: (i) dados de confiabilidade da rede de recarga em mercados mais avançados na eletrificação da frota; (ii) estratégias para a contratação dos serviços de manutenção; e (iii) um exercício quantitativo para auxiliar tomadores de decisão na seleção da melhor alternativa de garantia dos serviços de manutenção.

Para tal, foi realizada uma revisão bibliográfica da literatura internacional e nacional disponível, buscando informações sobre a taxa de disponibilidade dos equipamentos, os custos dos serviços e as melhores práticas. Além disso, foi elaborado um modelo de análise que destaca as relações entre a evolução do mercado de mobilidade elétrica, os parâmetros de manutenção, a operação e a receita de uma rede hipotética de eletropostos. A partir da avaliação analítica desenvolvida, recomendações foram apresentadas para subsidiar os gestores de redes de recarga rápida.

Em relação à estrutura do texto, além desta breve introdução e do sumário executivo, apresenta-se, na primeira seção, uma visão geral da metodologia de pesquisa aplicada. Na sequência, as características e os riscos associados às redes de recarga rápida são detalhados, bem como estratégias de mitigação (Seção 2). Na terceira seção, são expostas as principais considerações identificadas na experiência internacional, apontando estatísticas e melhores práticas. A quarta seção, por sua vez, apresenta as conclusões do exercício analítico proposto, indicando as premissas adotadas e os resultados obtidos. Por fim, na Seção 5 são discorridas as considerações finais deste Texto de Discussão, seguidas da bibliografia utilizada no estudo.

1. Metodologia

Conforme ilustra a Figura 1, a metodologia de pesquisa deste estudo teve como ponto de partida a definição das características técnicas e operacionais das redes de recarga rápida. Em seguida, foram conduzidas consultas à literatura internacional e entrevistas com agentes do mercado de mobilidade elétrica² no Brasil, visando caracterizar a taxa de falha em campo dos equipamentos e as melhores práticas internacionais relacionadas à manutenção de redes de recarga.

A partir dessas informações, foi formulado um modelo de análise, denominado de Modelo de Indicadores Operacionais Para Eletropostos (MIOPE), o qual dispõe-se a avaliar quantitativamente as principais relações identificados na pesquisa. Por fim, foram explorados dois cenários de utilização de manutenção e seguro para os eletropostos, que permitiram a análise de diferentes alternativas de atuação de forma sistemática.



² Os seguintes parceiros foram consultados: EFACEC, ABB, SIEMENS e BeGreen.

_

Em particular, a coleta de informações e a dinâmica do mercado foram consolidadas em um modelo técnico-paramétrico, em formato Excel, que visa avaliar a utilização dos serviços de manutenção e seguro, envolvendo variáveis de mercado, receitas e parâmetros de manutenção, pontuados no Quadro 1, abaixo.

Quadro 1: Parâmetros da modelagem

Áreas de Intervenção	Variáveis
	Número de VEs no Brasil
	Relação DC por VE
Money do VEs o Carrogadores	Participação dos DC no mercado de carregadores (%)
Mercado VEs e Carregadores	Número de DC no Brasil
	Número de carregadores da Rede H
	Share da Rede H no mercado de DC (%)
	Tempo de disponibilidade anual por carregador (horas/ano)
Indicadores de Manutenção	Tempo total de manutenção (horas)
	Número de paradas por carregador no ano
	Custo com manutenção preventiva e corretiva (R\$/estação)
Custos de Manutenção e Seguro	Seguro anual (R\$/estação)
	Curva de aprendizado/escala (Redução % do custo)
	Número de recargas potenciais por estação no ano
Indicadores Operacionais	Recarga média (kWh)
	Valor da recarga (R\$/kWh)

Fonte: Elaboração própria.

A lógica da abordagem é de que o mercado de recarga rápida cresce à medida que o veículo elétrico aumenta a sua participação no parque veicular nacional. Dessa forma, o número de estações rápidas da Rede H cresce ao longo do tempo. Ao mesmo tempo, cresce o número de ativos que necessitam de manutenção preventiva e corretiva, bem como os custos atrelados a essas atividades.

O resultado dessa interação é capturado pelos indicadores operacionais da rede de recarga, que permitem mensurar o volume de venda, o faturamento e o peso da manutenção sobre o faturamento, mediante formas distintas de garantia da manutenção dos eletropostos, conforme apresentado na Figura 2, a seguir.



Figura 2: Visão geral dos parâmetros utilizados na avaliação Fonte: Elaboração própria.

O modelo de avaliação visa, portanto, fornecer uma análise de decisão para gestores de rede de eletropostos. Neste sentido, dois cenários de atuação, que refletem os custos e benefícios da manutenção preventiva e da contratação de seguros para o negócio, foram propostos:

- i. O Cenário Corrente, nomeado de "Deixa a vida me levar", assume como premissa que a rede irá utilizar somente a manutenção corretiva para os eletropostos; e
- ii. O Cenário Alternativo, intitulado de "O seguro morreu de velho", por outro lado, assume que a rede de eletroposto irá fornecer manutenção preventiva, corretiva e cobertura de seguro para todas as estações de recarga rápida.

Desta forma, a metodologia desenvolvida permitiu o uso de processos racionais para selecionar a melhor alternativa de atuação e promover o debate entre os agentes envolvidos. Além disso, cabe destacar que as premissas aqui utilizadas podem e devem ser atualizadas mediante dados que reflitam melhor as condições mais atuais do mercado de mobilidade elétrica, permitindo, assim, resultados mais fidedignos à realidade do setor.

2. Redes de Recarga Rápida e seus Desafios de Manutenção

Uma vez concluído o processo de aquisição e instalação da infraestrutura de carregamento, há uma série de considerações operacionais a serem observadas, incluindo os custos de manutenção e os custos associados à segurança do negócio. Tais precauções são fundamentais para garantir tanto a rentabilidade do negócio quanto a saúde dos funcionários e dos clientes. Neste contexto, esta seção fornece uma visão geral da infraestrutura de carregamento para VEs, dos componentes de hardware, software e desafios relacionados à sua manutenção (Seção 2.1), além dos riscos mais frequentes e estratégias de mitigação associadas à operação de redes de recarga rápida (Seção 2.2).

2.1. Características básicas das redes de recarga rápida

De modo geral, as estações de carregamento rápida para VEs são um conjunto de eletrônicos de potência montados em um totem, que fornece energia da rede para as baterias do VEs através de um *plug-in*. Tipos distintos de carregadores fornecem diferentes níveis de corrente e tensão para atender aos requisitos específicos da bateria do veículo. Entretanto, é comum que a potência dos carregadores em rodovias varie de 50 kW a 500 kW. No futuro, espera-se que as melhorias na química da bateria possibilitem taxas de carregamento ainda mais altas, porém, atualmente, a maioria dos carregadores rápidos está na faixa de 50 kW a 350 kW (IEA, 2022).

Além disso, o equipamento de carregamento normalmente tem algum grau de inteligência fornecido por um software que cuida da autenticação do usuário, da comunicação do veículo, da coleta e do monitoramento de dados, assim como do pagamento. Logo, a configuração de um eletroposto é caracterizada por estruturas físicas e digitais que permitem a transmissão de energia e de informação (IEA, 2022).

Outra característica relevante deste tipo de infraestrutura de recarga veicular é sua configuração em rede, ilustrada na Figura 3, abaixo. Embora a maioria dos carregadores tenha um sistema default de identificação de falhas e restauração virtual

do sistema, a localização dispersa dos ativos impõe certas barreiras logísticas aos serviços de manutenção corretiva e preventiva.

Entre os principais desafios, destacam-se a falta de profissionais especializados pelo território brasileiro e a baixa disponibilidade de peças no mercado nacional, fatores que acabam, em última instância, influenciando o tempo médio de reparo das estações (MSamlin, 2021).

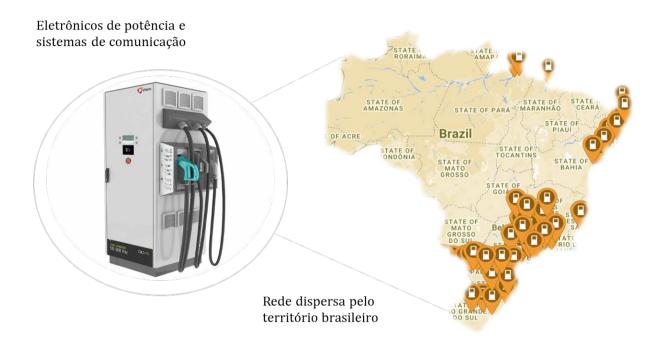


Figura 3: Característica em rede da infraestrutura de recarga para veículos elétricos Fonte: Elaboração própria.

Por ser um mercado jovem, poucos eletricistas, técnicos e fornecedores de peças estão aptos a realizar a manutenção dos equipamentos, o que acarreta na contratação de equipes e fornecedores, por vezes, distantes dos centros de ocorrência do chamado. De acordo com fornecedores nacionais do serviço, contratos que garantem o atendimento em, por exemplo, 24 horas após a abertura do chamado encarecem a prestação do serviço e, por isso, atualmente os eletropostos têm um tempo total de manutenção elevado, ficando por dias fora de funcionamento. A baixa disponibilidade dos ativos acaba, por sua vez, afetando a experiência do usuário, o que tem impacto direto na imagem do negócio.

Essas dificuldades de manutenção, no entanto, podem levar a eventos mais severos, como explosões, incêndios, perda dos ativos e, até mesmo, morte, como detalhado a seguir.

2.2. Riscos atrelados à operação da rede de eletropostos

Os testes e certificados emitidos pelos fabricantes comprovam que os equipamentos são confiáveis. Apesar disso, existem, principalmente, três riscos associados a esses dispositivos de alta tensão (Zurich, 2022):

- i. Choque elétrico;
- ii. Incêndios de alta tensão relacionados a baterias de íons de lítio; e
- iii. Ataques cibernéticos.

Choque Elétrico

A alta tensão necessária para carregar os VEs deixa os usuários vulneráveis ao conectar, desconectar e manusear cabos. Assim, danos a cabos e equipamentos de carregamento, causados por atrito, arraste, colisões e condições climáticas, podem aumentar o risco existente de choque elétrico. Além disso, os eletropostos são vulneráveis a roubo de cobre e vandalismo, o que pode deixar a fiação da estação exposta, causando ferimentos ou, até mesmo, a morte do usuário (Resiliant, 2022).

Todavia, atualmente, não existem regulamentos que exijam inspeções periódicas nos postos de carregamento de VEs. Com a expansão da implementação da infraestrutura de recarga ainda em estágio inicial no Brasil, incidentes ou acidentes ainda não foram relatados. Globalmente, no entanto, existem ocorrências (Batteriesnews, 2022). Assim, o treinamento de segurança e as inspeções periódicas de manutenção podem ajudar a minimizar lesões e, com sorte, evitar reclamações ou litígios.

Para mitigar o risco de choque elétrico, as seguintes diretrizes são sugeridas (Zurich, 2022):

- i. A manutenção básica do isolamento de cabos, plugues e fiação pode reduzir significativamente o risco de choque elétrico nas estações de carregamento;
- ii. A manutenção das unidades de carregamento rápido em Corrente Contínua (CC) deve ser mantida e reparada de acordo com as recomendações do fabricante, com inspeções anuais. Ademais, a manutenção e o serviço planejados devem ser reportados e acompanhados;
- iii. É relevante que a equipe de manutenção receba treinamento adequado, destacando os riscos do equipamento CC, a forma de operação do equipamento, os requisitos para inspeções visuais diárias, o modo de isolamento das unidades de carregamento e os procedimentos de emergência para desligamento;
- iv. É fundamental a divulgação das medidas de segurança para os clientes no local, com instruções sobre o que fazer em caso de emergência ou se alguém receber um choque elétrico de alta voltagem;
- v. As áreas de carregamento e estacionamento devem ser claramente marcadas com sinais. As unidades de carregamento CC rápido devem ser sinalizadas para diferenciá-las dos carregadores convencionais, devido aos riscos associados à tecnologia;
- vi. Outras medidas básicas de segurança elétrica, como usar sapatos com sola de borracha, também reduzirão o risco de ferimentos;
- vii. Qualquer acidente ou danos às estações de recarga testemunhado deve ser imediatamente comunicado a um membro da equipe para proteção do local; e
- viii. Onde houver acesso público irrestrito às estações de recarga, deve ser considerada a necessidade de proteção física adicional contra danos maliciosos e vandalismo.

Incêndios de alta tensão relacionados a baterias de íons de lítio

As baterias de íons de lítio, responsáveis por fornecer energia para os VEs, são uma tecnologia relativamente nova. Projetadas para serem o mais leves possíveis e com alta capacidade de armazenamento de energia, essas baterias são suscetíveis a danos por superaquecimento ou quando submetidas a altas temperaturas por meio de uma reação térmica descontrolada (Maddox, 2015).

Além disso, a intensidade do incêndio combinada com a pouca experiência que as equipes de resgate têm com VEs significa que essas chamas podem se alastrar, representando uma ameaça para pessoas, bens e meio ambiente.

Algumas recomendações para mitigar esses riscos são (Zurich, 2022):

- As unidades de carregamento, idealmente, devem ser instaladas em ambientes externos e localizados o mais longe possível de edifícios, estruturas e serviços públicos importantes;
- ii. Preferivelmente, os carregadores devem ficar afastados dos tanques de combustíveis ou inflamáveis, como compostos de resíduos, armazenamento de paletes ou cilindros de gás e combustíveis líquidos;
- iii. As unidades de carregamento em áreas externas estão expostas a mudanças nas condições climáticas e, embora sejam projetadas para resistir a um grau de exposição de submersão, o local onde as estações são instaladas deve ser avaliado quanto a inundações. As inundações podem vir de várias fontes, como rios, águas superficiais durante chuvas fortes e drenagem de chuva inadequada. As unidades de carregamento não devem ser instaladas em local onde há inundação ou o escoamento excessivo de água superficial;
- iv. Nas circunstâncias em que as unidades de carregamento de veículos elétricos são instaladas internamente, as áreas de carregamento/estacionamento devem estar localizadas o mais próximo possível das saídas e, de preferência, ao nível do solo, para permitir o fácil acesso dos bombeiros;

- v. As áreas de carregamento/estacionamento no subsolo apresentam complexidades adicionais para o combate a incêndios, portanto esses locais devem ter uma atenção redobrada;
- vi. As áreas internas de carregamento/estacionamento de VEs devem ser equipadas com detecção automática de incêndio, instalados perto das estações de recarga. Os alarmes devem ser transferidos automaticamente para um centro de recepção de alarmes aprovado e permanentemente atendido; e
- vii. Além da localização das estações de recarga e do fornecimento de detecção e supressão automática de incêndio, há uma ampla gama de controles operacionais gerais que garantem a segurança, como a proteção da estação contra impactos acidentais com veículos e a inspeção visual diária.

Ataques cibernéticos

As redes de eletropostos dependem de dados, software e sensores, incluindo inteligência artificial, para coordenar sistemas operacionais e facilitar a experiência dos usuários. Por isso, os dispositivos sofrem com o perigo de ataques cibernéticos, que podem comprometer a operação do sistema e a segurança dos dados. À medida que a eletrificação do transporte avança, os ataques cibernéticos às redes de eletropostos podem se tornar mais frequentes e afetar toda a infraestrutura de abastecimento nacional. Para mitigar esse risco, é recomendado o investimento em sistema de proteção de dados, como controladores, conversores e sistemas de monitoramento em tempo real (Resiliant, 2022).

Em suma, os riscos identificados no negócio devem ser tratados e as opções frequentemente aplicadas envolvem um mix de ações que visa diminuir, evitar, compartilhar ou aceitar o risco. Entre essas opções, as ações mais aplicadas buscam diminuir o risco, através da implementação de medidas de controles, ou compartilhar o risco, com a transferência de parte dos riscos para terceiro interessado (Weaver, 2007).

Neste estudo, portanto, são consideradas alternativas de contratação de seguro para os riscos menos frequentes, porém com elevado impacto ao negócio, como no caso de explosões, e de contratação de manutenção para os riscos mais frequentes e de baixo impacto, como no caso de falhas do sistema.

3. Experiência Internacional

O objetivo desta seção é apresentar indicadores internacionais de confiabilidade e manutenção das redes de recarga rápida (Seção 3.1), além das melhores práticas relacionadas à manutenção da infraestrutura de recarga pública (Seção 3.2).

3.1. Taxa de confiabilidade internacional das redes de recarga

As estações de recarga rápida enfrentam riscos de incêndio característicos de instalações elétricas em CC de alta tensão. Apesar da probabilidade ser pequena (EV Fire Safe, 2022), a segurança das estações de recarga pode ser afetada por fiação inadequada ou desatualizada, falha humana, problemas em componentes e fatores climáticos, com a possibilidade de resultar em curto-circuito ou superaquecimento que acarretam em graves incêndios. Além disso, anomalias podem ocorrer na transferência de eletricidade de alta tensão entre as estações de recarga e os veículos, levando, também, a problemas com fogo.

Apesar disso, as estatísticas apontam que a chance de um incêndio envolvendo um VE é menor do que a de um veículo à combustão interna. Segundo a *Phosphorus, Inorganic and Nitrogen Flame Retarders Association*, ocorrem cerca de 55 incêndios por um bilhão de milhas percorridas em veículos à combustão, em comparação com cinco incêndios por um bilhão de milhas percorridas por VEs. Isto é, a probabilidade de um VE pegar fogo é 11 menor que a de um veículo à combustão interna (Berredo, 2022).

Ademais, um estudo conduzido pela AutoInsuranceEZ utilizando dados da *National Transportation Safety Board* mostrou que os carros elétricos nos Estados Unidos pegaram fogo a uma taxa de 25 por 100 mil vendas, em comparação com 1.530 para veículos à combustão e 3.475 para híbridos (Morelli, 2022). Por sua vez, a *EV Fire Safe* indica que há uma chance de 0,0012% de que a bateria do VE pegue fogo em comparação a uma chance de 0,1% dos carros à gasolina ou a diesel (EV Fire Safe, 2022).

Deste modo, a literatura internacional aponta que os VEs apresentam a probabilidade de incêndio com graves consequências mais baixa entre as tecnologias motrizes. Todavia, de acordo com um levantamento global conduzido entre o período de 2015 a 2019, em média 20% desses eventos raros ocorreram durante a recarga do veículo (ver Figura 4). Além disso, em 21% desses momentos os veículos estavam estacionados. Por consequência, os centros de recarga merecem atenção e adequação para evitar e reduzir os impactos de eventuais acidentes.

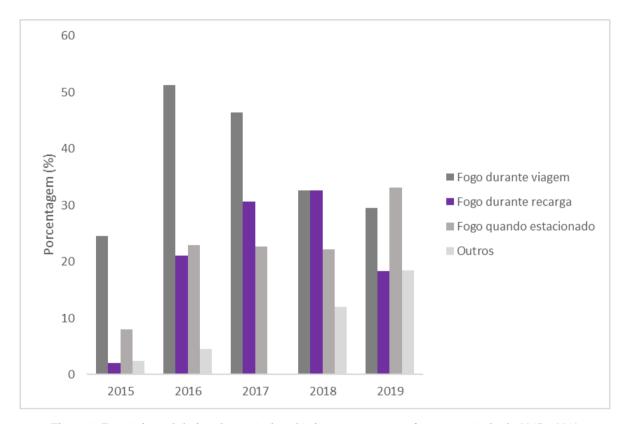


Figura 4: Estatísticas globais sobre veículos elétricos que pegaram fogo no período de 2015 a 2019 Fonte: Elaboração própria, com base em Bodine (2022).

Observa-se que a percepção de risco é mais elevada para os VEs, pois, apesar da probabilidade de incêndio ser menor, as consequências são mais severas e, por isso, os acidentes são mais marcantes. Quando um VE pega fogo, as consequências são mais problemáticas, uma vez que os veículos utilizam baterias de íon-lítio e produtos químicos que são sensíveis a altas temperaturas e podem entrar em autoignição descontrolada, dificultando a eliminação das chamas (Edmondson, 2022).

Nesse sentido, alguns incêndios de VEs destruíram estações de recarga e veículos vizinhos e os bombeiros tiveram que ser instruídos sobre como lidar especificamente com o incêndio para, então, extinguir o fogo. Apesar disso, é provável que, no futuro, à medida que a difusão dos VEs avança, esses eventos sejam cada vez menos frequentes e os centros de recarga gradativamente mais preparados.

Por sua vez, estudos que avaliaram a funcionalidade das redes de recarga pública indicam que é comum encontrar estações fora de operabilidade. Na Califórnia, uma pesquisa analisou 657 conectores CCS³ e, de 181 estações de recarga rápida, apenas 72,5% estavam funcionais (Rempel *et al.*, 2022).

Entre os problemas constatados no estudo estavam (i) o cabo era muito curto para alcançar a entrada do VE (4,9%) e (ii) mal funcionamento de telas, que não respondiam ou não estavam disponíveis, falhas no sistema de pagamento, no início da cobrança e na rede ou conectores quebrados (22,7%). Uma avaliação oito dias após o primeiro diagnóstico mostrou que aproximadamente 10% das estações não demonstraram alteração geral na funcionalidade, ou seja, continuavam fora de operação (Rempel *et al.*, 2022).

Outro dado do mercado americano, derivado de pesquisas de satisfação com 1.290 proprietários de VEs, sugere que 34% dos usuários tiveram problemas com a operacionalidade das estações de recarga (CARB, 2022). Já uma pesquisa com 5.500 proprietários de VEs revelou que 25% dos usuários de recarga rápida pública relataram dificuldades com os eletropostos, devido a mal funcionamento ou por estarem quebrados (Plug In America, 2022).

No Canadá, as estatísticas de indisponibilidade apontam para um valor de aproximadamente 8% a 9% (Lorinc, 2022), com base em dados parciais fornecidos por algumas operadoras de redes de cobrança.

-

³ Sistema de Carregamento Combinado.

A pesquisa publicada também destacou a gama de problemas potenciais, que se aproximam dos relatados do estudo da Califórnia: telas sem resposta ou indisponíveis, falhas no sistema de pagamento, no início da cobrança e na rede ou conectores quebrados.

Sob outra perspectiva, pesquisas de satisfação do consumidor, que avaliaram diferentes redes de recarga no Canadá, indicam um cenário mais dramático: um em cada cinco entrevistados relatou que não conseguiu carregar o veículo durante uma visita a uma estação de recarga, dos quais 72% afirmaram que era porque o equipamento estava com defeito ou fora de serviço.

No Reunido Unido, com base na análise do Zap-Map, que utiliza dados das operadoras de pontos de recarga, em setembro de 2022, 6,10% dos aparelhos apresentavam indisponibilidade. No entanto, a BBC Escócia divulgou que cerca de um em cada quatro carregadores (23,5%) não estava disponível, dos quais mais da metade, ou 13,6% do total, simplesmente perderam a comunicação com a operadora, não permitindo a transmissão de informações ao vivo (Riley, 2022).

Outra constatação trazida pelo estudo da Zap-Map é que, ao comparar a confiabilidade dos carregadores que foram instalados antes e depois de 2021, se identificou que aqueles instalados antes de 2021 não são tão confiáveis quanto os instalados mais recentemente. Em setembro, o Zap-Map registrou uma taxa de indisponibilidade de 8,98% para os aparelhos mais antigos e uma taxa de 3,91% para os instalados posteriormente a 2021. Por consequência, os dados sugerem que há uma melhora na performance dos equipamentos (Riley, 2022).

Esse nível de funcionalidade identificado, no entanto, parece entrar em conflito com o tempo de atividade de 95% a 98% relatado pelos provedores de estações de recarga rápida. As descobertas sugerem, portanto, a necessidade de definições e cálculos precisos e compartilhados para confiabilidade, tempo de atividade e tempo de inatividade, com verificação realizada por terceiros.

Neste sentido, o governo do Reino Unido assumiu, em março de 2022, o compromisso ousado de que os carregadores rápidos, ou seja, aqueles que fornecem velocidades de 50kW ou mais, precisarão atender aos padrões mínimos de confiabilidade de 99% até o final de 2023 (Riley, 2022). Observa-se que tais compromissos auxiliam na promoção da confiabilidade das redes.

No entanto, também é necessário avançar em um sistema robusto e integrado de informação sobre os carregadores, indicando disponibilidade, tempo de espera médio e preço da recarga aos usuários, conforme aponta (Pettigrew, 2023).

Com a finalidade de solucionar tais problemáticas operacionais de forma custo efetiva, um modelo elaborado por Jabbari e MacKenzie (2017) mostrou que, para um centro de recarga com poucos carregadores, é difícil atingir níveis de utilização econômicos e, ao mesmo tempo, manter um acesso confiável. Por outro lado, um grande número de carregadores por local de recarga permite manter uma alta confiabilidade de acesso e uma alta taxa de utilização dos ativos. Dessa forma, aumentar a escala de estações por local de recarga é relevante para a utilização dos serviços de manutenção e segurança.

Em síntese, de acordo com estudos internacionais, as falhas nos carregadores são mais frequentes do que as empresas admitem e o problema de manutenção é generalizado (Motavalli, 2022). Relatos de usuários via redes sociais e no website *plugshare* apontam na mesma direção: é comum encontrar uma sequência de carregadores fora de operação, seja na Austrália, no Reino Unido ou na China. Assim, as pesquisas indicam que, embora os proprietários de VEs estejam satisfeitos com seus veículos, há frustração e ansiedade em relação ao estado da infraestrutura de recarga pública disponível.

3.2. Melhores práticas para a manutenção da rede de eletropostos

Esta seção apresenta os fatores críticos identificados na literatura internacional para a manutenção dos eletropostos de recarga, pontuando barreiras e estratégias de atuação. De modo geral, a revisão bibliográfica indica que a manutenção das operações da rede está relacionada (i) ao estabelecimento de um plano de manutenção anual, (ii) a profissionais capacitados no mercado e (iii) à disponibilidade local de peças. Deste modo, estes serão os principais tópicos discutidos nesta seção.

De acordo com os fabricantes de eletropostos, todas as estações de recarga rápida de uma rede devem ser inspecionadas regularmente como parte da manutenção preventiva, mesmo aquelas raramente utilizadas (Caldwell, 2022). No mínimo, cada peça de equipamento deve ser cuidadosamente inspecionada e testada uma vez por ano. Por sua vez, eletropostos que são utilizados com mais regularidade devem ser inspecionados pelo menos duas vezes por ano. Neste contexto, uma rotina de manutenção adequada deve envolver (Jungers *et al.*, 2022):

- i. A inspeção visual do equipamento quanto a danos;
- ii. O teste da interface entre equipamento e usuário; e
- iii. A realização de testes de potência para certificar que o equipamento fornece a energia que está classificada para fornecer e que os mecanismos de segurança integrados estão funcionando.

Visando a execução do plano de manutenção da rede, é fundamental garantir que as equipes de manutenção estejam treinadas para a realização dos reparos nas estações de recarga. Através de uma equipe própria ou por meio de parceiros comerciais, os operadores das redes de eletropostos devem garantir treinamento específico para técnicos e eletricistas.

Técnicos destreinados podem não ter os equipamentos de teste, as ferramentas ou as peças de reposição adequados para diagnosticar e reparar um problema de forma segura e eficiente em campo.

Além disso, equipes de manutenção com um número reduzido de profissionais capacitados no tema terão dificuldades de atender as chamadas de reparo, o que atrasará as reparações e deixará os carregadores fora de operação por dias, conforme ilustra a Figura 5.

Observa-se que a rotina de manutenção de redes de recarga implica em três níveis de atendimento, quais sejam, (i) o atendimento no local para prover diagnóstico especializado, (ii) a central de atendimento dos pedidos de manutenção e (iii) a equipe técnica especializada para atender ao chamado.



Figura 5: Rotina de manutenção de redes de recarga Fonte: Elaboração própria.

Assim como o treinamento mencionado, as equipes de manutenção precisam de (i) informações detalhadas, (ii) ferramentas especiais e (iii) peças especiais (Caldwell, 2022). As equipes de manutenção geralmente possuem informações limitadas ou incorretas ao entrar em campo e, por isso, o diagnóstico ou o reparo dos equipamentos pode demorar. Para reduzir o tempo de reparo, a equipe que gere os equipamentos deve procurar prover aos técnicos o máximo de informação possível sobre o tipo de eletroposto, o código de erro ou problema relatado, a quantidade de carregadores, portas e conectores, a idade do equipamento, o tipo de instalação e histórico de reparos.

Além disso, os técnicos estão acostumados a usar ferramentas especializadas para o seu ofício, como chaves isoladas e medidores para medir tensão e corrente.

Contudo, para a manutenção e o reparo das estações, os técnicos precisarão de ferramentas especiais e menos comuns, como medidores que possam simular uma falha de carregamento e detectar a resposta da estação.

Por fim, a equipe de manutenção precisa de peças de reparo críticas e não críticas préencomendadas e estocadas no veículo de atendimento da chamada antes de ir para um trabalho de inspeção ou reparo. Isso porque, quase tudo, exceto a fiação da estação, é considerado equipamento especializado, incluindo cabos e controladores.

De acordo com os fabricantes, alguns dos reparos frequentes relacionados aos eletropostos são problemas no sistema de refrigeração. Trocas de ventiladores, filtros, líquidos e exaustores utilizados para diminuir a temperatura são atividades comuns para manter os carregadores rápidos operando, além de ajustes em peças e substituição de cabos e *plug-ins*.

Outros problemas habituais são a perda de conexão com a nuvem, telas sensíveis ao toque sem resposta ou indisponíveis, falhas no sistema de pagamento, no início da cobrança e na rede e conectores quebrados (Voelcker, 2012). Assim, para a manutenção efetiva dos eletropostos, essas peças críticas precisam estar no local certo com o profissional adequado.

Basicamente, existem três formas de contratar esses serviços. Uma primeira opção é contratar empresas especialistas na manutenção dos eletropostos de recarga rápida, outra maneira é o estabelecimento de uma equipe própria e, ainda, uma forma mista, com a divisão das etapas do ciclo de manutenção.

Por exemplo, a empresa BeGreen Mobilidade oferece um serviço especializado exclusivamente na manutenção de eletropostos. Outra alternativa para garantir a manutenção das estações seria incentivar indivíduos e organizações locais a gerenciar e manter os carregadores após a instalação (Caldwell, 2022). Esses incentivos operacionais também podem apoiar a certificação e o treinamento de parceiros comerciais, vitais para o funcionamento em rede do negócio.

Contudo, seja de uma forma ou de outra, os custos de manutenção dos eletropostos podem representar fatias relevantes de seu faturamento na escala atual do mercado (IEA, 2022). Apesar disso, poucos estudos focam na redução das despesas de manutenção das estações e a maioria dos empreendimentos dão preferência à redução dos custos de instalação, não atentando-se aos gastos de manutenção e ao custo total de propriedade das mesmas. Como resultado, estações que apresentam um custo baixo de aquisição podem possui um custo elevado de operação e, portanto, um custo total de propriedade mais elevado.

Neste sentido, para evitar custos futuros, os operadores de redes de recarga podem solicitar aos fornecedores alguns indicadores de manutenção dos equipamentos, tais como (Voelcker, 2012):

- Tempo médio entre falhas, indicador da confiabilidade do equipamento, que mede o tempo total de bom funcionamento médio entre as falhas do eletroposto;
- ii. Tempo médio de reparo, indicador que avalia a mantenabilidade, ou seja, a facilidade que uma equipe de manutenção encontra em fazer um equipamento voltar a executar suas funções após uma falha; e
- iii. Taxa de falha, indicador que pode ser entendido como o percentual de indisponibilidade apresentado pelos equipamentos por motivos de manutenção (quebras).

Outros parâmetros, como disponibilidade, confiabilidade e custo de manutenção por faturamento, também podem ser solicitados para melhor planejar as despesas com a manutenção de cada estação (Correa, 2021). Ou seja, é necessário ponderar na hora da compra dos eletropostos o custo total do ativo, balanceando os dispêndios de construção e de operação dos equipamentos durante o ciclo de vida do produto.

Neste sentido, a característica em rede do negócio torna necessário uma abordagem em rede para a manutenção, sendo este um dos fatores críticos para o sucesso dos empreendimentos. O quadro a seguir resume as principais barreiras e recomendações para garantir a manutenção preventiva e corretiva da rede de eletropostos.

Quadro 2: Fatores para o sucesso da manutenção dos eletropostos

Fatores para o sucesso	Barreiras identificadas	Oportunidades
Plano de manutenção preventiva e corretiva	Localização dispersa dos eletropostos	Contratação de equipes terceirizadas especializadas ou realização de parcerias e capacitação de equipes técnicas na área do eletroposto, garantindo um tempo mínimo de atendimento de chamadas
Profissionais capacitados	Poucos técnicos estão capacitados a realizar a manutenção	Parcerias com escolas técnicas, como Senac, e incentivos a políticas públicas de capacitação profissional no tema
Disponibilidade de peças	A maioria das estações é importada, com poucos fornecedores locais de peças semelhantes, o que acarreta em um tempo elevado para reposição	Incentivo a políticas de produção nacional das peças e estações
Custo e tempo de reparo	A fase e escala atual do mercado impõem aos operadores tempo e custos elevados de manutenção	Parcerias com fornecedores locais, centros de distribuição de materiais e logísticos podem reduzir o elevado custo e tempo até a manutenção

Fonte: Elaboração própria.

4. Cenários de Atuação

A fim promover uma discussão analítica acerca da utilização da manutenção e do seguro para a infraestrutura de eletropostos, foi desenvolvido um modelo de avaliação que assume dois cenários de atuação. O Cenário Corrente considera apenas a manutenção corretiva dos postos e a ausência de cobertura de seguro. Por outro lado, o Cenário Alternativo supõe a contratação da manutenção preventiva e corretiva, bem como da cobertura de seguro. Neste sentido, a Seção 4.1 discuti as premissas relacionadas ao estudo e, na sequência, as Seções 4.2 e 4.3 apresentam os resultados do Cenário Corrente e do Cenário Alternativo, respectivamente. Por fim, a comparação das atuações é detalhada na Seção 4.4.

4.1. Premissas

O quadro abaixo sintetiza as principais premissas do exercício proposto, que analisa o período de 2022 a 2030, relacionando o impacto do crescimento da mobilidade elétrica nos indicadores de manutenção da rede de eletropostos.

Quadro 3: Premissas dos cenários de atuação

Premissas	Cenário Corrente "Deixa a vida me levar"	Cenário Alternativo "O seguro morreu de velho"	
Número de estações de recarga rápida	O crescimento do número de VEs acarreta na expansão da rede de eletroposto		
Tempo de disponibilidade anual	As estações idealmente deveriam operar 12 horas podia durante todo o ano, com tolerância máxima de parada correspondente a 5% do tempo		
Tempo total de manutenção	A estação fica parada por um tempo elevado devido à falta de manutenção preventiva e ausência de prioridade no reparo	Redução do tempo parado do equipamento devido à manutenção preventiva e manutenção corretiva com compromisso de tempo de reparo	

Premissas	Cenário Corrente "Deixa a vida me levar"	Cenário Alternativo "O seguro morreu de velho"
Número de paradas	Quantidade elevada de paradas devido à falta de assistência técnica	Redução do número de paradas devido à identificação prévia de falhas
Tempo médio entre falhas	Tempo médio entre falhas é baixo, com paradas recorrentes	Aumento do tempo médio entre falhas
Tempo médio de reparo	Tempo elevado de reação da equipe de manutenção	Redução do tempo médio de reparo devido à contratação de equipe com prioridade de atendimento
Taxa de falha	Percentual elevado de indisponibilidade das estações	Redução do percentual de indisponibilidade das estações
Custo da manutenção corretiva sem compromisso	Custo reduzido com a manutenção, até 3% do valor do equipamento	Não considera a contratação do serviço
Custo da manutenção preventiva e corretiva com compromisso	Não considera a contratação do serviço	Aumento do custo de manutenção para atender o chamado em 24 horas
Seguro anual das estações	Não considera a contratação do serviço	Garante a cobertura patrimonial e civil das estações
Número de recargas anual por estação	A taxa elevada de indisponibilidade reduz o número de recargas anuais	Aumento do número de recargas
Receita média anual por recarga	A taxa elevada de indisponibilidade reduz a receita anual no longo prazo	Crescimento da receita anual no longo prazo devido ao aumento da taxa de indisponibilidade

Fonte: Elaboração própria.

Dentro dessa metodologia, o número de carregadores DC é dado em função do número de veículos puramente elétricos no mercado nacional. Para a elaboração da simulação, foi considerado o cenário de difusão publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (PNME, 2022), que assume para o Brasil um total de 180 mil VEs, em 2030, representando uma taxa de crescimento anual de aproximadamente 50% ao ano para o período. Além disso, assumiu-se que:

- i. A cada 10 VEs é necessário um carregador público (Booth, 2022; ICCT, 2021;
 IEA, 2020);
- ii. A participação dos carregadores DC no mercado de carregadores públicos cresce de 10% para 13% no período do estudo. Conforme evidencia a experiência internacional (IEA, 2022), a democratização dos VEs nas cidades leva ao aumento de clientes que residem em prédios, não têm acesso a carregadores residenciais e, portanto, necessitam de carregadores rápidos em ambientes públicos; e
- iii. No Brasil, em 2022, a Rede H detinha 21% do mercado de carregadores rápidos (18/85), participação que é mantida constante no período de análise.

O resultado da análise aponta para um crescimento exponencial da rede de carregadores DC. A rede de carregadores da Rede H salta de 18 unidades, em 2022, para cerca de 500, em 2030, como pode ser observado na Figura 6, abaixo. O mercado potencial brasileiro, considerando as premissas dadas, seria de cerca de 2.340 estações de recarga rápida. Para efeito de comparação, em 2022, o mercado americano contava com um total de 6.000 estações de carregadores rápidos, ou seja, em 2030, o mercado nacional representaria um terço do mercado americano atual.

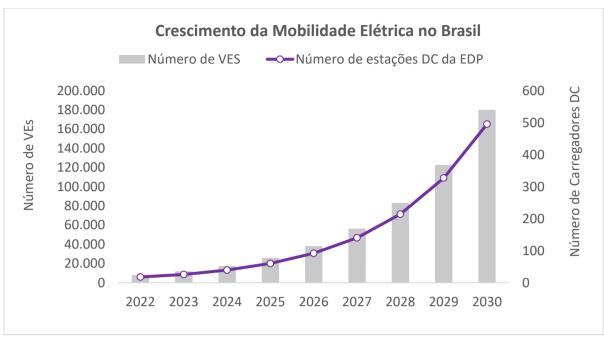


Figura 6: Crescimento potencial da rede de eletroposto Fonte: Elaboração própria.

Frente à expansão esperada da rede e das operações, um sistema de manutenção dos equipamentos é fundamental para garantir os serviços e a experiência dos clientes. Neste sentido, a seguir é discutido brevemente as premissas relacionadas ao custo dos serviços de seguro e manutenção considerados na análise.

No que diz respeito às premissas sobre o custo do seguro, cinco seguradoras⁴ foram consultadas, além de pesquisas a documentos de domínio público. Devido à novidade do negócio, identificou-se, na pesquisa, que há no mercado uma incerteza na tratativa do seguro para as estações de recarga. Apesar disso, o seguro empresarial foi apontado como o mais indicado.

De acordo com os valores fornecidos pelas seguradoras, em condição preliminar, pode-se considerar que o valor mínimo anual do seguro é de, aproximadamente, R\$ 2.800,00 por centro de recarga, a depender, entretanto, do valor dos ativos e equipamentos segurados. Por fim, destaca-se que esses valores são estimativas iniciais e a cotação deve ser realizada caso a caso, com o maior nível de detalhamento possível.

٠

⁴ Porto Seguro, Lego Seguros, MAPFRE, Argo Seguros e Tuia Seguros.

Sobre as premissas relativas ao custo da manutenção, além de fatores técnicos, que podem variar de fornecedor para fornecedor, o custo é dado em função das condições de tempo de atendimento. Isto é, quanto menor o tempo de compromisso de reparo estabelecido e mais frequentes forem os chamados, maior será o custo da manutenção. Contratos que garantem o reparo em até 24 horas, por exemplo, tendem a custar mais do que contratos sem compromisso de tempo de reparo, pois não têm despesas de viagens e disponibilidade de funcionários durante o final de semana.

A fim de ilustrar tal relação, a Figura 7 apresenta uma abordagem para o tema, tendo como premissa que:

- i. O eletroposto de recarga rápida (150 kWh) custa, em média, R\$ 500.000,00;
- ii. O custo de reparo anual sem prioridade é de 2% a 3% do valor do equipamento; e
- iii. O custo da manutenção com compromisso de tempo de reparo pode atingir até 10% do valor do equipamento.

Dado o enunciado, observa-se que chamadas com um tempo de reparo de 350 horas, ou 15 dias, apresentam um custo anual médio de R\$ 10.000,00 por estação de recarga. Já contratos que garantem o atendimento em 24 horas podem custar cerca de R\$ 50.000,00 ao ano.

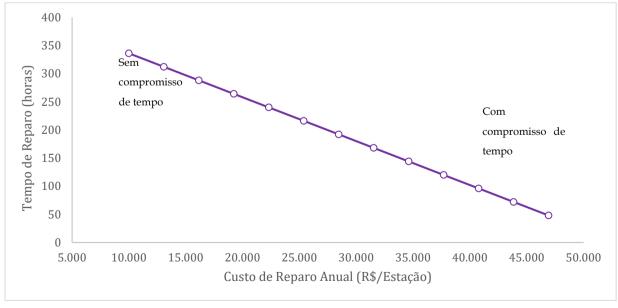


Figura 7: Relação entre o tempo de reparo e custo da manutenção Fonte: Elaboração própria.

Essas informações foram providas, de forma preliminar, por fornecedores de tecnologia e prestadores de serviços no âmbito nacional. De acordo com outra fonte (U.S. Departament of Energy, 2022), embora os custos reais de manutenção variem, os proprietários das estações de recarga rápida podem estima-los em mais de US\$ 800,00 ou R\$ 4.000,00 por ano, por carregador, para garantir a operação dos equipamentos. Como visto, o valor averiguado no mercado brasileiro é bem superior ao identificado na literatura internacional. Frente isso, será considerado nesta análise os dados nacionais.

A seguir, serão detalhados dois cenários de atuação no que tange a utilizaçã de manutenção e seguro para as redes de recarga rápida, comparando prós e contras no curto e longo prazo.

4.2. Cenário Corrente

Essencialmente, a linha narrativa do Cenário Corrente⁵ assume que:

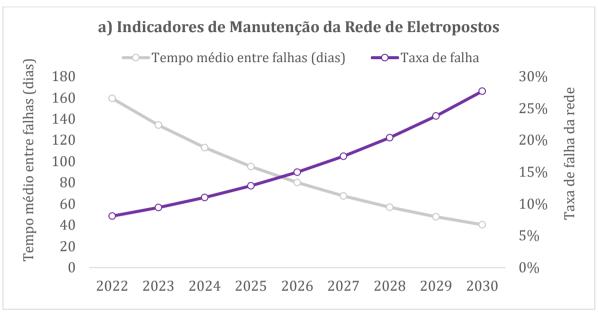
- Devido ao aumento da experiência das equipes de manutenção, o tempo total de manutenção corretiva apresenta uma pequena melhora no período, passando de 14 dias para 12 dias de atendimento durante o período analisado (Rempel *et al.*, 2022);
- ii. O aumento da procura por recarga leva ao aumento do número de quebra dos equipamentos, as quais, em média, ocorreram uma vez ao ano, em 2022, para cerca de quatro vezes ao ano, em 2030;
- iii. O custo da manutenção corretiva é de R\$ 10.000,00 por chamado; e
- iv. Ganhos de escala levam a uma redução de 15% no custo de atendimento dos chamados de reparo (Chris Nelder *et al.*, 2020).

A Figura 8 ilustra o painel de resultados do Cenário Corrente, considerando as premissas acima. Nota-se que o aumento de chamadas leva à redução do tempo médio

-

⁵ Cabe salientar que os parâmetros considerados na análise são exploratórios. O amadurecimento das operações fornecerá dados reais de campo, que poderão alimentar a ferramenta atual provendo melhores informações sobre o número de paradas, o tempo total de reparo e o custo de manutenção.

entre falhas. Isto é, se, em 2022, a probabilidade era de uma falha a cada 160 dias, em 2030, chamadas de reparo podem ocorrer a cada 40 dias. Neste contexto, a taxa de falha dos equipamentos aumenta e o cliente terá, em 2030, 28% de chance de encontrar um equipamento da Rede H fora de serviço na sua próxima tentativa de recarga.



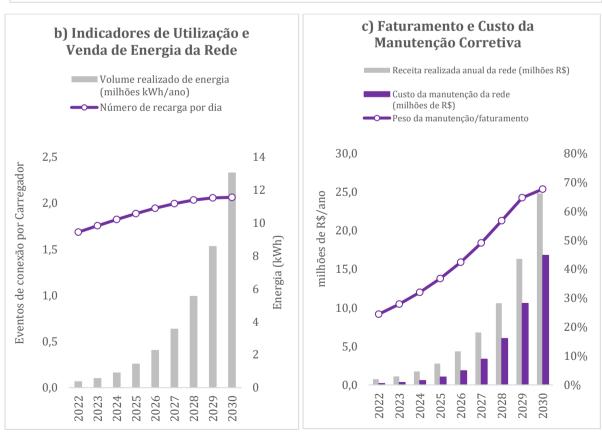


Figura 8: O painel indica como (a) os indicadores da área de manutenção impactam na (b) taxa de utilização dos carregadores e nos (c) indicadores de faturamento da rede no cenário corrente

Fonte: Elaboração própria.

Apesar do aumento da venda de energia, observa-se no Gráfico (b) que o número médio de recargas diárias por estação apresenta um crescimento marginal no período. Isso é explicado, em parte, pelo crescimento da taxa de falha e pelo tempo elevado de reparo das estações, que passam dias fora de serviço e impactam o indicador. Por sua vez, o custo da manutenção, que considera um ticket médio de R\$ 10.000,00 por chamada corretiva, cresce em função do aumento de paradas. No período, o peso da manutenção corretiva no faturamento total acompanha essa tendência, saltando de 24% do faturamento para 68%.

4.3. Cenário Alternativo

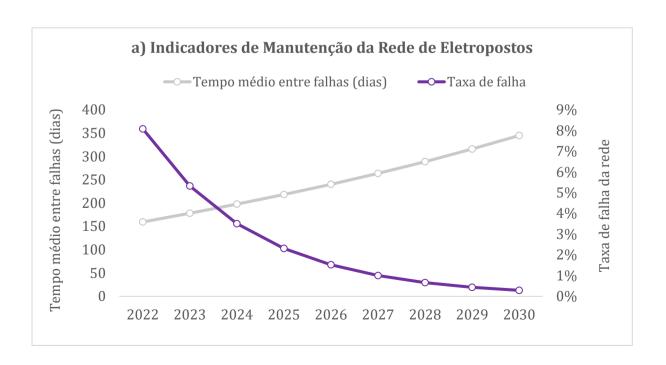
A linha narrativa do Cenário Alternativo, por outro lado, sugere que a rede de eletropostos contrate de terceiros o serviço de manutenção preventiva e corretiva, além de garantir a cobertura de seguro patrimonial e de responsabilidade civil. Assim, a empresa terceirizada fica responsável por atender chamadas corretivas e pela execução das manutenções preventivas. Neste contexto, o tempo total de manutenção atual, considerado de 14 dias, apresenta melhorias incrementais no período, atingindo a meta de atender os chamados em até 24 horas, em 2030. A manutenção preventiva, em contrapartida, reduz o número de paradas das estações, as quais, em média, ocorreram uma vez ao ano, em 2022, para cerca de 0.25 chamadas por carregador, em 2030.

Frente às premissas adotadas, os resultados apontam para um aumento no tempo médio entre falhas, como ilustrado na Figura 9, abaixo. Em 2022, a probabilidade de falha, que era de uma a cada 160 dias, atingirá, em 2030, uma a cada 345 dias. Seguindo a tendência, a taxa de falha dos equipamentos diminui e fica abaixo dos 5%, valor de disponibilidade das estações especificado pela maioria dos fornecedores.

Nota-se, no Gráfico (b), que o número médio de recargas diárias por estação triplica no período.

O aumento da disponibilidade dos carregadores permite o crescimento do potencial de utilização dos mesmos e do número de eventos de conexão na rede, além de afetar a satisfação dos usuários de VEs, que, mais contentes com a infraestrutura, passam a promover entre amigos e familiares a adoção da mobilidade elétrica.

O custo da manutenção, por outro lado, assume duas tendências opostas. Devido ao aumento da exigência de tempo de atendimento, o custo do serviço de manutenção cresce no período, saindo de R\$ 13.000,00, em 2022, para 50.000,00, em 2030, por estação. Em contrapartida, ocorre uma redução de 30% do custo do serviço de manutenção justificada pelo amadurecimento do mercado (Nelder *et al.*, 2020). Adiciona-se, ainda, o prêmio do seguro, considerado na faixa de R\$ 3.000,00 por estação, o qual também apresenta, ao longo do tempo, uma redução exponencial de 30% no valor global devido ao aumento de escala. Dadas as premissas, o peso da manutenção corretiva no faturamento total diminui ao longo do tempo, saltando de 32% do faturamento para 17%.



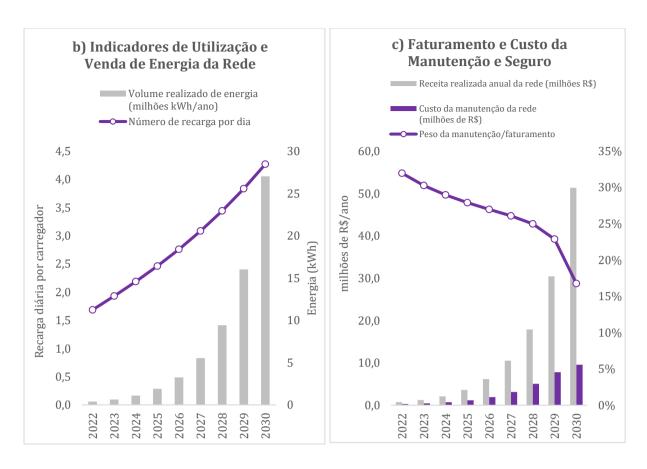


Figura 9: O painel indica como (a) os indicadores da área de manutenção impactam na (b) taxa de utilização dos carregadores e nos (c) indicadores de faturamento da rede no cenário alternativo

Fonte: Elaboração própria.

4.4. Comparando atuações

A comparação dos resultados entre os cenários aponta para a redução do tempo total de manutenção da rede no Cenário Alternativo. A diferença entre a receita e o custo da manutenção entre os cenários indica que, no curto prazo, é mais vantajoso economicamente atuar com uma equipe reduzida, apenas realizando manutenções corretivas. No médio prazo, no entanto, essa tendência se inverte, sendo mais vantajoso uma equipe de manutenção preventiva especializada. Os ganhos relativos acumulados no período atingem R\$ 65 milhões, sendo mais vantajoso utilizar os serviços de manutenção preventiva, corretiva e seguro para a rede de eletropostos.

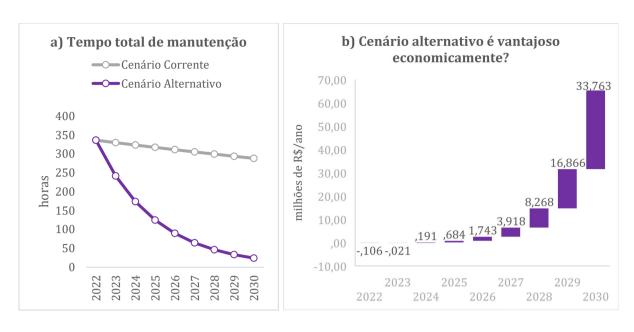


Figura 10: Comparação entre cenários os cenários de atuação Fonte: Elaboração própria.

5. Considerações Finais

Este Texto de Discussão forneceu uma abordagem sobre os riscos e as responsabilidades associados à operação da infraestrutura de recarga rápida no Brasil. Como visto, essa operação necessita de um plano de manutenção preventiva e assistência corretiva para o pleno funcionamento das estações e dos serviços oferecidos aos clientes. Mais do que isso, é preciso também segurar o negócio e a sociedade civil dos riscos inerentes à atividade, protegendo o empreendimento de infortúnios.

Neste sentido, o presente texto disponibilizou duas alternativas para a utilização de seguro e de manutenção para a rede de eletropostos, ponderando prós, contras e custos. Ademais, o exercício analítico proposto permitiu relacionar a evolução do mercado de VEs, a expansão da rede de recarga rápida, os indicadores de manutenção da rede e o peso dos serviços de assistência no faturamento do negócio.

O resultado principal da análise indicou que, apesar de, no curto prazo, ser interessante do ponto de vista econômico trabalhar com um sistema apenas corretivo, no longo prazo essa abordagem é inviável. O aumento da utilização da rede atrelado ao envelhecimento dos equipamentos leva ao crescimento do número de paradas, tornando a manutenção corretiva mais frequente. Assim, utilizar os serviços de manutenção preventiva torna a operação e os custos mais previsíveis, facilitando a rotina tanto dos usuários quanto dos operadores da rede.

Por fim, ainda há uma longa trajetória de amadurecimento das condições aqui levantadas e do próprio mercado de infraestrutura de recarga rápida no Brasil. Neste aspecto, a metodologia ora oferecida permite a atualização dessas condições, contribuindo, assim, para trabalhos futuros sobre o tema.

Referências Bibliográficas

Batteriesnews. (2022). 100 vehicles catch fire in Delhi's electric vehicle charging station – *India*. Disponível em: https://batteriesnews.com/100-vehicles-catch-fire-delhis-electric-vehicle-charging-station-india.

Berredo, L. (2022). *Carros a gasolina têm dez vezes mais chances de pegar fogo do que os elétricos, diz estudo*. Disponível em: https://br.vida-estilo.yahoo.com/carrosgasolina-t%C3%AAm-dez-vezes-015705271.html.

Bibra, E. M.; Connelly, E.; Gorner, M.; Lowans, C.; Paoli, L.; Tattini, J.; Teter, J. (2021). *Global EV Outlook* 2021: *Accelerating ambitions despite the pandemic*.

Bodine, R. (2022). *Gas vs. electric car fires* [2022 Findings] | AutoinsuranceEZ.com. Disponível em: https://www.autoinsuranceez.com/gas-vs-electric-car-fires.

Booth, D. (2022). *Motor mouth: How many EV charging stations will we really need?* | *Driving*. Disponível em: https://driving.ca/column/motor-mouth/motor-mouth-how-many-ev-charging-stations-will-we-really-need.

Caldwell, T. (2022). *The five pillars of EV charging station maintenance and management*. Disponível em: https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/07/29/the-five-pillars-of-ev-charging-station-maintenance-and-management/?sh=654b98c731fa.

CARB. (2022). Electric vehicle supply equipment standards technology review.

Nelder, C.; Rogers, E. (n.d.). *Reducing EV charging infrastructure costs suggested citation*. Retrieved September 20, 2022, RMI. Disponível em: https://rmi.org/ev-charging-costs.

Correa, S. (2021). *Guia - 10 indicadores de manutenção*. Disponível em: https://www.produttivo.com.br/blog/indicadores-manutecao.

Edmondson, J. (2022). *EV Fires: Less common but more problematic?* | *IDTechEx Research Article*. Disponível em: https://www.idtechex.com/en/research-article/ev-fires-less-common-but-more-problematic/25749.

IEA, International Energy Agency (2022). *Global EV Outlook* 2022 *Securing supplies for an electric future*. Disponível em: www.iea.org/t&c.

EV Fire Safe. (2022). 04.6 Risks - EV fire + charging | EV fire safe. Disponível em: https://www.evfiresafe.com/risks-ev-fire-charging.

ICCT, International Council on Clean Transportation. (2021). *Charging up America:*Assessing the growing need for U.S. charging infrastructure through 2030. Disponível em: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/12/charging-up-america-jul2021.pdf

IEA, International Energy Agency. (2020). *Ratio of public chargers per EV stock by country,* 2020 – *Charts – Data & Statistics*. Disponível em: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/ratio-of-public-chargers-per-ev-stock-by-country-2020.

IER, Institute for Energy Research. (2022). *Electric vehicle chargers have a maintenance problem*. Disponível em:

https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/electric-vehicle-chargers-have-a-maintenance-problem.

Jabbari, P.; MacKenzie, D. (2017). EV everywhere or EV anytime? Co-locating multiple DC fast chargers to improve both operator cost and access reliability.

Jungers, B.; Hitchcock, J.; Minor, L. (2022). *Building your EV charger asset management plan*. Disponível em: https://www.esource.com/436211hldn/building-your-ev-charger-asset-management-plan.

Lorinc, J. (2022). *Canadian drivers ask: who is responsible for EV charger reliability?* Disponível em: https://electricautonomy.ca/2022/10/03/ev-charger-reliability-responsibility-canada.

Maddox, J. (2015). *Shocked! The dangers of electric vehicle charging stations* | *PropertyCasualty360*. Disponível em:

https://www.propertycasualty360.com/2015/07/08/shocked-the-dangers-of-electric-vehicle-charging-s.

Morelli, R. (2022). *Carros elétricos pegam fogo após furação e causam alerta*. Disponível em: https://canalve.com.br/carros-eletricos-pegam-fogo-apos-furação-e-causam-alerta.

MSamlin (2021). 5 common risks for electric vehicle users at charging stations - and how to reduce them. Disponível em:

https://www.msamlin.com/en/markets/Allthenews/CommonRisksForElectric.html.

Neocharge (2022). *Frota de carros elétricos no Brasil* | *NeoCharge*. Disponível em: https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil.

Pettigrew, S. (2023). *Strategies for setting a national electric vehicle charger standard: Relevant factors and the case of Chile.* Disponível em:

https://www.mit.edu/~lijing/documents/papers/li_evcompatibility.pdf.

Plug In America. (2022). *The expanding EV market observations in a year of growth*. Disponível em: https://pluginamerica.org/about-us/electric-vehicle-survey/.

PNME. (2022). *Mercado de carros elétricos no Brasil será de 180 mil unidades/ano em 2030*. https://www.pnme.org.br/clipping/mercado-de-carros-eletricos-no-brasil-sera-de-180-mil-unidades-ano-em-2030.

Rempel, D.; Cullen, C.; Matteson Bryan, M.; Vianna Cezar, G. (2022). *Reliability of EV direct current fast chargers reliability of open public electric vehicle direct current fast chargers*.

Resiliant (2022). *Considering electric vehicle charging risks* | *Plant Engineering*. Disponível em: https://www.plantengineering.com/articles/considering-electric-vehicle-charging-risks.

Riley, T. (2022). *Special Report: Is 99% EV charger reliability possible?* Disponível em: https://www.fastcharge.email/p/is-charger-reliability-possible.

The EV charging industry has a maintenance problem. Jim Motavalli (n.d.). Retrieved August 30, 2022. Disponível em:

https://www.autoweek.com/news/a40576648/ev-charger-maintenance-problem.

U.S. Departament of Energy. (2022). *Alternative fuels data center: Charging infrastructure operation and maintenance*. Disponível em:

https://afdc.energy.gov/fuels/electricity_infrastructure_maintenance_and_operation.html

Voelcker, J. (2012). *Reliability of electric-car charging networks varies wildly, study says*. Disponível em: https://www.greencarreports.com/news/1076151_reliability-of-electric-car-charging-networks-varies-wildly-study-says.

Weaver, P. (2007). *Risk management and complexity theory risk & uncertainty*. Mosaicprojects, pp 1–10. Disponível em: http://www.mosaicprojects.com.au.

Zurich. (2022). *Risk insight: Electric vehicle charging*. Disponível em: https://www.zurich.co.uk/news-and-insight/risk-insight-electric-vehicle-charging,



Grupo de Estudos do Setor elétrico Gesel

Toda a produção acadêmica e científica do GESEL está disponível no site do Grupo, que também mantém uma intensa relação com o setor através das redes sociais Facebook e Twitter.

Destaca-se ainda a publicação diária do IFE - Informativo Eletrônico do Setor Elétrico, editado deste 1998 e distribuído para mais de 10.000 usuários, onde são apresentados resumos das principais informações, estudos e dados sobre o setor elétrico do Brasil e exterior, podendo ser feita inscrição gratuita em http://cadastro-ife.gesel.ie.ufrj.br

GESEL – Destacado think tank do setor elétrico brasileiro, fundado em 1997, desenvolve estudos buscando contribuir com o aperfeiçoamento do modelo de estruturação e funcionamento do Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Além das pesquisas, artigos acadêmicos, relatórios técnicos e livros – em grande parte associados a projetos realizados no âmbito do Programa de P&D da Aneel – ministra cursos de qualificação para as instituições e agentes do setor e realiza eventos – work shops, seminários, visitas e reuniões técnicas – no Brasil e no exterior. Ao nível acadêmico é responsável pela área de energia elétrica do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia (PPED) do Instituto de Economia da UFRJ

ISBN: 978-65-86614-80-0

SITE: gesel.ie.ufrj.br

LINKEDIN: linkedin.com/company/gesel-grupo-de-estudos-do-

setor-elétrico-ufrj

INSTAGRAM: instagram.com/geselufrj

FACEBOOK: facebook.com/geselufrj

TWITTER: twitter.com/geselufrj



ENDEREÇO:

UFRJ - Instituto de Economia. Campus da Praia Vermelha.

Av. Pasteur 250, sala 226 - Urca. Rio de Janeiro, RJ - Brasil.

CEP: 22290-240