

Análise normativa perante ao impacto de veículos elétricos em redes de distribuição secundária

Fernando Grassi, Cassiano Rech *

* *Grupo de Eletrônica de Potência e controle - GEPOC, Universidade Federal de Santa Maria, RS (e-mail: grassi.enge@gmail.com, rech.cassiano@gmail.com).*

Abstract: Electric vehicles are promising for the expansion of green technologies, being more efficient and less polluting than current combustion vehicles. Some problems related to a higher energy density of batteries still persist, but in the near future this technology will become viable and competitive. Knowing this expansion of the electric vehicle fleet, its impacts must be studied and adequate regulations must exist so that the technology prevails with the minimum impact on the current electrical system. Among the most observed impacts are the increase in demand that a fleet of electric vehicles could cause in the electrical distribution system. On the other hand, this paper aims to evaluate the impact on secondary distribution networks (low voltage level). From a network model, cases of insertion of electric vehicles in different charging modes were simulated, showing that the increase in demand is inevitable, added to high peaks during moments that the system normally faces. Regarding voltage levels, it was observed that electric vehicles may cause an undervoltage that violates the limit established by PRODIST, an impact that will remain if specific parameters are not established in Brazilian electric vehicle standards, these based on IEC.

Resumo: Veículos elétricos são promissores para a expansão das tecnologias verdes, sendo mais eficientes e menos poluentes que os atuais veículos a combustão. Alguns problemas relacionados a uma maior densidade de energia das baterias ainda persistem, mas em um futuro próximo essa tecnologia se tornará viável e competitiva. Sabendo dessa expansão da frota de veículos elétricos, seus impactos devem ser estudados e normativas adequadas devem existir para que a tecnologia prevaleça com o mínimo de impacto ao atual sistema elétrico. Dentre os impactos mais observados estão o aumento na demanda que uma frota de veículos elétricos poderia causar no sistema elétrico de distribuição. Por outro lado, este trabalho busca avaliar os impactos em redes de distribuição secundária (baixa tensão). A partir de um modelo de rede, foram simulados casos de inserção de veículos elétricos em diferentes modos de carga, constatando-se que o aumento da demanda é inevitável, somado a altos picos durante momentos que normalmente o sistema já enfrenta. Em relação aos níveis de tensão, observou-se que os veículos elétricos podem causar subtensões que violam os limites estabelecidos pelo PRODIST, impacto que permanecerá se não forem estabelecidos parâmetros específicos nas normas brasileiras de veículos elétricos, essas baseadas na IEC.

Keywords: Electric vehicles; Grid impact; Demand; Undervoltage; Standardization.

Palavras-chaves: Veículos elétricos; Impacto na rede; Demanda; Subtensão; Regulamentação.

1. INTRODUÇÃO

Como os gases de efeito estufa estão diretamente relacionados ao aumento de temperatura no planeta, diversos esforços mundiais vêm sendo feitos, envolvendo o maior número possível de países na causa. Um dos tratados que entrou em vigor em 2016, como descreve Dröge (2016), foi o Acordo do Clima de Paris, no qual o Brasil se comprometeu a reduzir 37% das emissões de gases de efeito estufa até 2025, em relação a 2005, e 43% até 2030 em relação ao mesmo ano. No Brasil, em 2016, 423,4 milhões de toneladas de CO₂ foram emitidas pelo setor de energia (incluindo produção e consumo de combustíveis e energia elétrica), dos quais 48,2% (204 milhões de toneladas) foram

providos do setor de transportes. O setor de geração de energia elétrica no Brasil possui uma alta contribuição de fontes hídricas (66% em 2016), apresentando pouca dependência da queima de combustíveis fósseis para este propósito (17% da eletricidade produzida em 2016 foi proveniente de termelétricas) (Observatório do Clima, 2018).

Com a escassez de petróleo e os problemas de aquecimento global, muitos olhos passaram a se voltar para um substituto para os veículos tradicionais a combustão. Os veículos elétricos (VEs), vêm ganhando destaque pela grande vantagem na economia de energia e redução nas emissões de gases de efeito estufa (Yan et al., 2014).

Há alguns anos, como destaca Masoum et al. (2010), diversas companhias de automóveis vêm introduzindo linhas de montagem específicas para veículos elétricos. O que salienta que a tecnologia está se tornando cada vez mais difundida e as montadoras estão se esforçando para se manterem competitivas neste mercado. Apesar de promissores, os veículos elétricos ainda estão com preços elevados de compra, se comparados a modelos semelhantes a combustão, sendo papel dos governos auxiliarem a tecnologia a se expandir, por meio de incentivos financeiros ou de qualidade de vida que compensem a opção pelos veículos elétricos, tanto aos compradores quanto montadoras.

Um relatório da Agência Internacional de Energia IEA (2020), destaca que a Noruega possui um dos mais impressionantes programas de incentivo, planejando reduzir a zero as vendas de veículos não-elétricos até 2025, tendo em 2019 atingido 56% de todas as vendas de veículos composta por modelos puramente elétricos e híbridos, seguido pela Islândia com 22%, o que contribui para que o número de veículos elétricos em circulação aumente exponencialmente, totalizando 7,2 milhões em 2019, como mostra a Figura 1. Ainda segundo a IEA (2020), as maiores porcentagens de veículos elétricos em circulação em 2019 foram a Noruega (13%), Islândia (4,4%), Holanda (2,7%), Suécia (2,0%) e China (1,6%), sendo a própria China a responsável pelo maior número de vendas e veículos elétricos em circulação. A isenção de alguns impostos de compra, pedágios, entre outros incentivos favorecem que alguns países se destaquem mais nas vendas de EVs.

O Brasil não é um país que se destaca quando se trata de incentivos aos veículos elétricos, os programas que estão em vigor baseiam-se na isenção de impostos (0%) de importação aos veículos puramente elétricos com autonomia maior que 80 km, já para os modelos híbridos este valor varia entre 0 e 7%, de acordo com o peso e autonomia do modelo (iG, 2018). A falta de incentivos governamentais contribui para que montadoras não se interessem em implantar metas de vendas de veículos elétricos no país, e ainda poucos modelos sejam importados, devido às altas taxas de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), onde os puramente elétricos pagam 25% de IPI, e os modelos híbridos variando de 7% a 20% com o Rota 2030, uma pequena redução em comparação com o programa anterior, o Inovar Auto, que era de 7% a 25%) (Agência Senado, 2018). Se tratando de incentivos para setores privados, alguns se destacam, como os programas de incentivo à mobilidade elétrica pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), além de ter estabelecido a Resolução Normativa

n 819/2018 (ANEEL, 2018), que incentiva tanto a própria concessionária quanto seus clientes a comercializar a energia elétrica com terceiros por meio de estações de recarga para os veículos elétricos, algo que tende substancialmente a aumentar o número de estações de recarga pelo país.

2. VEÍCULOS ELÉTRICOS

Apesar de ser uma tecnologia por muitos considerada inovadora, é importante salientar que a história dos veículos elétricos não é nada recente, como destaca Baran (2011), tendo os primeiros protótipos surgido no século XIX. Desde então diversos esforços foram feitos para viabilizar a utilização dos veículos elétricos, mas um dos maiores desafios sempre foi a autonomia das baterias, que com o sucesso do petróleo nas décadas de 70 e 80, deixou os veículos elétricos de lado, sendo amplamente substituídos pelos veículos a combustão (Situ, 2009).

As primeiras baterias recarregáveis, chamadas de células secundárias, evoluíram através dos anos através das de chumbo ácido, níquel-cádmio e hidreto metálico de níquel (NiMH), até chegarem nas baterias de lítio-íon (Li-ion) em 1977 (Whittingham, 2012). Baterias de Li-ion superam suas antecessoras em densidade de energia e vida útil, sendo por esse motivo estudada e aprimorada, sendo uma das baterias mais utilizadas atualmente (Assat and Tarascon, 2018).

Recarregar um veículo elétrico engloba uma série de fatores, como o local onde o mesmo é recarregado, podendo ser na própria residência ou em locais públicos, o nível de potência dos carregadores, os equipamentos necessários para que a recarga ocorra de forma segura, os tipos de conectores dependendo do nível de carga, etc. Desta forma, é fundamental que existam normas que abranjam todas essas questões, de forma a globalizar a forma com que os veículos elétricos sejam recarregados, ou seja, que durante qualquer percurso ou local, haja a possibilidade de se recarregar a bateria do veículo de forma segura e regulamentada.

De fábrica, os veículos elétricos e híbridos *plug-in* possuem um carregador de baterias interno, denominado de carregador *on-board*, sendo fornecido o equipamento e conector para que o veículo seja recarregado em uma tomada comum, da residência por exemplo. Este é um método lento e normalmente é viável se o veículo for recarregado durante a madrugada, mas se uma recarga mais rápida é necessária, algumas opções de carga com maior potência são necessárias, englobando o equipamento de conexão entre a rede e o veículo, chamado de equipamento de fornecimento de energia ao veículo elétrico (EVSE).

O sucesso, expansão e correto funcionamento dos veículos elétricos depende diretamente do estabelecimento de normas e padrões internacionais relacionados a equipamentos, infraestrutura adequada, códigos de recarga e *softwares* públicos e privados de interfaces amigáveis. Como se trata de uma tecnologia relativamente em ascendência, e cada região global busca seus certificados e padrões, não existe apenas uma norma para cada assunto específico. Frente ao estabelecimento de normas, o Brasil faz parte dos comitês da *International Electromechanical Commission* (IEC), e fica claro que para os padrões de recarga de EVs, o Brasil

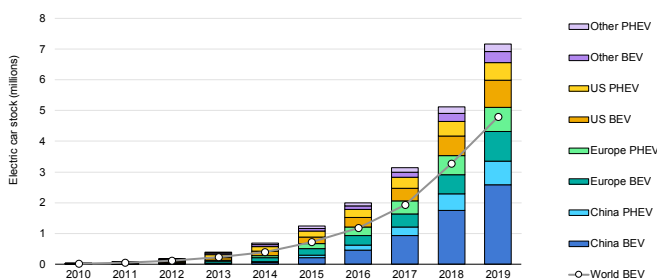


Figura 1. Total de veículos elétricos no mundo de 2010-2019 (IEA, 2020).

adota as mesmas medidas da norma Internacional. Os modos de carga, assim chamados na NBR IEC 61851-1:2013 (ABNT, 2013), definem em qual padrão o EV será recarregado, descritos na Tabela 1.

Ainda se tratando de normas internacionais, uma norma também muito referenciada é a SAE J1772:2017 (SAE, 2017), a qual tem aplicabilidade na América do norte, e atende ao mesmo protocolo de recarga dos Modos 2 e Modo 3 da IEC, mas com variação no conjunto conector/soquete, enquanto que a SAE J1772 atende ao conjunto conector/soquete Tipo 1 a IEC ao Tipo 2. A principal vantagem do Tipo 2 da IEC está a possibilidade de ser realizada recarga em redes trifásicas. Na norma SAE J1772, os níveis de carga são divididos em Nível 1 e Nível 2, sendo CA ou CC, descritos na Tabela 2.

3. IMPACTOS DOS VES

Frente ao inevitável crescimento da frota de veículos elétricos, alguns pontos precisam ser melhor explorados, pois nem toda tecnologia inovadora surge sem causar algum tipo de impacto negativo. No caso dos veículos elétricos, o impacto negativo mais imediato tende a ser o aumento de demanda que podem implicar no sistema elétrico de

potência, promovido pelo aumento de consumo de energia elétrica em residências, estabelecimentos públicos, postos de recarga espalhados em lugares estratégicos, etc (Richardson et al., 2010; Bunga et al., 2014; e W. G. Morsi, 2017; Neagoe-Ştefana et al., 2014). Sendo ideal, de um ponto de vista inicial, que esses veículos sejam recarregados durante baixa demanda residencial, durante a noite (Clement-Nyns et al., 2010).

Devido a necessidade de recarga dos veículos elétricos, a introdução deles traz consigo questões relacionadas a sua interação com o sistema de potência. Conforme veículos elétricos vão sendo incluídos na frota, a demanda por potência aumentará proporcionalmente (Bunsen et al., 2018). Veículos que antes eram abastecidos em postos de combustível, passam a ser substituídos por modelos que utilizam a rede elétrica como fonte de abastecimento de energia, o que inevitavelmente traz um aumento da demanda por eletricidade. É de fundamental importância avaliar os impactos que a mobilidade elétrica pode trazer para a infraestrutura do sistema elétrico de potência, tanto a nível de geração, quanto transmissão e distribuição de energia.

Tabela 1. Descrição dos modos de carga para veículos elétricos de acordo com a ABNT NBR IEC 61851-1:2013 (ABNT, 2013) .

Modo 1	<ul style="list-style-type: none"> • Conexão direta com a rede, sem função piloto ou proteções auxiliares; • Carregador <i>on-board</i>; • Máximo 16A, 250/480V (monofásico / trifásico); • <i>Proibido e descontinuado por muitos países e montadoras.</i>
Modo 2	<ul style="list-style-type: none"> • Conexão a rede por meio de um EVSE com conectores, com função piloto e proteções contra choque elétrico (IC-CPD); • Carregador <i>on-board</i>; • Máximo 32A, 250/480V (monofásico / trifásico), mas normalmente limitado pelo ponto de conexão; • Tipicamente limitado em 10A (2,4kW).
Modo 3	<ul style="list-style-type: none"> • Conexão permanente com a rede por meio de um EVSE, com função piloto e proteções contra choque elétrico; • Requer uma caixa montada na parede ou similares, para entregar mais potência e com as proteções e circuitos de comando e controle necessários; • Carregador <i>on-board</i>; • Máximo 32/63A, 250/480V (monofásico / trifásico); • Valores típicos de 3,7/7kW para conexões monofásicas e 11/22kW e até 43kW para conexões trifásicas.
Modo 4	<ul style="list-style-type: none"> • Popularmente referido como carga rápida CC (<i>DC Fast Charge</i>), é o modo de recarga por meio de uma rede CC; • A energia é transferida diretamente da estação de recarga para a bateria do veículo, por meio de um carregador <i>off-board</i>; • Valores típicos estende-se até 50kW (CHAdeMO), 120kW (Tesla), 150kW (CCS), e futuramente 350kW e 400kW.

Tabela 2. Descrição dos níveis de carga para veículos elétricos de acordo com a SAE J1772:2017 (SAE, 2017) .

Método de recarga	Tensão nominal (V)	Máxima corrente (A)
CA Nível 1	120 V CA, monofásico	12/16A
CA Nível 2	208 a 240 V CA, monofásico	$\leq 80A$
CC Nível 1	50-1000V CC	80A
CC Nível 2	50-1000V CC	400A

Um ponto destacado por Muratori (2018), é que além do aumento da demanda, uma modificação no formato com que a demanda se apresenta durante o dia, com a introdução dos veículos elétricos, esta pode passar a apresentar picos de consumo em diferentes horários, até mesmo coincidindo com o atual pico de consumo de diferentes classes de consumidores.

Também de acordo com Muratori (2018), a penetração de veículos elétricos na frota mudará o cenário de demanda atual, principalmente pela questão dos veículos serem recarregados nas residências, fato também é destacado pela IEA IEA (2020), a qual destaca que em torno de 80% dos sistemas de recarga no mundo são lentos, usados em residências. Isso aumentará as curvas de demanda e exigindo uma maior complexidade nos processos de geração, transmissão e distribuição de energia. Por outro lado, também podem resultar em impactos positivos, pois as baterias dos veículos elétricos podem ser vistas como uma tecnologia de armazenamento distribuída, como cargas flexíveis. Recarga coordenada e tecnologias V2G (*vehicle-to-grid*) prometem auxiliar a integração de energias renováveis ao sistema de potência, assim como regular a operação do mesmo. Com o objetivo de demonstrar o impacto dos veículos elétricos na demanda e na rede, Muratori (2018) utiliza dados de demanda residencial, obtidos em trabalhos anteriores (Muratori et al., 2012, 2013b), assim como uma estimativa de consumo de energia pelo sistema de transportes nos Estados Unidos (Muratori et al., 2013a), a qual baseia-se em dados reais de condução do mundo real, padrões de atividade e os recursos do veículo para simular perfis de carregamento de VEs em residências. Dados que aqui serão utilizados, considerando um dia típico de inverno no hemisfério norte.

Para avaliar os impactos na demanda e tensão em um alimentador de distribuição secundária (220/380 V), foi utilizado o modelo de rede fornecido pela Electricity North West (2015), o qual consiste em um modelo Europeu, com 55 residências, muito semelhante com o sistema elétrico

brasileiro, porém em 50 Hz. O modelo pode ser visualizado na Figura 2. O sistema foi simulado no *software* OpenDSS, com residências conectadas de forma monofásica, com os mesmos modelos de cargas e VEs da análise anterior da curva de demanda. Desta forma, pode-se avaliar os níveis de tensão comparando-os com os limites estabelecidos pelo Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), com tensão nominal de 220/380 V.

3.1 Impacto na curva de demanda

Para a simulação da curva de demanda do alimentador foram consideradas 55 residências e 55 veículos elétricos (um em cada residência). Foram utilizados os carregadores *on-board* para Modos de carga 2 e 3, respectivamente com potências de 2,2 kW e 7,0 kW. A Figura 3 que representa a curva de recarga dos VEs em Modo 2 e a Figura 4 representa a curva de recarga dos VEs em Modo 3. Neste cenário, os veículos não foram considerados recarregando todos simultaneamente, mas sim de maneira aleatória como ocorre no dia a dia. A maior concentração de veículos elétricos recarregando simultaneamente ocorreu para o Modo 2, com 15 dos 55 VEs. Para o Modo 3, esse número foi de 8 VEs. Importante ressaltar que como os VEs em Modo 3 recarregam com uma potência mais alta, é natural que ocorra um menor número de VEs recarregando simultaneamente, visto que a bateria demora menos tempo para ser recarregada e essa probabilidade de simultaneidade diminui.

Os resultados da Figura 5 mostram a curva de demanda residencial, a qual é apresentada em azul, e a demanda de com a inclusão dos sistemas de recarga em vermelho. Os resultados demonstram que, para os VEs recarregando em Modo 2, há uma dispersão maior da potência incorporada pelos VEs, trazendo um aumento na demanda média, mas não trazendo tantos impactos negativos. Deve-se ressaltar, no entanto, que no Modo 3 a potência assumiu picos maiores em horários que já possuíam uma demanda mais alta, deixando claro que os VEs causam um impacto significativo na curva de demanda, e esta pode trazer problemas se ultrapassar a potência nominal do transformador que alimenta essas cargas, o que também foi observado por Muratori (2018).

3.2 Impacto na tensão

Uma das principais causas de apagões na rede de distribuição é ocasionada por instabilidades de tensão, quando o sistema de potência trabalha no seu limite de capacidade trabalhando com altas demandas de carga. Instabilidades que podem ser também causadas por diferentes características de diferentes cargas conectadas ao sistema elétrico (Habib et al., 2018; Taylor et al., 1994). Em Broy A. e Sourkounis C. (2011) é observado que para uma alta penetração de VEs em conexão com a rede pode levar a quedas de tensão acima dos limites toleráveis por normas. Este trabalho busca analisar o comportamento da tensão em alimentadores de baixa tensão e comparar com os limites estabelecidos pelas normas brasileiras.

Como pode-se verificar na Figura 6, a tensão assume um perfil oposto à demanda, visto que maiores correntes

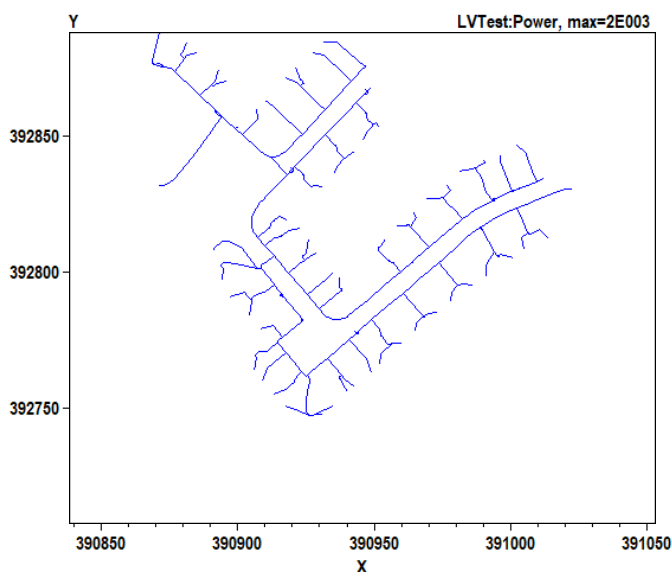


Figura 2. Modelo de rede de distribuição secundária utilizado para a simulação do impacto na tensão.

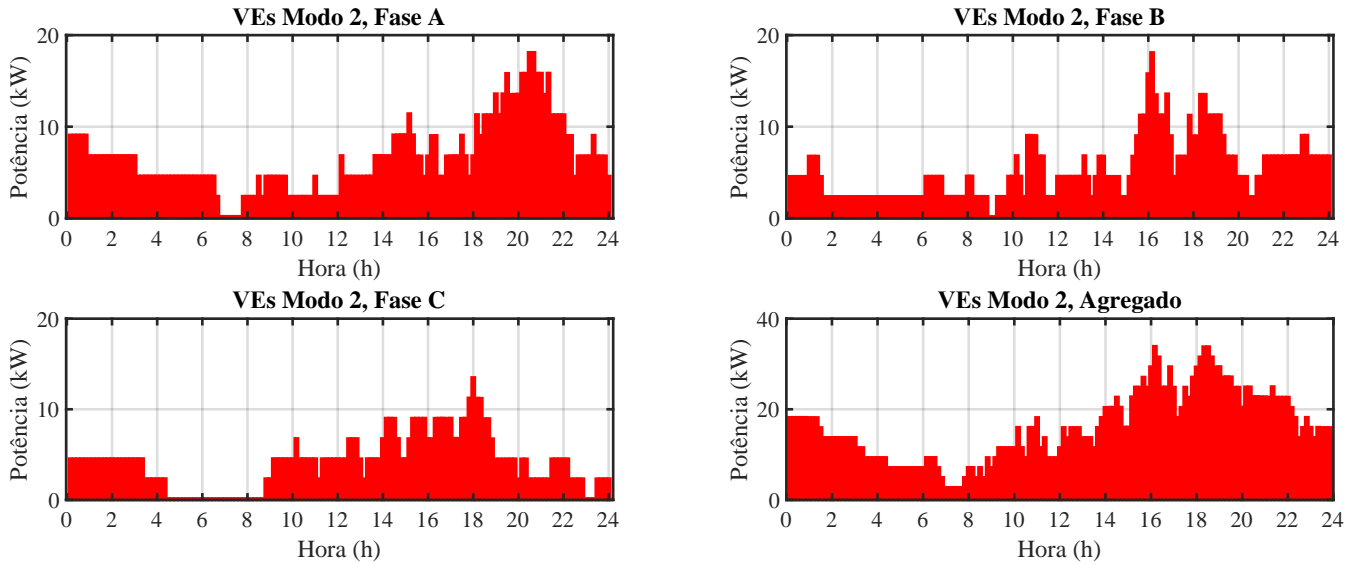


Figura 3. Demanda de VEs em recarga Modo 2 em cada fase do sistema e demanda agregada.

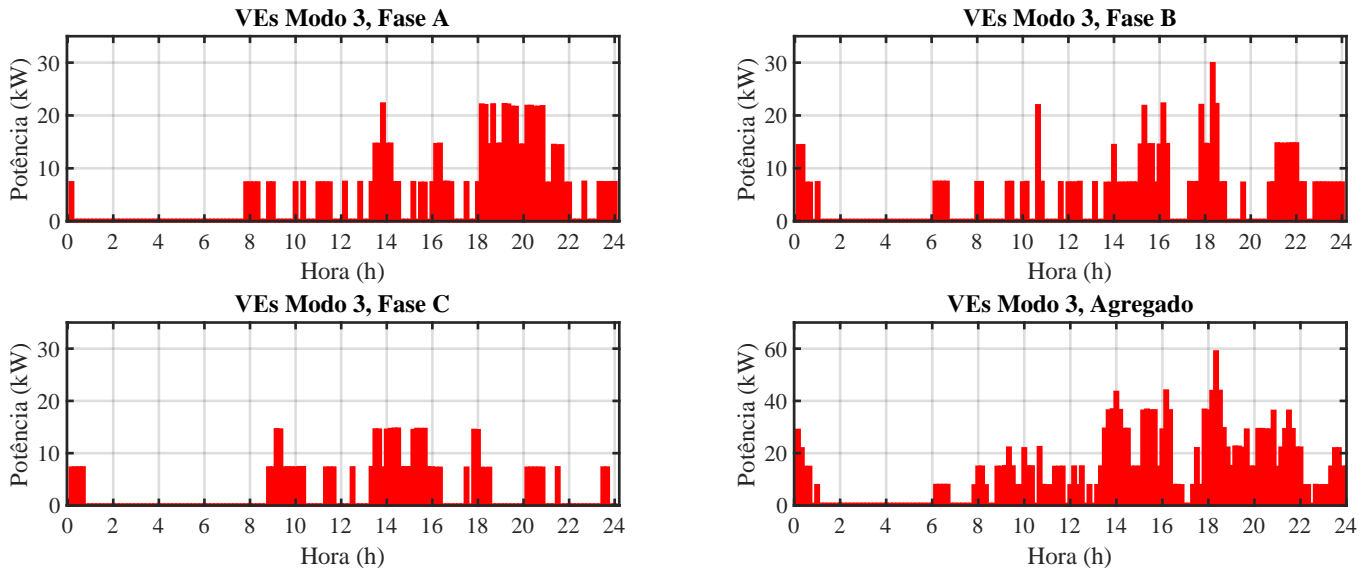


Figura 4. Demanda de VEs em recarga Modo 3 em cada fase do sistema e demanda agregada.

causam maiores quedas de tensão na rede. Assumindo que as quedas de tensão vão se propagando ao longo do alimentador, diversas barras podem apresentar problemas de subtensão que atingem o nível de tensão precária (abaixo de 202 V, representado pela linha vermelha na Figura 6), causando problemas de qualidade de energia. O perfil mais crítico, como esperado foi quando considerado o modo de carga 3, o qual possui potências mais altas e consequentemente maiores quedas de tensão que vão se somando ao longo dos cabos do alimentador, fator que tende a piorar quanto mais distante a carga analisada estiver da subestação. A residência avaliada, juntamente com seu veículo elétrico, está conectada na fase B, e foi a escolhida para demonstrar o efeito da inserção de veículos elétricos na tensão. Mas destaca-se que esses problemas ocorrem em outras barras também.

Ainda de acordo com a Figura 6, verifica-se que a tensão segue um perfil parecido com o da demanda, indicando que os veículos elétricos, quando conectados juntamente com os momentos de pico de demanda, pioram os níveis de tensão. Uma solução para este caso é deslocar as curva de demanda dos VEs para a madrugada, horários que a demanda do alimentador está menor e consequentemente os problemas de violação da tensão possivelmente sejam amenizados.

3.3 Análise normativa

Dentre os índices de qualidade de energia estabelecidos pela ANEEL, a subtensão é um dos índices que pode ser muito afetado com a penetração em massa de veículos elétricos. Fator que não está bem esclarecido nas normas brasileiras, pois o PRODIST (ANEEL, 2018) determina

os limites de tensão precária e crítica, mas as normas de veículos elétricos não seguem essa mesma classificação. A

ABNT NBR IEC 61851-1:2013 (ABNT, 2013) estabelece que o valor nominal da tensão de alimentação em corrente

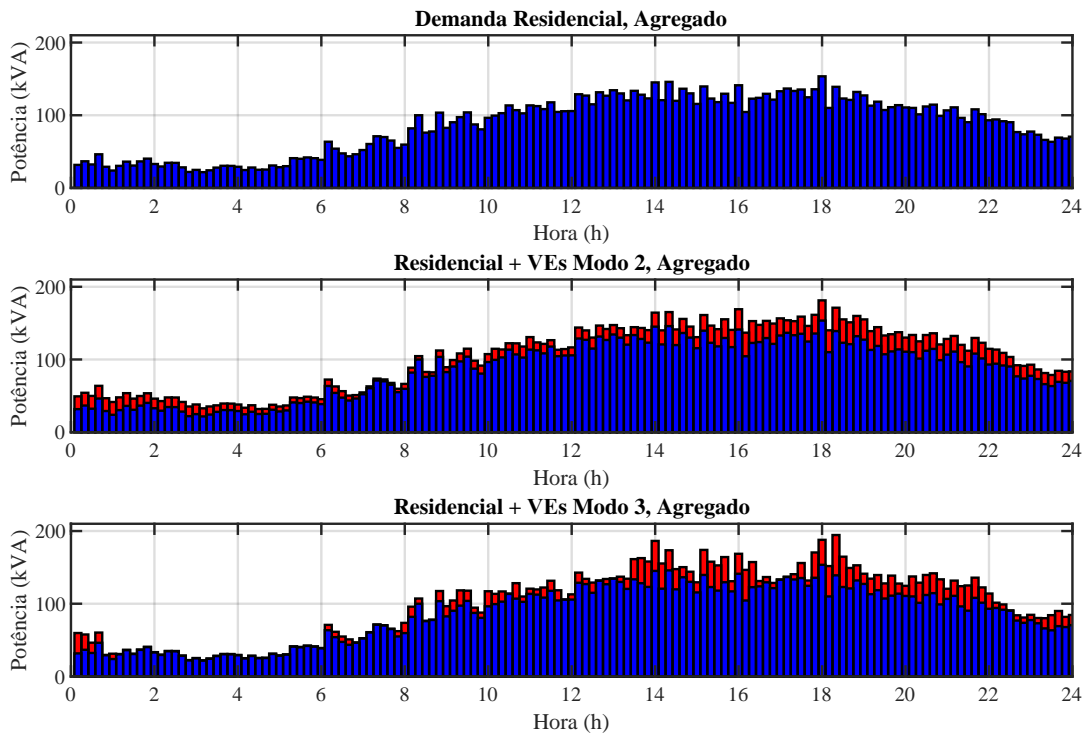


Figura 5. Demanda agregada na subestação.

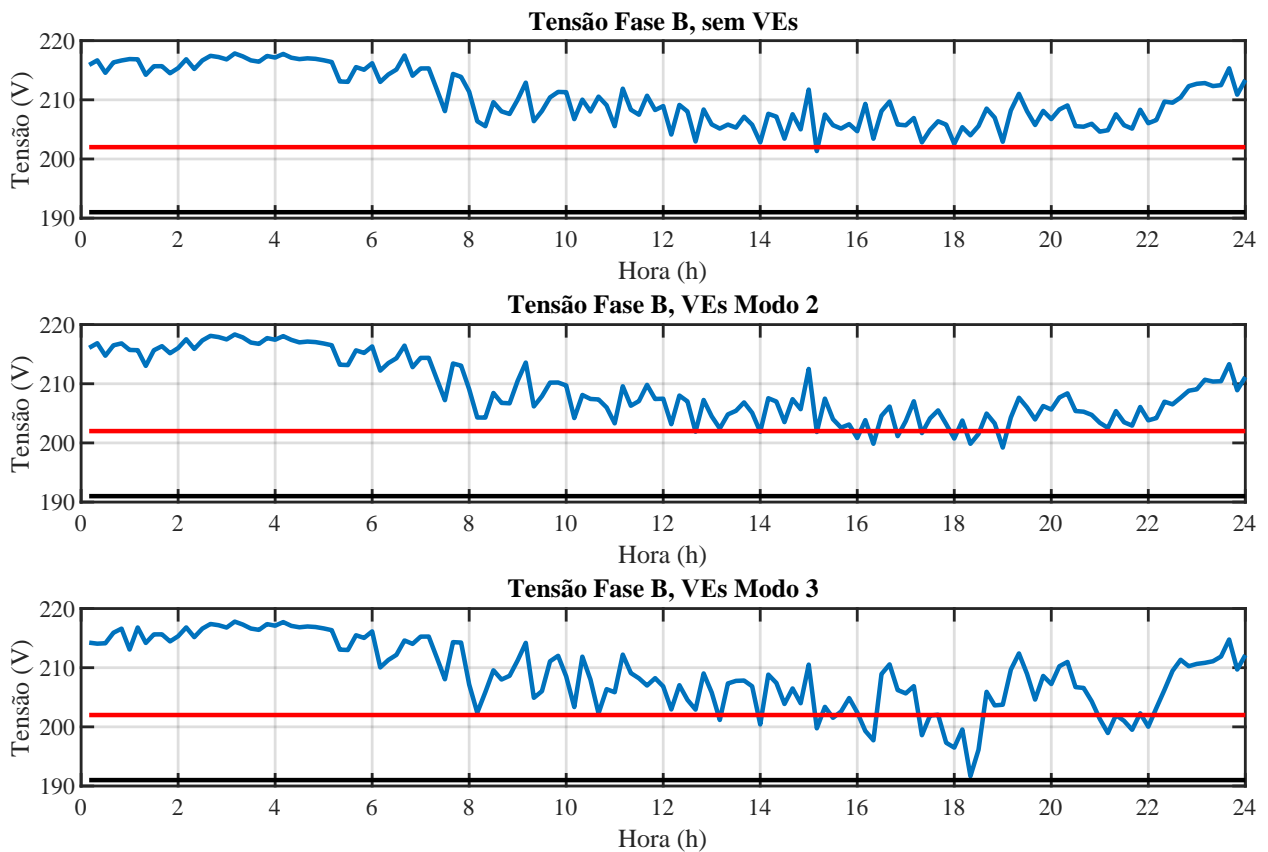


Figura 6. Tensão da fase B na carga mais distante da subestação.

alternada para o equipamento de recarga é de até 1000V, e os equipamentos devem funcionar corretamente com $\pm 10\%$ da tensão nominal. Na IEC 61851-1:2017 (IEC, 2017) esse valor pode ser de até -15%.

Na norma IEC 61851-1:2017, há um adendo que indica que o sinal que a estação de recarga envia ao veículo elétrico, habilita ou não que o veículo esteja conectado, esses valores de tensão nominal variam de +10% e -15%. Ressalta-se que isto está diferente na norma NBR IEC 61851-21:2013 (ABNT, 2013), pois a versão brasileira apresenta os limites recomendados de tensão de operação entre +10% e -10%, a qual está em processo de atualização. Por outro lado o PRODIST (ANEEL, 2018) trata como um problema de qualidade de energia variações de tensão limite de fornecimento de + 5% e -8%.

Dessa forma, a norma brasileira, que segue quase que fielmente a norma internacional da IEC, não está adequada para o sistema elétrico brasileiro, visto que os veículos elétricos podem trazer as tensões a níveis precários e ainda assim continuar conectados, não estando em acordo com o PRODIST (ANEEL, 2018).

Algumas estratégias poderiam ser adotadas pelas concessionárias, como o uso de tarifas horárias para que as curvas de carga dos EVs fossem deslocadas para horários fora da curva de demanda residencial de pico, como é demonstrado por vários autores (Panichtanakom et al., 2018; Rawat and Niazi, 2018; Yan et al., 2014; Gao et al., 2013). Estratégias de tarifas horárias podem ser muito úteis para diminuir as demandas de pico e com isso reduzir os esforços da rede, mas se tratando de níveis de tensão a tarefa não é tão simples, visto neste trabalho que mesmo a inserção de veículos recargando em potência reduzida podem causar problemas de subtensão que ultrapassariam os limites ideais do PRODIST (ANEEL, 2018), além de exigir investimentos em infraestrutura por parte das concessionárias para que esse sistema fosse estabelecido. O que deve ser observado é que poucos estudos tratam dos impactos dos veículos elétricos a nível de baixa tensão, que é a parte do sistema elétrico que é a mais crítica envolvendo o problema de subtensão.

4. CONCLUSÃO

Perante ao crescente número de veículos elétricos na frota de transportes, alguns impactos devem ser levados em consideração, pois um aumento no número de cargas no sistema elétrico será inevitável. Dentre os problemas maiores estão o aumento da demanda, que pode acarretar em sobrecargas nos transformadores e subtensões nos sistemas de distribuição.

Este trabalho foca na análise da demanda agregada na subestação e na tensão em um alimentador de distribuição secundária, que busca evidenciar os problemas que uma frota de EVs pode causar no sistema, sendo o principal fator crítico a subtensão nos pontos de entrega dos consumidores.

Sugere-se aumentar o tape do transformador para que o problema de queda de tensão possa ser amenizado, mas verificando quais impactos de sobretensão isso pode causar. Sugere-se também realizar a análise considerando a operação de alguns veículos em modo V2G (*vehicle-to-grid*), evitando a alteração do tape do transformador e

possibilitando que a rede permaneça dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST (ANEEL, 2018).

Uma das formas de se amenizar esses problemas é a adequação de normas que se comuniquem na questão de limites estabelecidos, como é o caso do Brasil, que possui uma regulamentação diferente em relação aos veículos elétricos e aos índices nominais de fornecimento de tensão. Caso isso não seja ajustado, uma grande frota de veículos elétricos pode acarretar em diversos pontos do sistema com fornecimento em tensão precária, prejudicando os índices de qualidade de energia.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001.

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul (CEEE), por meio do projeto de Pesquisa & Desenvolvimento intitulado “Inserção da Geração Solar Fotovoltaica Urbana Conectada à Rede em Porto Alegre - Parte II”.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2013). ABNT NBR IEC 61851-1. Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos Parte 1: Requisitos gerais.
- Agência Senado (2018). Carro elétrico ainda espera incentivos para crescer no Brasil. URL shorturl1.at/ptCIZ.
- ANEEL (2018). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.
- ANEEL (2018). Resolução normativa n 819 de 19 de junho de 2018. Estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos. URL <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2018819.pdf>.
- Assat, G. and Tarascon, J.M. (2018). Fundamental understanding and practical challenges of anionic redox activity in li-ion batteries. *Nature Energy*, 3(5), 373–386. doi:10.1038/s41560-018-0097-0.
- Baran, Renato e Legey, L.F.L. (2011). Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. *BNDES Setorial, Rio de Janeiro*, n. 33, p. 207-224, mar.
- Broy A. e Sourkounis C. (2011). Influence of charging electric vehicles and on the quality of the distribution grids. In *11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, 1–4. doi:10.1109/EPQU.2011.6128804.
- Bunga, S.K., Eltom, A.H., and Sisworahardjo, N. (2014). Impact of plug-in electric vehicle battery charging on a distribution system. In *2014 IEEE Industry Application Society Annual Meeting*, 1–5. doi:10.1109/IAS.2014.6978420.
- Bunsen, T., Cazzola, P., Gorner, M., Paoli, L., Scheffer, S., Schuitmaker, R., Tattini, J., and Teter, J. (2018). Global EV outlook 2018: Towards cross-modal electrification.
- Clement-Nyns, K., Haesen, E., and Driesen, J. (2010). The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid. *IEEE Transactions on*

- Power Systems*, 25(1), 371–380. doi:10.1109/TPWRS.2009.2036481.
- Dröge, S. (2016). *The Paris Agreement 2015: turning point for the international climate regime*, volume 4/2016.
- e W. G. Morsi, S.M.A. (2017). Impact of fast charging stations on the voltage flicker in the electric power distribution systems. In *2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 1–6. doi:10.1109/EPEC.2017.8286226.
- Electricity Nort West (2015). Low voltage network solutions (lvns).
- Gao, Y., Shen, D., and Lv, M. (2013). Research on TOU price considering electric vehicles orderly charging and discharging. In *2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013)*. Institution of Engineering and Technology. doi:10.1049/cp.2013.1763.
- Guarnieri, M. (2012). Looking back to electric cars. In *2012 Third IEEE History of Electro-technology Conference (HISTELCON)*, 1–6. doi:10.1109/HISTELCON.2012.6487583.
- Habib, S., Khan, M.M., Abbas, F., Sang, L., Shahid, M.U., and Tang, H. (2018). A comprehensive study of implemented international standards, technical challenges, impacts and prospects for electric vehicles. *IEEE Access*, 6, 13866–13890. doi:10.1109/ACCESS.2018.2812303.
- IEA (2020). Global ev outlook 2020: Entering the decade of electric drive?
- IEC (2017). IEC 61851-1:2017. Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements.
- iG (2018). Os 6 carros elétricos e híbridos disponíveis no brasil - home - ig. URL <https://carros.ig.com.br/2018-05-28/carros-eletricos-hibridos.html>.
- Masoum, A.S., Deilami, S., Moses, P.S., and Abu-Siada, A. (2010). Impacts of battery charging rates of plug-in electric vehicle on smart grid distribution systems. In *2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*. IEEE. doi:10.1109/isgteurope.2010.5638981.
- Muratori, M., Marano, V., Sioshansi, R., and Rizzoni, G. (2012). Energy consumption of residential hvac systems: A simple physically-based model. In *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1–8. doi:10.1109/PESGM.2012.6344950.
- Muratori, M. (2018). Impact of uncoordinated plug-in electric vehicle charging on residential power demand. *Nature Energy*, 3. doi:10.1038/s41560-017-0074-z.
- Muratori, M., Moran, M.J., Serra, E., and Rizzoni, G. (2013a). Highly-resolved modeling of personal transportation energy consumption in the united states. *Energy*, 58, 168 – 177. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.055. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213001692>.
- Muratori, M., Roberts, M.C., Sioshansi, R., Marano, V., and Rizzoni, G. (2013b). A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand. *Applied Energy*, 107, 465 – 473. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.057. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191300175X>.
- Neagoe-Ştefana, A.G., Neagoe, A.C., and Mandiş, A.C. (2014). Impact of charging electric vehicles in residential grid on the power losses and voltage plan. In *2014 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, 1–4. doi:10.1109/ISFEE.2014.7050603.
- Nishi, Y. (1996). The development of lithium ion secondary batteries. In *1996 Symposium on VLSI Circuits. Digest of Technical Papers*, 88–89. doi:10.1109/VLSIC.1996.507725.
- Observatório do Clima (2018). Emissões de GEE no Brasil (1970-2016) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris. 19–22.
- Panichtanakom, S., Chalermyanont, K., and Thienmontri, S. (2018). Study of plug-in electric vehicles charging by using load shaving method based on TOU in distribution system: A case study in thailand. In *2018 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*. IEEE. doi:10.1109/ieecon.2018.8712203.
- Rawat, T. and Niazi, K. (2018). Coordinated charging of electric vehicles for reducing operation cost under TOU electricity prices. In *2018 20th National Power Systems Conference (NPSC)*. IEEE. doi:10.1109/npsc.2018.8771729.
- Richardson, P., Flynn, D., and Keane, A. (2010). Impact assessment of varying penetrations of electric vehicles on low voltage distribution systems. In *IEEE PES General Meeting*, 1–6. doi:10.1109/PES.2010.5589940.
- SAE (2017). SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler J1772:2017.
- Situ, L. (2009). Electric propulsion. In *L. Jacovides*, 10–13.
- Taylor, C.W., Balu, N.J., and Maratukulam, D. (1994). *Power system voltage stability*. McGraw-Hill.
- Whittingham, M.S. (2012). History, evolution, and future status of energy storage. *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue), 1518–1534. doi:10.1109/JPROC.2012.2190170.
- Yan, L., Ai, X., Wang, Y., and Zhang, H. (2014). Impacts of electric vehicles on power grid considering time series of TOU. In *2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*. IEEE. doi:10.1109/itec-ap.2014.6940711.