



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GET/32
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XIV

GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET

APLICAÇÃO DA *SMART GRID* NO GERENCIAMENTO DA INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Nathália Holanda Vilhena(*)
Universidade Federal do Pará

Carmina Célia Moura de Moura Carvalho
Universidade Federal do Pará

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho o conceito da rede elétrica inteligente, *Smart Grid* (SG), direcionado para o setor de distribuição de energia elétrica. Dentre as tecnologias abrangidas pela SG serão apresentados o carro elétrico, do tipo *plug-in* (PEV), e a geração distribuída (GD), mostrando de que forma estes estão relacionados no contexto SG. As simulações realizadas neste trabalho terão o intuito de analisar os impactos das diferentes tipologias de carregamento dos carros elétricos do tipo *plug-in* na rede de distribuição, demonstrando como a SG é capaz de gerenciar os mesmos e de que forma a GD poderá minimizar seu impacto na rede.

PALAVRAS-CHAVE

Smart Grid, Carro elétrico, Geração Distribuída.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os sistemas de energia elétrica, em seus pouco mais de cem anos, quase não alteraram sua concepção estrutural, caracterizada por grandes centrais geradoras, normalmente próximas às fontes de energia primária, que produzem a energia elétrica que é transportada para os centros de cargas através do sistema de transmissão, para então ser distribuída aos consumidores.

Com o intuito de mudar este paradigma do setor elétrico, surge o conceito da *Smart Grid* (SG). A SG pode ser definida como uma rede que utiliza sensores, comunicações, habilidades computacionais e controle para integrar e interagir inteligentemente diversas tecnologias, como por exemplo, carros elétricos e geração distribuída, a fim de melhorar a funcionalidade total do sistema de energia elétrica (1).

Este trabalho possui como objetivo apresentar a relação da SG com o carro elétrico do tipo *plug-in* e a geração distribuída.

2.0 - CARRO ELÉTRICO E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO CONTEXTO DA SG

Considera-se como veículo elétrico (EV) aquele em que pelo menos um dos eixos seja acionado por motor elétrico (2). O carro elétrico caracteriza-se, principalmente, pela alta eficiência energética e por estar inserido no conceito Zero Emissões (ZEV). Entende-se por Zero Emissões: zero ruídos, zero emissões de poluentes e zero emissões de gases do efeito estufa (3).

Ressalta-se que as emissões de poluentes, principalmente o CO₂ (dióxido de carbono) associadas ao veículo elétrico estão diretamente ligadas à forma como a eletricidade é produzida, pois se para atender uma determinada

(*) UFPA/ ITEC/ FEE - Rua Augusto Correa, nº1 - Guamá- CEP 66.075-110 Belém, PA – Brasil
Tel: (+55 91) 3201-8350 – Email: nathalia.hvilhena@gmail.com

demanda de veículos elétricos for necessário desmatar grandes áreas, construir ou acionar várias termelétricas, por exemplo, neste caso o emprego deste tipo de veículo não segue o conceito Zero Emissões.

Os diferentes tipos de veículos elétricos podem ser caracterizados em cinco famílias (veículo elétrico a bateria, veículo elétrico híbrido, veículo elétrico de célula a combustível, veículo ligado a rede ou trolebus e veículo elétrico solar). Está sendo introduzida no mercado uma nova geração de EV, veículo elétrico (PEV) e elétrico híbrido (PHEV), *plug-in*, os quais possuem um sistema de alimentação externa das baterias, ou seja, são alimentados a partir de uma tomada elétrica (4).

Nesse contexto é que está a integração dos veículos elétricos com a *Smart Grid*, lançando o conceito *vehicle to grid* (V2G), ou seja, a interação do PEV com a rede elétrica (5). Através dessa interação é possível que as baterias dos veículos possam funcionar como um centro de armazenamento de energia distribuído pela rede, servindo como energia de *backup* e contribuindo para o *peak shaving*, ou corte de pico (significa aliviar a carga do sistema elétrico nas horas de pico, ou seja, cortando parte da carga de pico na curva de demanda diária), ou em caso de algum problema na rede de distribuição de energia, aumentando a confiabilidade da mesma.

Nos últimos anos as baterias sofreram grandes evoluções, resultando em uma redução no seu volume e maior autonomia; sua vida útil prolongou-se e o tempo para recarregá-la diminuiu. As baterias de íons de lítio (LI-ION) apresentam-se na atualidade como a melhor solução tecnológica para serem utilizadas pelos fabricantes de veículos elétricos. O bom desempenho das baterias torna-se um fator importante quando trata-se da estrutura de um EV e da interação deste com a SG, visto que é na bateria que a energia elétrica poderá ser armazenada (6).

Um dos itens essenciais para a implantação do carro elétrico é o investimento em infraestrutura nas redes elétricas, para que a recarga das baterias seja realizada de forma fácil e eficaz. Podem-se citar dois tipos de recarga para veículos elétricos: a recarga rápida, que ocorre em corrente contínua (DC) através de um equipamento ligado à rede, e a recarga lenta, também conhecida como recarga noturna ou recarga normal, que ocorre em corrente alternada (AC) com o carro ligado diretamente em uma tomada específica, onde através de dispositivos de eletrônica de potência contidos na parte interna do veículo ocorre a conversão AC-DC (3). A Tabela 1 mostra algumas parâmetros para os dois tipos de carregamento.

Tabela 1 – Tipos de Carregamento (6)

Valores de Referência			
Carregamento	Corrente	Tensão	Potência
Lento	16 - 32A	230 - 400V AC	3,6 - 7,2 kW
Rápido	Até 200A	500V DC	43 kW

O sistema de carregamento serve como ponte de interação entre o parque de PEV e a SG. Para que seja possível a comercialização de PEV e PHEV em escalas maiores se faz necessário implementar toda uma infraestrutura. Os veículos elétricos deverão ser amplamente introduzidos a partir de uma nova realidade do sistema elétrico, a SG, que irá contemplar as seguintes situações: rede de baixa tensão cada vez mais automática e monitorada, crescente penetração de energias renováveis, aplicações elétricas cada vez mais inteligentes, mercado liberado e flexível, veículo elétrico colaborando com a rede através da recarga inteligente e armazenamento distribuído (7).

A SG também possibilita um novo tipo de carregamento, denominado *Smart Charging*, consistindo de um carregador, que é um *hardware* físico necessário para recarregar o veículo, juntamente com sistemas de *softwares* embarcados, capazes de gerenciar a operação e manutenção das redes de carregadores inteligentes (*Smart Charger*). Este sistema é capaz de controlar cargas remotas e gerenciar o consumo em horários de pico de demanda (8).

A geração distribuída (GD) é outra tecnologia abrangida pela SG. Esta pode ser definida como uma geração de pequeno porte, comparada às grandes centrais elétricas, com localização próxima do seu centro de carga, podendo ser conectada na própria rede de distribuição (9). Na visão da Smart Grid, a GD tem que ser capaz de baixar custos, melhorar confiabilidade, reduzir emissões de poluentes e ampliar as opções de energia (10). Uma das propostas da rede inteligente é a possibilidade de existir um fluxo bidirecional de energia elétrica.

No contexto da SG será possível integrar os veículos elétricos com a geração distribuída, pois ao produzir energia em micro escala, de fontes não firmes (fotovoltaica e eólica, por exemplo), a GD inteligente transforma potencialmente a cidade inteira numa usina, com perdas mínimas de transmissão, utilizando além dos carros também os prédios com capacidade de armazenamento (11).

A GD proporciona vantagens no sistema elétrico, tais como, manter níveis adequados de tensão no sistema, redução de perdas, aumento da confiabilidade e diminuição dos impactos ao meio ambiente (12).

3.0 - MODELAGEM DO CARREGAMENTO DO CARRO ELÉTRICO

Na modelagem do carro elétrico baseada em BRAGA (5), é considerada a forma que o usuário do veículo elétrico opta para carregá-lo, podendo ser o carregamento do tipo lento ou do tipo rápido, onde a potência fornecida pela rede dependerá desta escolha. O tempo de recarga do carro depende da capacidade remanescente na bateria deste e da potência disponível o ponto de ligação. Neste caso assume-se que a bateria usada no carro é a de íons de lítio (Li-Ion). Para o equacionamento do veículo será considerada 90% da carga total da bateria como valor de referência para o cálculo da capacidade máxima disponível. O carro de referência a ser simulado pesa 1000 kg, resultando uma média de consumo entre 80 a 120 Wh/km, dependendo do percurso a ser realizado. Para este estudo foi considerado 120 Wh/km (5).

Para a modelagem do carregamento do carro elétrico foi considerado o percurso percorrido pelo usuário. Dessa forma, quem mora próximo ao centro irá percorrer 60 km e quem mora afastado do centro percorrerá 120 km, refletindo assim a energia necessária para estes deslocamentos, correspondendo a um consumo total de energia de aproximadamente 8kWh e 16kWh, Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do Tempo de Carregamento do PEV por Perfil de Utilização (6)

Tipos de PEV	Potência de Carregamento (kW)	Consumo Total (100%) (kWh)	Tempo de Carregamento
Próximo	3,6	8	2h13min
	43	8	0h11min
Afastado	3,6	16	4h27min
	43	16	0h22min

3.1 Tipos de Carregamento

De acordo com BRAGA (5) são apresentadas três diferentes possibilidades no que se refere ao carregamento dos carros elétricos *plug-in*, estes correspondem: Carregamento não coordenado (*Peak Charging*), Carregamento parcialmente coordenado (*Off-peak Charging*) e Carregamento coordenado (*Smart Charging*).

No *Peak Charging* não há qualquer supervisão por parte de gestão de rede. O usuário tenderá a carregar o seu carro assim que chegar em casa, tipicamente em torno das 18h, depois de um dia de trabalho. Qualquer carregamento lento realizado a partir desse horário ocorre muito próximo ou durante o pico de consumo de energia elétrica diário. Para a distribuição das cargas em função do tipo de carregamento (lento ou rápido) foi feita a divisão do dia em dois períodos: Diurno, entre 9h e 18h e Noturno, das 18h às 9h do dia seguinte. O carregamento rápido ocorre no período Diurno e o carregamento lento no período Noturno. Foi suposto que 20% do total de PEV carrega diariamente segundo o modo rápido e os restantes 80% através do modo lento. Do total dos carros 80% são classificados como Próximos e os demais 20% como Afastados (5).

No *Off-peak Charging* parte-se do pressuposto que existam mecanismo de incentivos para o consumo de energia durante horários caracterizados pelo baixo consumo da mesma, havendo assim uma redução da tarifa de energia para o carregamento lento das 0h às 7h. Este modelo assemelha-se ao anterior, com a diferença de que o carregamento lento, ao invés de começar às 18h, iniciará à meia noite.

No *Smart Charging* assume-se que o comando e supervisão do carregamento são assegurados pelo sistema de gestão da rede inteligente. Dessa forma, para não haver sobrecarga na rede, os carregamentos são divididos no tempo e realizados durante a noite, no horário em que há menor consumo. Os usuários ligam seus carros na tomada e o gestor da rede procura otimizar o processo de carregamento. Ressalta-se que este modelo matemático é um exemplo de como a rede de distribuição poderá gerenciar o carregamento do veículo. Na modelagem do *Smart Charging* o total de veículos que carregam no período noturno (80% dos PEV) foi dividido em quatro grupos iguais. O primeiro grupo inicia às 22h, sendo que cada um dos grupos seguintes começa o carregamento uma hora depois do anterior (5).

No presente trabalho, na modelagem matemática do carregamento do carro elétrico foi considerado que no modo de carregamento lento, pelo fato da conversão de corrente alternada em corrente contínua ocorrer na parte interna do carro utilizando dispositivos eletrônicos que ao serem conectados à rede elétrica injetam harmônicos, conforme mencionado em (13), o veículo irá alterar o fator de potência do sistema. Logo, a partir da taxa de distorção harmônica e através da equação a seguir, é possível estabelecer o valor aproximado do fator de potência no momento do carregamento lento. Como consequência, nesse período haverá consumo de potência reativa.

$$FP = \frac{FD}{\sqrt{1 + THDi^2}}$$

Onde FD é o fator de deslocamento, que pode ser definido como o cosseno do ângulo de defasagem entre as componentes fundamentais da corrente e da tensão de entrada, que de acordo com (13) corresponde a -26° . A taxa de distorção harmônica da corrente (THDi) corresponde a 31,9% (13). Dessa forma, o fator de potência do carregamento lento do PEV considerado neste estudo possui o valor aproximado de 0,856.

4.0 - ANÁLISE DA INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS NA REDE ELÉTRICA

A análise do impacto do carregamento do carro elétrico do tipo *plug-in* na rede elétrica, associado a potência reativa, será feita através de simulações computacionais, utilizando-se o software Matlab® e o pacote Matpower 4.1®, baseadas em (6). Será verificado o impacto das diferentes tipologias de carregamento apresentadas anteriormente (*peak charging*, *off-peak charging* e *smart charging*) na demanda base referenciada em (6), considerando-se o sistema de 16 barras, 13,8 kV (base 10 MVA) apresentado na Figura 1 (14), sendo a barra número 1 a barra de referência e as demais barras de carga (tipo PQ). Os dados deste sistema encontram-se na Tabela 3 e na Tabela 4 (14).

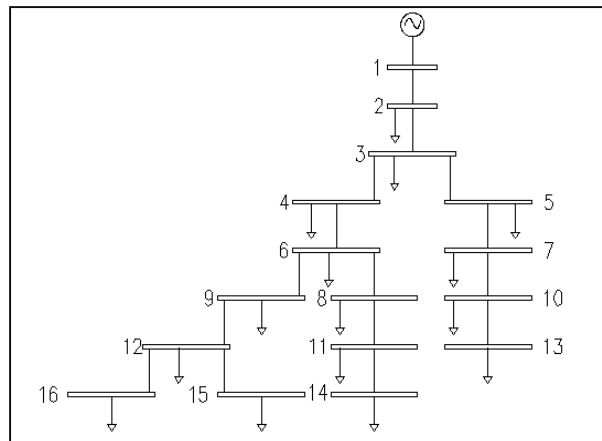


FIGURA 1 – Sistema de 16 Barras (14)

Tabela 3 – Dados do Sistema (14)

Origem	Destino	Resistência (pu)	Reatância (pu)
1	2	0,0140984	0,0081860
2	3	0,0281968	0,0163721
3	4	0,0281968	0,0163721
3	5	0,0140984	0,0081860
4	6	0,0422952	0,0245581
5	7	0,0140984	0,0081860
6	8	0,0422952	0,0245581
6	9	0,0140984	0,0081860
7	10	0,0563936	0,0327442
8	11	0,0281968	0,0163721
9	12	0,0140984	0,0081860
10	13	0,0281968	0,0163721
11	14	0,0422952	0,0245581
12	15	0,0281968	0,0163721
12	16	0,0422952	0,0245581

Tabela 4 – Dados das Cargas do Sistema (14)

Carga	Barra	Potência Ativa (MW)	Potência Reativa (MVar)
1	2	0,25	0,13
2	3	0,22	0,12
3	4	0,30	0,16
4	5	0,28	0,15
5	6	0,41	0,02
6	7	0,35	0,19
7	8	0,25	0,13
8	9	0,39	0,21
9	10	0,30	0,16
10	11	0,29	0,16
11	12	0,63	0,34
12	13	0,50	0,27
13	14	0,25	0,13
14	15	0,37	0,20
15	16	0,40	0,22
TOTAL		5,19	2,59

No carregamento lento, a partir da análise do fator de potência, pode-se dizer que há consumo de potência reativa para os carros que irão carregar neste modo. Logo, sabe-se que durante o período de carregamento lento o carro consome 3,6 kW (Tabela 2) e considerando o fator de potência de 0,856 é possível calcular a potência reativa que este carregamento consome, que é de aproximadamente 2,2 kVar por carro. Ressalta-se que 80% do total de 700 carros realizam o carregamento lento, logo no período noturno existem 560 carros carregando. A partir disto é possível verificar o consumo de potência reativa tanto do caso base quanto dos casos *peak charging*, *off-peak charging* e *smart charging*, como mostra a Figura 2, onde a Figura 2 - (a) representa o caso base, a Figura 2 - (b) o caso *peak charging*, a Figura 2 - (c) o caso *off-peak charging* e a Figura 2 - (d) o caso *smart charging*.

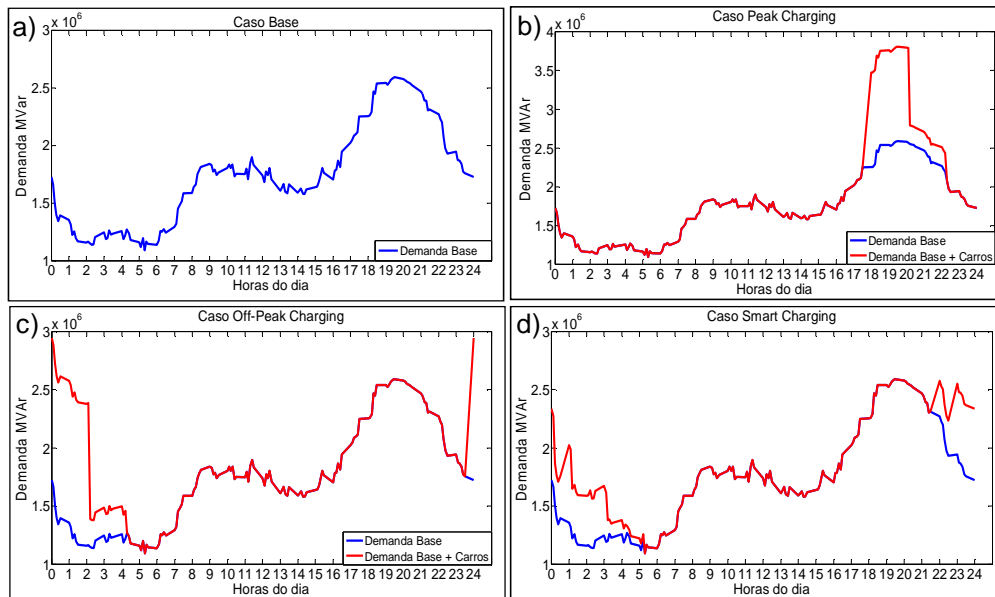


Figura 2 - Análise da Potência Reativa

No caso base o maior consumo de potência reativa ocorre às 19h50min e corresponde a um valor de 2,59 MVar. No *peak charging* ocorre no mesmo horário e corresponde a um valor de 3,81 MVar. O horário de pico é trasladado para 00h no *off-peak charging* com um valor de 2,95, aproximadamente, e no *smart charging* não é alterado em relação ao caso base.

A segunda etapa da simulação consiste em verificar, a partir dos maiores valores registrados de consumo de potência reativa do caso base, e para cada tipologia de carregamento, possíveis violações de tensão nos barramentos do sistema de 16 barras. A barra 1 possui um gerador com capacidade de 15 MW, nas demais barras, do tipo PQ, foram inseridos os 560 carros (no momento do pico apenas 80% dos 700 carros estavam na rede) da seguinte forma aleatória: na barra 2 foram inseridos 10 carros, nas barras 3,4,5,6,7 foram inseridos 20 carros, nas barras 8, 9, 10 foram inseridos 40 carros, nas barras 11, 12, 13 foram inseridos 50 carros e nas barras 14, 15, 16 foram inseridos 60 carros. A partir do fluxo de potência tem-se a análise das tensões de cada situação, Figura 3, destacando que o caso *smart charging* é igual ao caso base, visto que seus valores de pico são iguais.

De acordo com a Resolução Normativa nº 469/2011 da ANEEL, em um sistema de 13,8 kV a tensão mínima aceitável é de 0,93 pu. Nota-se que nos casos *peak charging* e *off-peak charging* diversas barras apresentam tensão menor. Com o intuito de solucionar este problema de queda de tensão e inserir uma tecnologia abrangida no contexto SG, foi implementada a GD nos barramentos 14 e 16, considerando-os barras PV, com capacidade de geração de 2 MW para o caso *peak charging* e 1,5 MW para o caso *off-peak charging*, Figura 4, os dados de tensão para cada caso são apresentados de forma mais detalhada na Tabela 5. É importante ressaltar que a geração contida na barra 1, de 15 MW, é capaz de suprir a carga máxima de ambas as tipologias de carregamento, porém devido a grande distância entre a unidade geradora e os barramentos, a impedância da rede elétrica e o fluxo de potência que circula na mesma, existe a queda de tensão nas barras.

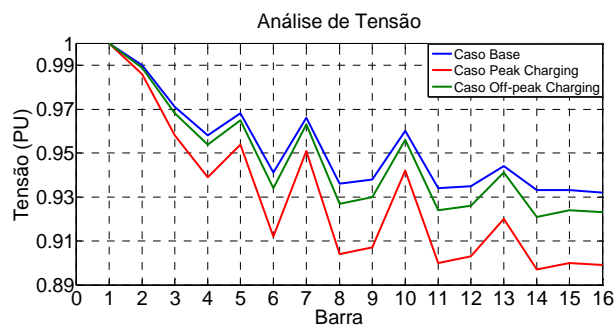


Figura 3 - Análise das Tensões para Cada Caso

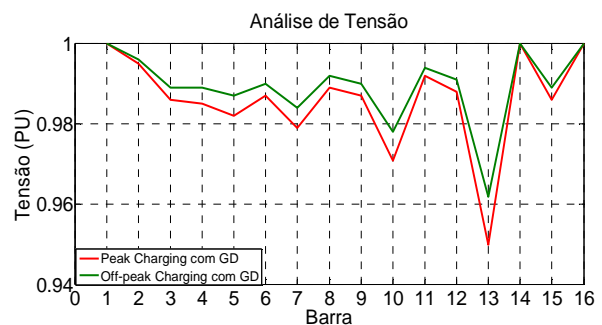


Figura 4 - Análise das Tensões Aplicando GD

Tabela 5 - Tensão nas Barras para Cada Caso

Barra	Caso Base Tensão (pu)	Peak Charging Tensão (pu)	Off-peak Charging Tensão (pu)	Peak Com GD Tensão (pu)	Off-Peak com GD Tensão (pu)
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,990	0,986	0,989	0,995	0,996
3	0,971	0,958	0,968	0,986	0,989
4	0,958	0,939	0,954	0,985	0,989
5	0,968	0,954	0,965	0,982	0,987
6	0,941	0,912	0,934	0,987	0,990
7	0,966	0,951	0,963	0,979	0,984
8	0,936	0,904	0,927	0,989	0,992
9	0,938	0,907	0,930	0,987	0,990
10	0,960	0,942	0,956	0,971	0,978
11	0,934	0,900	0,924	0,992	0,994
12	0,935	0,903	0,926	0,988	0,991
13	0,944	0,920	0,941	0,950	0,962
14	0,933	0,897	0,921	1,000	1,000
15	0,933	0,900	0,924	0,986	0,989
16	0,932	0,899	0,923	1,000	1,000

Através do fluxo de carga foi possível verificar as perdas para os diferentes casos apresentados, constatando que a inserção de GD proporcionou a redução das perdas de potência ativa e reativa, Tabela 6.

Tabela 6 - Perdas para Cada Caso

Casos	P (MW)	Q (MVar)
Base	0,285	0,16
Peak Charging	0,629	0,350
Off-peak Charging	0,358	0,20
Peak com GD	0,154	0,08
Off-peak com GD	0,092	0,05

5.0 - ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

A primeira parte da simulação teve o objetivo de mostrar como os diferentes tipos de carregamento afetam a demanda base de um sistema, especificamente em relação a potência reativa. No caso *peak charging* o aumento do consumo registrado foi significativamente maior em relação ao caso base. O caso *off-peak charging* melhorou a situação no que se refere a não aumentar de forma considerável o maior valor registrado no caso base, trasladando o maior consumo para um horário onde não havia grande quantidade de cargas a serem atendidas.

Quando um sistema elétrico é projetado a sua infraestrutura é realizada de forma a atender o maior valor de consumo registrado. Dessa forma, com a inserção de carros elétricos, o sistema teria que se adequar aos novos valores registrados durante o *peak charging* e o *off-peak charging*. No caso do *off-peak charging* o problema é atenuado, porém não é solucionado, pois com incentivos para aumentar o consumo nos momentos de carga leve, o consumidor tenderá não só ligar carros elétricos neste horário como também outras cargas que consomem uma potência considerável existentes em sua residência. Em virtude disto, é possível supor que neste horário o consumo registrado será cada vez maior. É importante ressaltar que o carregamento *off-peak charging* ocorre por meio de um incentivo na diminuição da tarifa de energia em um determinado horário e, para que isto seja possível o medidor eletrônico terá que ser implantado.

O *smart charging* surge como uma solução para o problema do pico da demanda. Este tipo de carregamento só é possível com a implantação das tecnologias inseridas no contexto Smart Grid, pois só com uma rede capaz de se comunicar, enviando dados e monitorando o sistema, as cargas inseridas neste poderão ser gerenciadas, como é o caso dos carros elétricos. Com isto o operador pode verificar o melhor momento para um determinado número de carros ser de fato inserido, sabendo quanto tempo este demorará para ser carregado e quanto de potência disponível no sistema é preciso para atendê-lo, entre outras informações.

Na segunda etapa da simulação foi feito o fluxo de carga com os valores registrados no horário de pico de cada situação, onde foi verificado que para os casos *peak charging* e *off-peak charging* houve violação da tensão mínima permitida pela ANEEL, mostrando assim como a inserção dos carros elétricos pode afetar a qualidade da energia. Para solucionar este problema, optou-se por inserir geração distribuída no sistema, tecnologia esta também abrangida pela *Smart Grid*. A escolha da geração distribuída para solucionar o problema da queda de tensão mostrou que este tipo de geração possui algumas vantagens em relação a geração puramente centralizada, normalmente localizada longe dos centros de carga. A GD proporcionou a diminuição das perdas elétricas no sistema

6.0 - CONCLUSÃO

O setor de distribuição de energia elétrica necessita de implantação de tecnologias capazes, principalmente, de monitorá-lo protegê-lo para assim garantir maior confiabilidade no serviço de fornecimento de energia. A SG representa um grande avanço para a rede de distribuição, visto que incentiva a inserção de várias tecnologias já existentes para garantir um funcionamento mais eficiente.

Os carros elétricos e a geração distribuída precisam de uma rede com infraestrutura de automação adequada para o seu desenvolvimento. Com a implementação das tecnologias abrangidas pela SG a rede se tornará mais confiável, flexível para a inserção da GD e do PEV.

A partir das simulações apresentadas neste trabalho foi possível observar como poderia ser a interação do processo de carregamento dos carros elétricos utilizando o gerenciamento da rede proporcionada pela Smart Grid. Além de constatar que a geração distribuída reduz as perdas e pode juntamente com a geração centralizada proporcionar melhor qualidade no fornecimento de energia.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

(1) GELLINGS, Clark W. *The Smart Grid - Enabling energy efficiency and demand response*. The Fairmont Press, 2009, p.1.

(2) ABVE - Associação Brasileira de Veículos Elétricos.

Em: < <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0001> > Acesso em: 03 março 2013

(3) NOCE, Toshizaemon. *Estudo do funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao seu Aperfeiçoamento*, 2009. 127 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009.

(4) Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) - Em: < http://www.inee.org.br/veh_sobre.asp?Cat=veh >. Acesso em: 03 março 2013.

(5) BRAGA, José Rodrigo Beenken da Costa. *Integração de Veículos Elétricos no Sistema Elétrico Nacional*. 2010. 100 f. Dissertação. Departamento de Engenharia Eletrotécnico, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Monte da Caparica. Portugal. 2010.

(6) PAULA, Rafael Correa de. *Análise do Impacto Conjunto da Geração Distribuída e Veículos Elétricos Plug-In em Sistemas Elétricos*, Curitiba, Universidade Federal do Paraná Julho, 2011, pag.23-24.

(7) VIDIGAL, António. Mobilidade Eléctrica. In: XVIII CONGRESSO DA ORDEM DOS ENGENHEIROS. A engenharia no Século XXI Qualificação, Inovação e Empreendedorismo. Cidade de Aveiro, 4 de outubro de 2010.

(8) LANKTON, Cal. From Smart Charging to the Smart Grid. Disponível em: <<http://www.abb.com/cawp/seitp202/7316c8de1c478e3ec1257b100035a9ec.aspx>>.

(9) ACKERMANN, Thomas; ANDERSSON, Göran; SÖDER, Lennart. Distributed generation: a definition. Electric power systems research, v. 57, n. 3, p. 195-204, 2001.

(10) The U.S. Department of Energy. *The Smart Grid: An Introduction*. Litos Strategic Communication, 2009. p.11.

(11) BOCCUZZI, Cyro Vicente. O Estado da Arte nas Redes Inteligentes de Energia. Seminário Internacional Smart Grid, 2009. Disponível em: http://www.ecoee.com.br/materias/Smart_Grid_no_CPQD_ECOEECyro.pdf

(12) DIAS, Marcus Vinícius Xavier; BORTONI, Edson da Costa; HADDAD Jamil. Geração Distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. Brasília. 2006.

(13) MOSES, Paul S. et al. Power quality of smart grids with plug-in electric vehicles considering battery charging profile. In: Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES. IEEE, 2010. p. 1-7.

(14) CARVALHO, Carminda Célia Moura de Moura Carvalho. *Filtragem Harmônica e Compensação de Reativos em Redes de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Algoritmos Genéticos*. 189 f. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará. Belém. 2005.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Nathália Holanda Vilhena nasceu em Macapá-AP Brasil em 1990. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará em 2013, com ênfase em eletrotécnica. Suas linhas de interesse são qualidade de energia e sistema de distribuição de energia elétrica.

Carmina Célia Moura de Moura Carvalho nasceu em Belém-PA-Brasil em 1970. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará em 1993. Concluiu o Mestrado e o Doutorado em Engenharia Elétrica pela mesma Universidade em 1996 e 2006, respectivamente. É professora da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará desde 1996. Suas linhas de interesse são qualidade da energia, operação de sistemas e processos industriais.