



MODELO DE SIMULAÇÃO DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E EMISSÕES EVITADAS

Área temática: Gestão Ambiental & Sustentabilidade

Windson Pereira

windsonbraga@hotmail.com

Luiz Peres

lapp_uerj@yahoo.com.br

José Pessanha

professorjfm@hotmail.com

Resumo: *Este trabalho apresenta um modelo de simulação para avaliação da recarga de veículos elétricos em redes de distribuição de energia, com foco na adequação da capacidade dos transformadores. Com base em medições efetuadas, foi possível o tratamento dos dados para a modelagem de curvas de recarga de veículos elétricos e a análise do acréscimo da demanda da recarga em transformadores de distribuição. O modelo de simulação permite avaliar o efeito da variável relacionada ao horário da conexão dos veículos elétricos à rede elétrica, tanto de forma determinística quanto de forma aleatória. Estes efeitos foram comparados e permitiram concluir a importância da utilização deste método mais realista para calcular a capacidade dos transformadores, visando suprir esta nova demanda. Além disso, o trabalho apresenta indicadores dos benefícios ambientais da penetração dos veículos elétricos no que diz respeito às emissões evitadas ao se utilizar veículos elétricos à bateria em substituição aos tradicionais veículos à combustão interna.*

Palavras-chaves:

1. INTRODUÇÃO

Formulação da Situação Problema

Devido à necessidade de maior eficiência energética dos meios de transporte rodoviário, a penetração de veículos elétricos à bateria vem alcançando taxas de crescimento em vários países, uma vez que o ingresso desta tecnologia se mostra bem mais sustentável em comparação com veículos tradicionais à combustão interna. Todavia, torna-se uma preocupação para as empresas de energia elétrica a avaliação da capacidade das redes visando evitar sobrecargas pontuais, em especial nos transformadores de distribuição [SERRA, 2012].

Neste sentido, o artigo está inserido nas atividades de pesquisa do Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV da UERJ que participa do projeto de pesquisa “Desenvolvimento de Rede de Abastecimento de Veículos Elétricos para a Cidade Inteligente Búzios”. Trata-se de uma parceria com a empresa Ampla Energia e Serviços de Eletricidade S.A. sob os auspícios da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

O projeto citado incluiu a execução de testes de desempenho de carros e bicicletas elétricas. Com base nos dados obtidos foi possível a modelagem determinística e estocástica do processo de recarga destes veículos bem como a avaliação da expectativa das emissões evitadas por conta da sua introdução. Visa-se assim dispor de uma ferramenta de planejamento e operação de redes de distribuição, inclusive no contexto das redes inteligentes de energia.

2 – Objetivo

Este artigo tem como objetivo apresentar uma metodologia de registro de resultados de ensaios de recarga de veículos elétricos e uma modelagem de simulação deste processo para avaliar a capacidade de transformadores de distribuição em estudos de planejamento e operação da rede em presença deste tipo de suprimento.

Além disso, o trabalho destaca os benefícios energéticos e ambientais da penetração dos veículos elétricos no que diz respeito às emissões de poluentes e gases de efeito estufa, através da comparação com o veículo à combustão interna de menor consumo energético, segundo o programa de etiquetagem para veículos leves promovido pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE e publicado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia [INMETRO, 2015].

Assinala-se que a modelagem apresentada é geral e se aplica aos veículos elétricos rodoviários à bateria supondo-se disponíveis os dados de placa do banco de baterias e dos respectivos carregadores bem como da realização de ensaios de desempenho de recarga típicos dos veículos a serem considerados.

3 – Método

Com base em procedimentos de testes de recarga de veículos elétricos adotados pelo LSPV da UERJ [PECORELLI PERES, 2009], foi possível o registro de dados para o tratamento e a modelagem do acréscimo desta demanda em intervalos de tempo discretos correspondentes à medição efetuada pelas empresas de energia elétrica [PECORELLI PERES, 2014]. Os veículos utilizados nos ensaios de recarga foram o Palio Weekend Elétrico, montado pela Itaipu Binacional através de acordo de cooperação tecnológica com a KWO – Kraftwerke Oberhasli AG da Suíça em parceria com a Fiat do Brasil, e a bicicleta elétrica da marca LEV modelo E-BIKE S cedida pela Ampla Energia e Serviços S.A. Estes veículos atualmente fazem parte da frota da Cidade Inteligente Búzios.

No presente artigo apresenta-se um modelo baseado em funções de densidade de probabilidade [FREUND, 1969], o qual considera o processo estocástico relativo ao horário de conexão do veículo à rede elétrica. Este efeito foi comparado considerando esta variável em termos determinísticos, que mostra a importância da utilização de métodos mais realistas para avaliar a capacidade dos transformadores de baixa tensão perante esta nova perspectiva de atendimento e acréscimo de venda de energia elétrica.

3.1 – Testes Realizados

A Tabela 1 a seguir mostra os dados considerados do banco de baterias do Palio Weekend Elétrico, utilizado para construção do modelo.

Tabela 1 – Dados do Banco de Baterias do Palio Weekend Elétrico

Tensão Nominal (V)	Capacidade (Ah)	Rendimento do conjunto bateria – carregador
253	76	0,95

Com o Palio Weekend Elétrico descrito, foram realizados ensaios de trajeto em diversos percursos, sempre iniciados com o estado de carga da bateria em 100%, seguidos pelas respectivas recargas. Como exemplo foi selecionado o trajeto de 9 km. Durante a recarga mediu-se a tensão, a corrente, o fator de potência, as potências ativa, reativa e aparente. A Tabela 2 e as Figuras 1 a 3 apresentam, respectivamente, os valores medidos e os resultados do teste de recarga realizado pelo LSPV utilizando o registrador de grandezas elétricas, modelo MARH-21/993, fabricado pela RMS.

Tabela 2 – Valores Medidos Durante o Teste de Recarga do Palio Weekend Elétrico

Distância Percorrida (km)	Energia Acumulada (Wh)	Potência Média Máxima (W)
9	1939,5	3250

Figura 1 – Tensão (V) e Corrente (I) Durante a Recarga

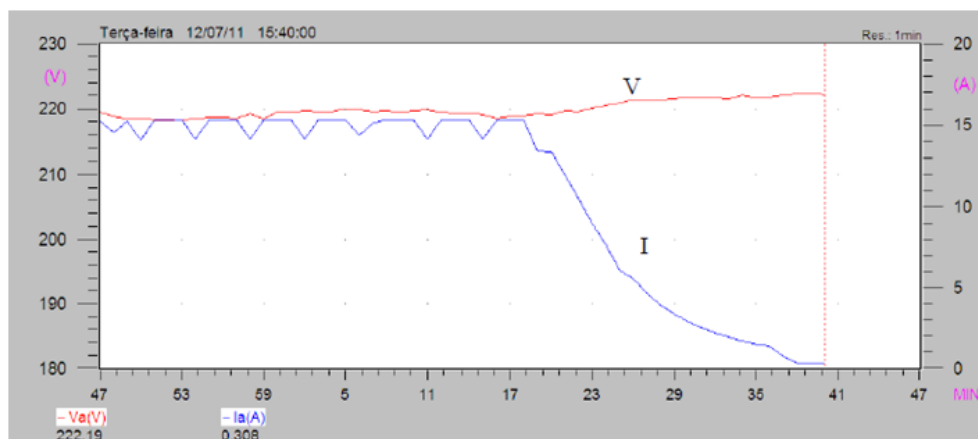


Figura 2 – Potências Ativa (P) e Reativa (Q) Durante a Recarga

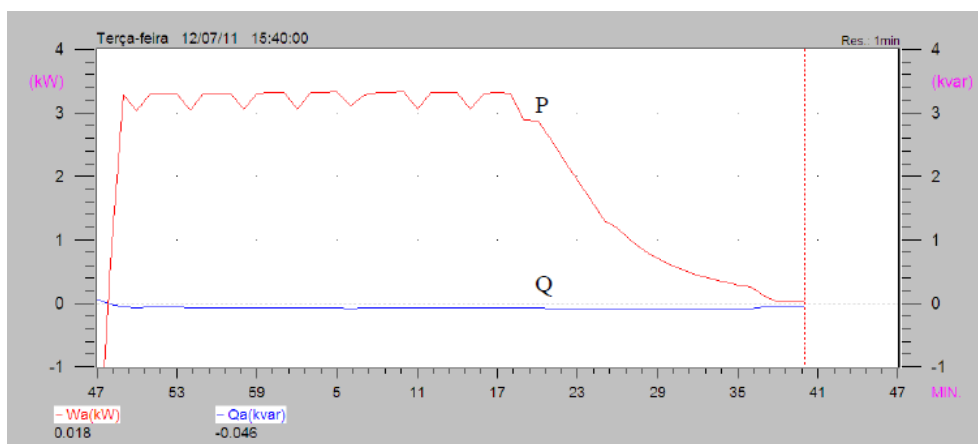
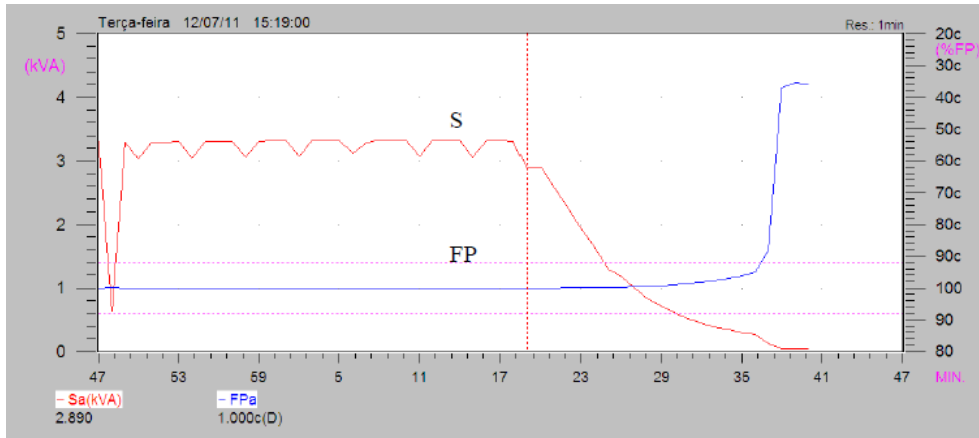


Figura 3 – Potência Aparente (S) e Fator de Potência (FP) Durante a Recarga



A mesma metodologia foi aplicada em testes de recarga realizados com uma bicicleta elétrica da marca LEV. Assim, como exemplo, foi selecionado o trajeto de 4,4 km, cujo ensaio também iniciou-se com o estado de carga da bateria em 100%. A Tabela 3 mostra os dados do banco de baterias da bicicleta elétrica.

Tabela 3 – Dados da Bateria da Bicicleta Elétrica

Tensão Nominal (V)	Capacidade (Ah)	Rendimento do conjunto bateria – carregador
36	12	0,95

A Tabela 4 e as Figuras 4 a 7 apresentam, respectivamente, os valores medidos e os resultados do teste de recarga realizado pelo LSPV utilizando neste caso um protótipo de posto de recarga desenvolvido pelo LSPV que conta com medição inteligente POWERSAVE.

Tabela 4 – Valores Medidos Durante o Teste de Recarga do Palio Weekend Elétrico

Distância Percorrida (km)	Energia Acumulada (Wh)	Potência Média Máxima (W)
4,4	109,23	81,02

Figura 4 – Energia Acumulada Durante a Recarga

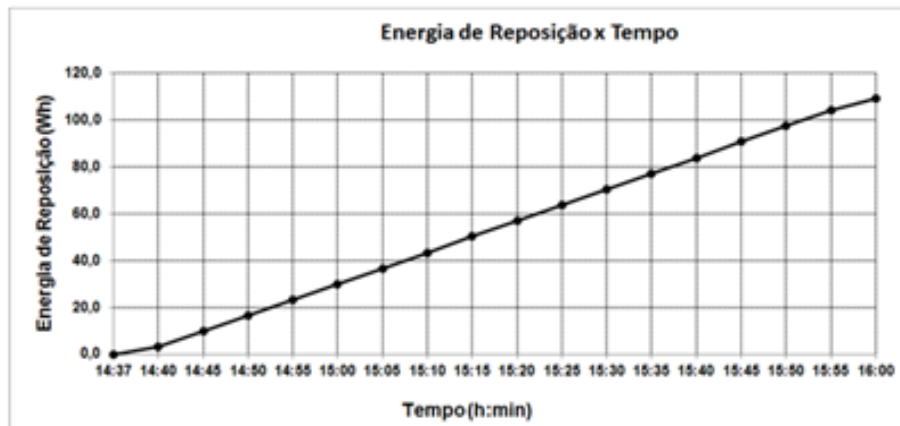


Figura 5 – Potência Ativa Média Durante a Recarga

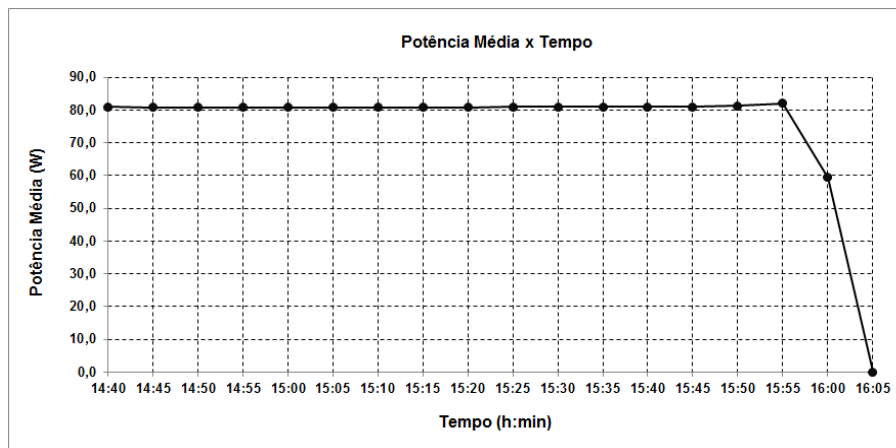


Figura 6 – Tensão Durante a Recarga

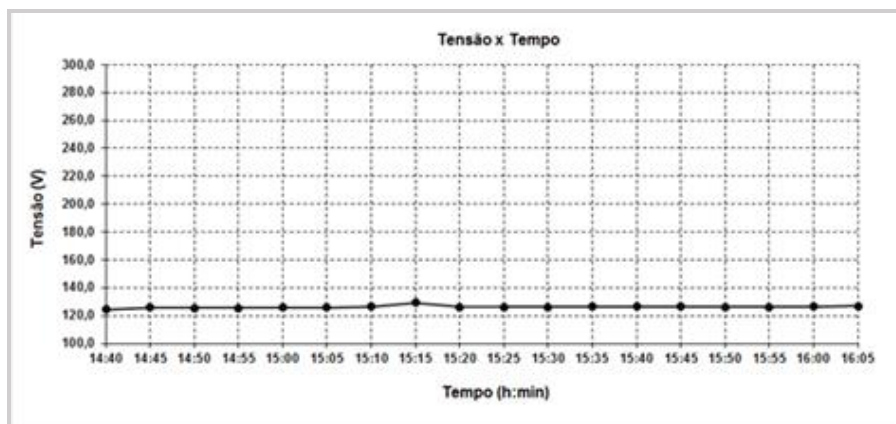
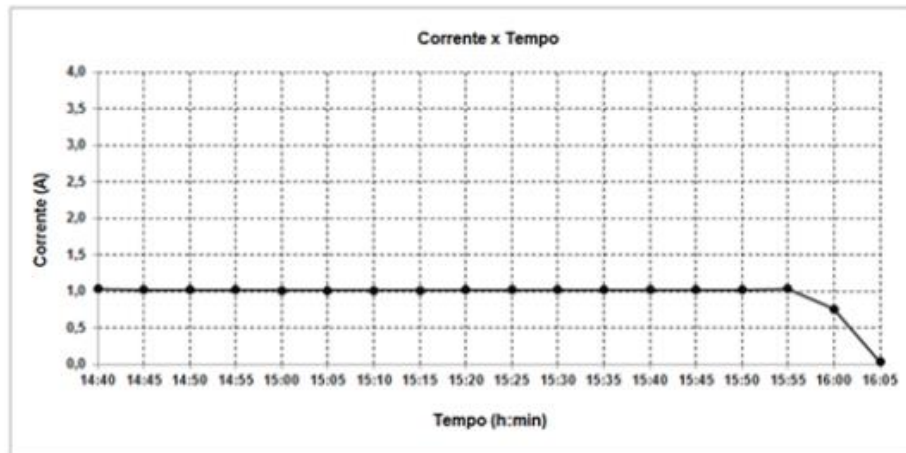


Figura 7 – Corrente CA Durante a Recarga



3.2 – Modelagem da Curva de Recarga de Veículos Elétricos

Os testes efetuados pelo LSPV com o Pálio Weekend Elétrico, a bicicleta elétrica LEV e diversos outros veículos indicaram que os efeitos da tensão, da corrente e do fator de potência ao longo do processo de recarga resultam numa forma característica da potência ativa. De fato, esta grandeza se mantém praticamente constante seguida de um decaimento que pode ser aproximado a uma rampa decrescente, conforme ilustrado nas Figuras 2 e 5, onde se verifica que o trecho final se reduz a um valor residual, quando então o estado de carga da bateria alcança 100 %. Esta forma se mantém alterando-se apenas o período em que a potência se mantém constante em função da menor ou maior energia requerida que é função principalmente da distância percorrida limitada pela capacidade da bateria a qual determina a autonomia do veículo.

Esta constatação permite uma modelagem da curva de recarga de veículos elétricos bastando para sua simulação os testes assinalados e os dados de placa do carregador e do banco de baterias do veículo. Assim, para analisar a demanda da rede de suprimento dos veículos elétricos em recarga basta fazer a superposição das curvas de recarga dos veículos pretendidos à curva de demanda do transformador da rede. Isto é oportuno uma vez que os demais veículos elétricos tais como, *scooters*, *skates*, etc. também apresentam o mesmo comportamento de recarga.

Esta concepção foi utilizada neste trabalho para análise da capacidade de transformadores trifásicos típicos de distribuição conectados na alta tensão dos alimentadores de 13,8 kV da Cidade Inteligente Búzios, objeto de análises específicas nas quais se deseja avaliar o suprimento adicional dos veículos elétricos. O processo utilizado para isso foi obtido pelo tratamento da recarga com uma formulação em termos de variáveis discretas para representar a demanda com intervalos de tempo

correspondentes à medição convencional dos sistemas elétricos, igual a 15 minutos. Com isto, o tempo máximo de recarga, que equivale à reposição de 100 % do estado de carga da bateria, será um múltiplo de 15, cuja demanda máxima refere-se às características de potência e rendimento do carregador, e a energia à capacidade do banco de baterias.

Assim, basta tomar como referências os dados do banco de baterias, a saber: a tensão nominal (V) e a capacidade da bateria (Ah), conforme Tabelas 1 e 3 bem como os dados do ensaio de trajeto, isto é, a distância percorrida (km), a energia acumulada (Wh) e a potência média máxima (W) assinalados nas Tabelas 2 e 4. Com isto é possível modelar, com auxílio da ferramenta computacional MATLAB, as curvas de recarga total (0 a 100%) do Palió Weekend Elétrico e da bicicleta elétrica, referentes às autonomias dos respectivos veículos. As Figuras 8 e 9 apresentam as curvas de recarga total destes veículos.

Figura 8 – Curva de Recarga Total do Palió Weekend Elétrico

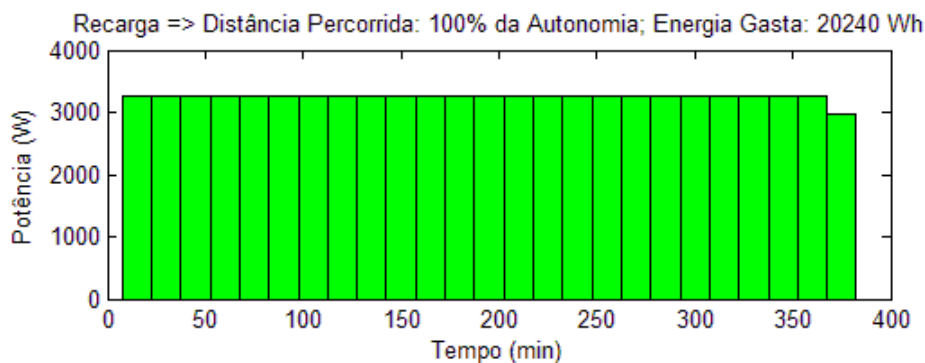
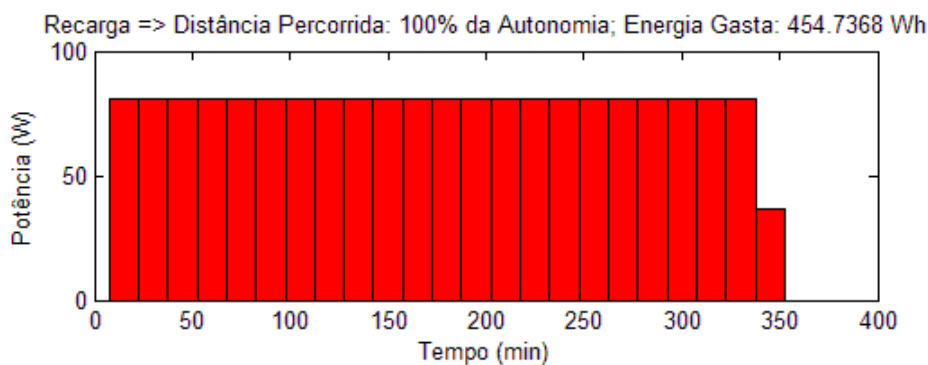


Figura 9 – Curva de Recarga Total da Bicicleta Elétrica LEV



A partir das curvas de recarga total dos veículos, qualquer outra curva referente às distâncias percorridas menores que a autonomia pode ser obtida. Destaca-se que se dispõe da taxa de recarga de

energia por unidade de tempo e que o comportamento da potência no último intervalo de 15 minutos se mantém da mesma forma em todas as curvas de recarga para diferentes distâncias percorridas. Eventuais discrepâncias nos valores calculados para a energia gasta durante a recarga e, conseqüentemente, para a distância percorrida podem ser atribuídas à avaliação feita para o rendimento dos carregadores dos veículos, que nesta modelagem foi admitido como sendo 95 % em ambos os veículos.

4 – Resultados

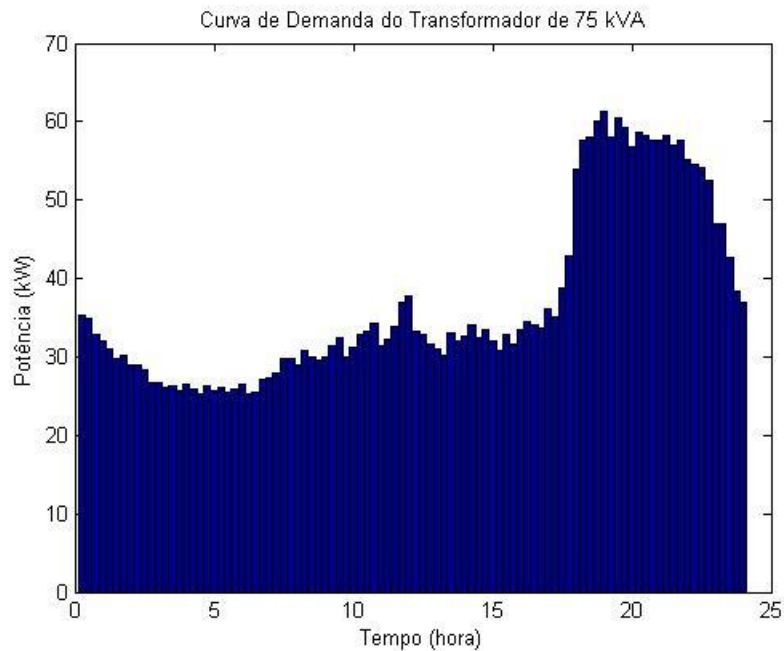
Uma vez estabelecida a metodologia é possível analisar o comportamento da curva de demanda de um transformador durante a recarga de veículos elétricos. Para tanto, considerou-se frotas de diferentes veículos elétricos para diferentes aplicações. Foram simuladas condições distintas de recarga para estas frotas com intuito de avaliar a influência do carregamento dos veículos elétricos em um transformador de baixa tensão conforme descrito nos itens que se seguem.

4.1 – Cenário do Trabalho

Transformadores de distribuição estão sujeitos a uma curva de carga diária cujos registros de medição das empresas de energia elétrica, convencionalmente, representam a potência média suprida pelo alimentador a cada 15 minutos. Esta curva permite a análise do carregamento do transformador durante um período diário de medição, expresso por 96 valores discretos da potência média, referentes aos intervalos de tempo considerados.

No estudo do acréscimo de suprimento decorrente da recarga de veículos elétricos admitiu-se conhecida a curva de demanda ativa típica de um transformador de 75 kVA alimentando uma área residencial. A Figura 10 apresenta a curva de demanda típica do referido transformador.

Figura 10 – Curva de Demanda do Transformador



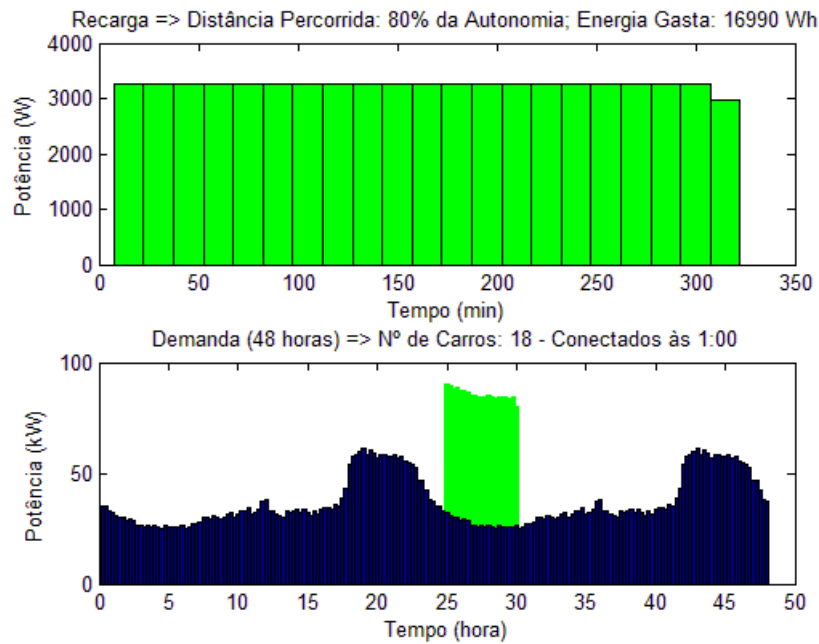
Supõe-se que esta área deverá contar com parque e ciclovia, dispondo de serviços de aluguel de bicicletas elétricas e a utilização de carros elétricos, cujos efeitos sobre a capacidade deste equipamento devem ser avaliados.

Na representação do sistema elétrico considerou-se as seguintes hipóteses: sistema trifásico equilibrado e fator de potência normativo de 0,92 indutivo. A modelagem computacional foi elaborada com a ferramenta computacional MATLAB.

4.2 – Tratamento Determinístico

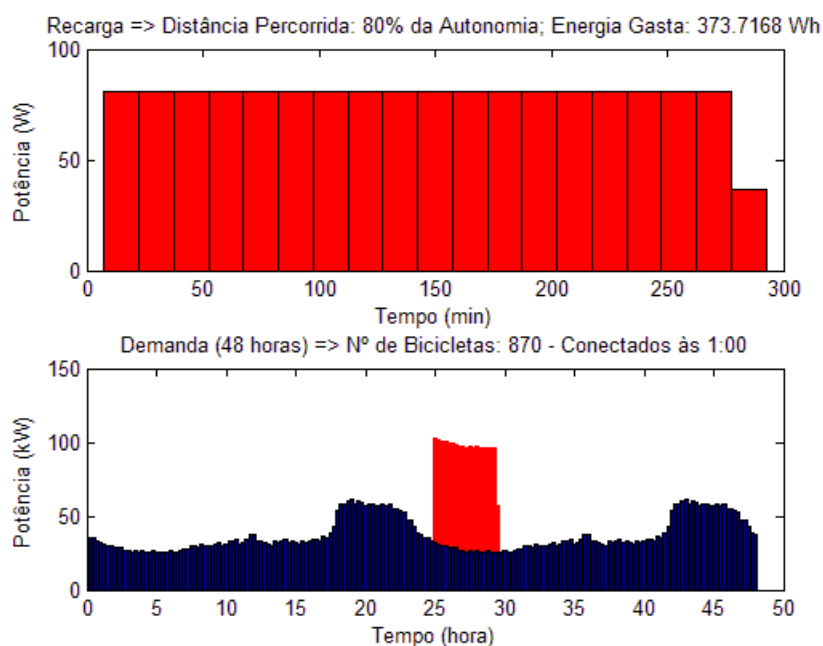
Com base nas formulações indicadas no item anterior, a Figura 11 apresenta a curva de recarga de um carro elétrico (Palio Weekend Elétrico), em verde, e a curva de demanda referente à recarga de 18 carros, em verde, superposta à demanda típica de dois dias consecutivos de um transformador de 75 kVA, em azul. Para esta simulação, os carros percorrem a mesma distância média de 74,7 km/dia consumindo 80 % da sua autonomia. Tais veículos simulam a frota de uma empresa de prestação de serviços de entrega que realizam a recarga noturna em garagem utilizando-se da tarifa comercial, portanto, com um custo bem menor neste período.

Figura 11 – Curva de Recarga do Carro e Curva de Demanda com 18 Carros



A Figura 12 apresenta o mesmo tratamento para 510 bicicletas elétricas LEV modelo E-Bike S, em vermelho, após percorrerem a mesma distância média de 18,32 km/dia consumindo também 80% da sua autonomia. Tais veículos simulam a frota de uma empresa de aluguel de bicicletas elétricas que também realizam recarga noturna utilizando-se da tarifa comercial.

Figura 12 – Curva de Recarga da Bicicleta e Curva de Demanda com 870 Bicicletas



Nesta análise foram admitidas condições conservativas considerando-se a recarga simultânea dos veículos de cada frota. De acordo com as Figuras 11 e 12, foram obtidos os seguintes resultados:

Para a recarga dos carros:

- Distância total percorrida pela frota - 1411,7 km
- Energia total de recarga da frota - 305,8 kWh
- Demanda máxima do transformador com a frota - 90,5 kW (98,4 kVA)
- Instante em que ocorreu a demanda máxima - 1:00 h

Para a recarga das bicicletas:

- Distância total percorrida pela frota – 16456 km
- Energia total de recarga da frota – 325,1 kWh
- Demanda máxima do transformador com a frota – 102,5 kW (111,4 kVA)
- Instante em que ocorreu a demanda máxima – 1:00 h

Observa-se que mesmo tendo sido iniciada a recarga das frotas fora do horário de ponta, à 1:00 h da manhã, ainda assim resultaram em sobrecargas de 31,2 % e de 48,5 % no transformador, durante a recarga da frota de carros e de bicicletas, respectivamente. A situação mais realista, em geral, corresponde à recarga realizada de forma aleatória com relação ao horário de conexão. Esta poderá ser administrada pelo sistema automático do ambiente das redes inteligentes de energia de forma dialogar com as necessidades previstas pelo cliente sem exceder o carregamento máximo disponível, conforme apresentado no item abaixo.

4.3 – Tratamento Probabilístico do Horário de Conexão

Em geral, os usuários não conectam seus veículos elétricos ao mesmo tempo à rede de energia para recarregá-los. Desta forma, para simular a recarga de veículos elétricos conectados em instantes diferentes à rede, foram mantidas as mesmas distâncias percorridas do caso determinístico descrito na seção 4.2, para efeito de comparação. A modelagem foi realizada considerando uma função densidade de probabilidade lognormal, cujas equações são descritas em (1) e (2).

$$\mu = \log\left(\frac{m^2}{\sqrt{v + m^2}}\right) \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\log\left(\frac{v}{m^2 + 1}\right)} \quad (2)$$

Onde μ e σ são a média e o desvio padrão, respectivamente, da distribuição normal associada, as variáveis m e v são a média e a variância, respectivamente, da distribuição lognormal, elas são funções de μ e σ , de acordo com as equações (3) e (4), respectivamente.

$$m = e^{\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)} \quad (3)$$

$$v = e^{(2\mu + \sigma^2)} \cdot (e^{(\sigma^2)} - 1) \quad (4)$$

Para esta situação, 18 carros e 870 bicicletas percorrem a mesma distância, respectivamente, correspondente a utilização de 80 % de sua autonomia com cada veículo sendo conectado à rede em horários distintos. Nesta simulação a média da lognormal corresponde ao ponto de conexão na curva de demanda, referenciados como “o intervalo de 15 minutos da curva de demanda”. A variância corresponde ao quadrado da quantidade de intervalos de 15 minutos. Os valores adotados para as variáveis são:

- Média da Lognormal: $m = 6:45$ h
- Variância: $v = 315,9 \text{ min}^2$

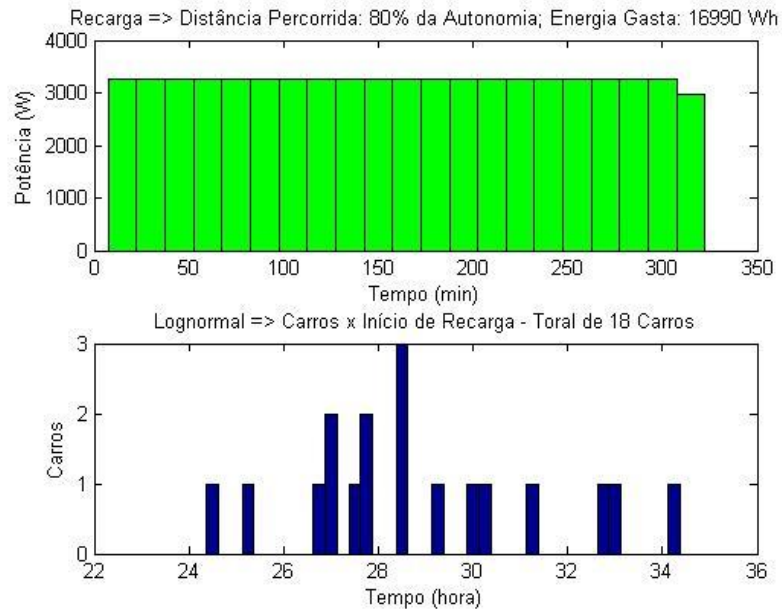
Com isso, tem-se:

- Média da Normal: $\mu = 3,11$
- Desvio Padrão: $\sigma = 0,6$

Esta simulação contou com 2000 sorteios por veículo. A Figura 13 ilustra a curva de recarga para 80% da autonomia e a amostra da distribuição lognormal do horário de conexão dos 18 carros.

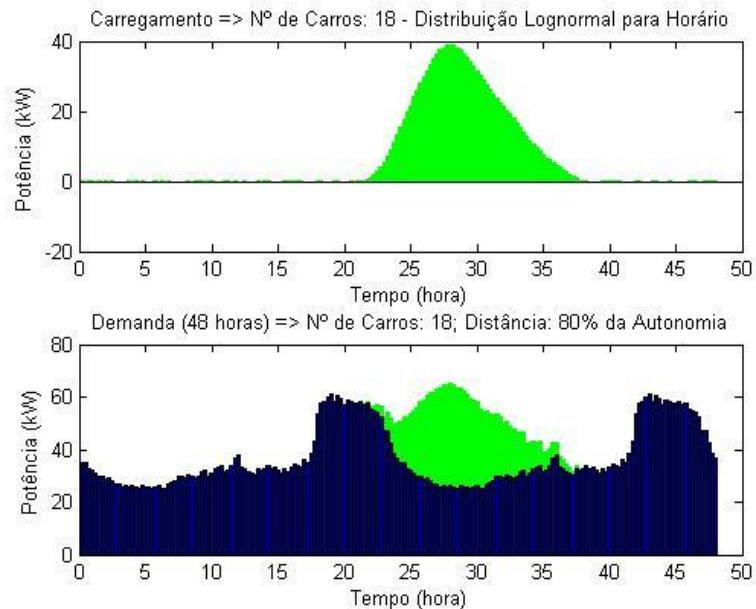
**Figura 13 – Curva de Recarga e Distribuição Lognormal do
de Conexão dos Carros**

Horário



A Figura 14 refere-se à demanda do carregamento apenas da frota de carros e é seguida pela sua superposição à curva de demanda do transformador em 48 horas.

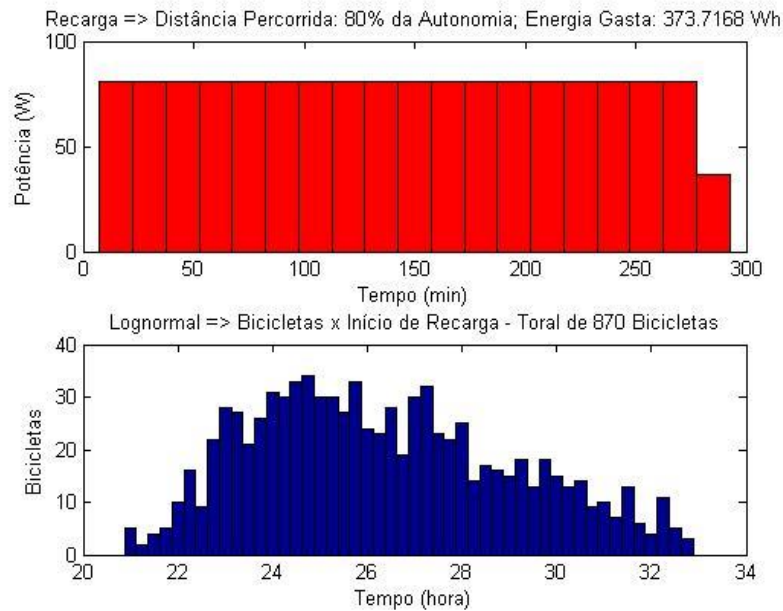
Figura 14 – Demanda da Frota de Carros e Sua Superposição à do Transformador



A Figura 15 apresenta a distribuição lognormal do horário de conexão da frota de 870 bicicletas. Esta simulação contou com 50 sorteios por veículo.

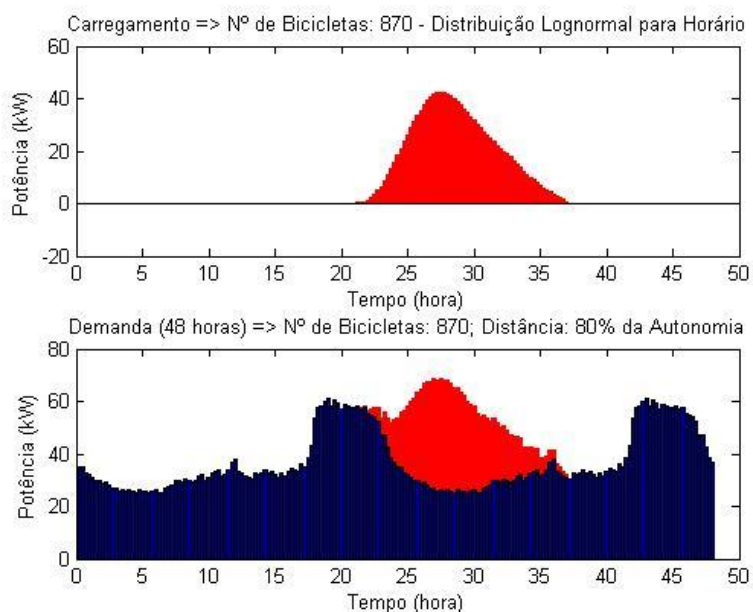
**Figura 15 – Curva de Recarga e Distribuição Lognormal do
de Conexão das Bicycletas**

Horário



A Figura 16 refere-se à demanda do carregamento apenas da frota de bicycletas e é seguida pela sua superposição à curva de demanda do transformador em 48 horas.

Figura 16 – Demanda da Frota de Bicycletas e Sua Superposição à do Transformador





De acordo com as Figuras 13 a 16, foram obtidos os seguintes resultados:

Para a recarga dos carros:

- Maior número de veículos conectados ao mesmo tempo – 3 carros
- Horário do maior número de conexões – 2:45 h
- Distância total percorrido pela frota – 1411,7 km
- Energia total de recarga da frota – 305,8 kWh
- Demanda máxima do transformador com a frota – 65,3 kW (71,0 kVA)
- Instante em que ocorreu a demanda máxima – 4:00 h
- Fator de diversidade da energia de recarga (FD_e):

$$FD_{e,carro} = \frac{\text{Energia Total de Recarga Esperada}}{\text{Energia Total Determinística}} = \frac{305,8}{305,8} = 1$$

- Fator de diversidade do horário de conexão (FD_h):

$$FD_{h,carro} = \frac{\text{Maior N}^\circ \text{ de Veículos Conectados no Mesmo Instante}}{\text{N}^\circ \text{ de Veículos Conectados no Caso Determinístico}} = \frac{3}{18} = 0,17$$

Para a recarga das bicicletas:

- Maior número de veículos conectados ao mesmo tempo – 34 bicicletas
- Horário do maior número de conexões – 0:45 h
- Distância total percorrido pela frota – 16456 km
- Energia total de recarga da frota – 325,1 kWh
- Demanda máxima do transformador com a frota – 68,8 kW (74,8 kVA)
- Instante em que ocorreu a demanda máxima – 3:30 h
- Fator de diversidade da energia de recarga (FD_e):

$$FD_{e,bike} = \frac{\text{Energia Total de Recarga Esperada}}{\text{Energia Total Determinística}} = \frac{325,1}{325,1} = 1$$

- Fator de diversidade do horário de conexão (FD_h):

$$FD_{h,bike} = \frac{\text{Maior N}^\circ \text{ de Veículos Conectados no Mesmo Instante}}{\text{N}^\circ \text{ de Veículos Conectados no Caso Determinístico}} = \frac{34}{870} = 0,04$$

Nesta simulação manteve-se o mesmo número de veículos da simulação determinística e considerou-se o horário de conexão como uma variável aleatória. Nota-se que, neste caso, não ocorre sobrecarga no transformador durante o carregamento de ambas as frotas. A demanda máxima com as

frotas não ultrapassou a capacidade de 75 kVA, indicando que o horário de conexão como uma variável aleatória tem efeito decisivo na demanda do transformador.

A consideração do instante de conexão como uma variável aleatória fez com que o maior número de carros conectados no mesmo instante reduzisse para 17 % e do número de bicicletas para 4%, representados por FD_{h_carro} e FD_{h_bike} , respectivamente, quando comparados ao caso determinístico. Além disto, como foi mantida a distância percorrida tanto no caso determinístico como no probabilístico isto faz com que a energia total de recarga da frota permaneça a mesma.

4.4 – Emissões Evitadas

A fim de se obter uma estimativa robusta das emissões evitadas de gases poluentes e de efeito estufa, utilizou-se para efeito de comparação o veículo à combustão interna mais eficiente em termos de MJ/km. Também não se levou em conta os fatores de deterioração que estimam o aumento das emissões em função da quilometragem percorrida e que determina o desgaste do sistema de propulsão ao longo da vida útil do veículo. Assim, de acordo com o programa brasileiro de etiquetagem de veículos leves, publicado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO [INMETRO, 2015], o veículo à combustão interna considerado como referência corresponde ao RENAULT Clio 1.0 16V (s/ ar condicionado e c/ direção mecânica) cujo consumo energético é de 1,45 MJ/km. As emissões deste veículo funcionando com gasolina tipo C são apresentadas abaixo:

- CO₂ fóssil (dióxido de carbono fóssil) = 87 g/km
- CO (monóxido de carbono) = 0,318 g/km
- NO_x (óxidos de nitrogênio) = 0,032 g/km
- NMHC (hidrocarbonetos não queimados exclusive metano) = 0,028 g/km

Com base nestes dados a Tabela 5 apresenta o total das estimativas das emissões diárias, mensais, anuais de 18 carros da frota simulada, considerando a mesma distância total percorrida apresentada nos resultados dos casos simulados com os carros elétricos. Os totais obtidos são adotados como indicadores das emissões evitadas caso os veículos fossem elétricos a bateria.

Tabela 5 – Valores Indicativos das Emissões Evitadas Caso se Utilize Veículos Elétricos a Bateria

Período	CO ₂ fóssil	CO	NO _x	NMHC
---------	------------------------	----	-----------------	------



	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
1 dia*	122,819	0,449	0,045	0,039
1 mês (≈ 22 dias úteis)	2702	9,879	0,994	0,869
1 ano (≈ 264 dias úteis)	32424	118,51	11,926	10,435
Vida útil do veículo** (≈ 12,5 anos)	405299	1481	149	130

* Calculado pelo produto da distância total percorrida pela frota nas simulações (1411,7 km) pela quantidade emitida de cada poluente em g/km.

** Calculado pela razão entre a distância média percorrida por um veículo à combustão interna durante sua vida útil e a distância média percorrida por este veículo por ano: $150000/12000 = 12,5$ anos.

A partir dos dados da Tabela 5 pode-se verificar que as emissões evitadas são significativas, caso se utilize um veículo elétrico ao invés do veículo à combustão interna tomado para comparação. Esta constatação é expressiva no tocante às emissões de gases de efeito estufa, (CO₂ equivalente fóssil), que alcança cerca de 32,4 toneladas por ano e 405,3 toneladas durante um período de cerca de 12,5 anos.

5 - Conclusões

Os procedimentos propostos nos testes descritos demonstraram a viabilidade para estabelecer metodologias visando estimar o impacto da penetração dos veículos elétricos rodoviários a bateria nas redes de distribuição. Verifica-se que se dispor de parâmetros usuais das redes elétricas e dos dados de placa do carregador e da bateria, obtém-se um resultado decisivo em termos operacionais e de planejamento uma vez que os veículos elétricos apresentam características que são obtidas através de testes usuais de recarga. O trabalho destaca a importância da introdução das redes inteligentes de energia, mostrando que neste ambiente os automatismos previstos otimizam o aproveitamento conveniente das folgas existentes nas curvas de demanda dos transformadores.

Ressalta-se a importância desta modelagem que pode ser utilizada em estudos de dos sistemas de distribuição que visem o atender o mercado de reabastecimento do transporte rodoviário através da

penetração dos veículos elétricos de desempenho energético e ambiental superiores aos tradicionais e com afinidade às futuras redes inteligentes de energia.

Segundo [LARMINIE, 2003], os veículos rodoviários elétricos à bateria agregam um valioso atributo ao meio ambiente por não necessitar de sistemas de exaustão de gases através de tubos de descarga e assim localmente não apresentam emissões gasosas que reduzem a qualidade do ar e ainda provocam a intensificação do efeito estufa com repercussões sobre as chamadas mudanças climáticas.

Observa-se que a maior eficiência energética dos veículos elétricos aliada às emissões evitadas são fatores favoráveis à elaboração de políticas públicas visando a eletrificação do transporte rodoviário no Brasil.

Agradecimentos

À FAPERJ pelo suporte de recursos para a realização desta pesquisa, à Ampla Energia e Serviços S.A. e à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, pela oportunidade de realização deste trabalho no contexto do projeto Cidade Inteligente Búzios.

Referências Bibliográficas

FREUND, J.E.. & MILLER, I. Probability and Statistics for Engineers, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1965.

INMETRO, PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem, veículos leves, publicado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, 2015, disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2015.pdf.

LARMINIE, J.; LOWRY, J., “Electric Vehicle Technology Explained”, John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom, 2003, ISBN 0-470-85163-5.

PECORELLI PERES, L.A.; PEÇANHA, M.L.P.; KREMPSER, A.R.; PEREIRA, W.B. et al, Ensaios de sistemas de recarga de veículos elétricos com vistas à mobilidade urbana e o planejamento de redes de distribuição; XXI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Santos, Brasil, 2014.

PECORELLI PERES, L.A.; PESSANHA, J.F.M.; PEÇANHA, M.L.P.; TARGUETA, D.; BARRETO, A.; MEDEIROS, M.M.B.A. Test Procedures and Measurements for Recharge Evaluation of Battery Electric Vehicles in Power Concessionaires in Brazil. In: EVS 24 The 24th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium et Exhibition, 2009, Stavanger.

SERRA, J.V.F., Electric vehicles – technology, policy and commercial development, New York: Earthscan, 2012.