

21º CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO – ANTP

28 a 30 de Junho de 2017 – Centro de Eventos Pro Magno – São Paulo – SP

## Perspectivas Para o Transporte Sustentável em Cidades Turísticas

Luiz Artur Pecorelli Peres  
Sergio León Escalante Cardenas  
Andre Rodrigues Krempser

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ  
Grupo de Estudos de Veículos Elétricos - GRUVE

## **Perspectivas para o transporte sustentável em cidades turísticas**

Luiz Artur Pecorelli Peres<sup>1</sup>; Sergio León Escalante Cardenas<sup>2</sup>; André Rodrigues Krempser<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Uerj – Faculdade de Engenharia – Centro de Ciência e Tecnologia – Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – Rio de Janeiro RJ. Email: lapp\_uerj@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Uerj – Faculdade de Engenharia – Centro de Ciência e Tecnologia – Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – Rio de Janeiro RJ. Email: slescalante@ieee.org

<sup>3</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Uerj – Faculdade de Engenharia – Centro de Ciência e Tecnologia – Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – Rio de Janeiro. Email: arodrigues2007@hotmail.com

### **SINÓPSE**

A pesquisa e o planejamento da mobilidade elétrica na Cidade Inteligente Búzios é descrita. Trata-se de um projeto de P&D da ENEL Distribuição Rio desenvolvido no âmbito da Agência Nacional de Energia Elétrica e que contou com a atuação do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE da Uerj. Os resultados se mostram promissores em cidades turísticas.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Veículo elétrico, Meio ambiente, Turismo, Redes inteligentes de energia.

### **1. INTRODUÇÃO**

O trabalho apresenta a análise e os resultados das pesquisas realizadas sobre a mobilidade elétrica na Cidade Inteligente Búzios no período de 2011 a 2016. Este tema fez parte do projeto da ENEL Distribuição Rio no âmbito da Lei nº 9991 de 24/07/2000 que outorga sua aplicação à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e que contou com a atuação do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE da Faculdade de Engenharia da Uerj.

Os objetivos principais se referem às perspectivas da eletrificação do transporte em ambiente turístico tendo em vista o comportamento da rede para o abastecimento dos veículos elétricos, VEs, e os benefícios ambientais decorrentes. Assim, são descritos o plano de infraestrutura de abastecimento para bicicletas e carros elétricos, o desenvolvimento de postos de recarga e um modelo de gestão do sistema de distribuição perante o ingresso desta nova demanda. Experiências inéditas transformaram Búzios em um “laboratório ao vivo”, seja pelas medições efetuadas no sistema elétrico, como na implantação do uso de bicicletas elétricas cedidas à Prefeitura para a Guarda Municipal e também para a equipe de Guardas de Endemia visando o combate à dengue. Além disto, foi analisada a penetração de ônibus e carros elétricos em médio prazo como meios de transporte sustentáveis nesta cidade.

Os resultados encontrados demonstram a real possibilidade da eletrificação do transporte rodoviário no ambiente turístico analisado com amplos benefícios energéticos, ambientais e socioeconômicos, pois agrega de forma sinérgica a micro geração solar e eólica.

A partir destes estudos estão sendo concebidas pelo GRUVE metodologias de localização de eletropostos tendo como compromissos o acesso dos usuários, o comportamento da

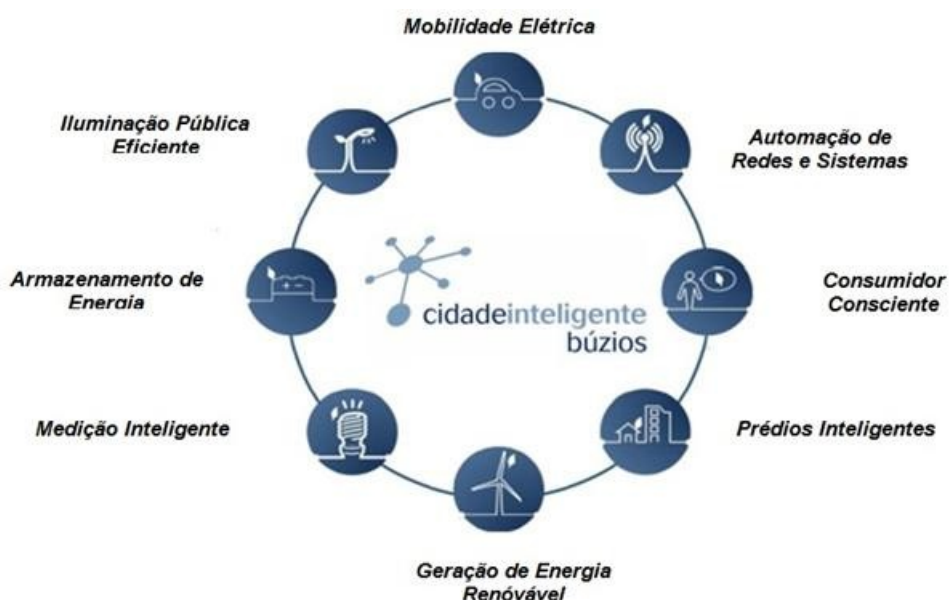
rede elétrica e a gestão inteligente das transações com os operadores deste novo empreendimento.

## 2. DIAGNÓSTICO - O “CASE” BÚZIOS

Trata-se de uma iniciativa pioneira na América do Sul promovida pela ENEL Distribuição Rio amparada pelos recursos provenientes da Lei nº 9991 de 24/07/2000 que outorga sua aplicação à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e que contou com o apoio institucional do Governo do Estado do Rio de Janeiro e da Prefeitura de Armação de Búzios.

Este projeto de P&D, Pesquisa e Desenvolvimento, teve como inspiração as bem-sucedidas experiências em Málaga, Espanha e Masdar em Dubai. Entre as principais motivações, a exemplo destas localidades, Búzios constitui um dos principais pólos turísticos costeiros da área atendida pela ENEL situado na área norte do Estado do Rio de Janeiro conhecida como Costa do Sol. É conhecido internacionalmente pelas belíssimas praias bem como a concorrida Rua das Pedras e a Orla Bardot, onde se encontra a escultura da famosa atriz cinematográfica e afluem milhares de turistas todos os anos que dispõe de numerosos hotéis e pousadas, lojas famosas e amplo centro gastronômico. Assim, o local escolhido se mostrou adequado às necessidades da empresa para a implementação de um laboratório cujas instalações funcionam na cidade servindo aos seus habitantes e tendo como objetivo o desenvolvimento e a utilização de tecnologias promissoras de redes inteligentes de energia. Neste sentido, houve uma ênfase nas investigações tecnológicas voltadas para a eficiência energética, o meio ambiente, a mobilidade sustentável e a inserção social das novas concepções do uso da energia e dos meios de transporte. O projeto de P&D teve início em 2011 e terminou em 2016 e dedicou-se aos temas ilustrados na Figura 1 que aponta os temas abordados.

Figura 1 – Temas do Projeto de Pesquisa da Cidade Inteligente Búzios



O município de Armação de Búzios conta atualmente com uma população de 31674 habitantes distribuída numa área total de 70278 km<sup>2</sup>. O IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) é 0,728 de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. O

suprimento de energia elétrica é efetuado por uma subestação 69/13,8 kV equipada com dois transformadores de 25 MVA conectados a sete alimentadores. A frota dos veículos mais utilizados na cidade é apresentada na Tabela 1, tomando como referência a base de dados de 2016 do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN:

Tabela 1 - Frota dos Veículos Mais Utilizados em Armação de Búzios (DENATRAN 2016)

Veículos	Quantidade	Veículos	Quantidade
Ônibus	64	Caminhões	358
Micro-ônibus	326	Camionetas	807
Motocicletas	3477	Caminhonetes	1298
Motonetas	1030	Carros	10167

No período de 2010 a 2015 houve mudanças significativas em Búzios no que tange às frotas veiculares. Enquanto o aumento de carros foi de 57,6% o de motocicletas foi de 70%, o de motonetas de 25% com um aumento expressivo de ônibus 47,5% e de micro-ônibus, este de 25%, conforme disponível em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Destaca-se a inclusão de aluguel de bicicletas elétricas por empresa de turismo da região. Este município conta ainda com expressivo número de táxis rodoviários e táxis-aquáticos. Estes dados demonstram uma tendência quanto ao aumento de transporte público e uma busca por veículos mais sintonizados com a questão relativa à mobilidade urbana que no período de festas de fim de ano e carnaval se deteriora por conta do grande fluxo de turistas, visitantes e proprietários de moradias de veraneio.

A construção do Centro de Monitoramento e Pesquisas – CMP, no âmbito do projeto Cidade Inteligente Búzios, inaugurado em 2012, permitiu abrigar as iniciativas relacionadas às experiências realizadas e servir para reuniões, palestras e eventos. O CMP fica situado na principal via da cidade, Avenida José Bento Ribeiro Dantas e conta com estação meteorológica, instalações de energia fotovoltaica e eólica bem como postos de recarga, desenvolvidos no âmbito do projeto pelos pesquisadores do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE da Uerj. Estes postos visam o reabastecimento de bicicletas e carros elétricos descritos neste texto. O CMP dispõe de uma exposição permanente de equipamentos e vídeos sobre os temas da pesquisa e fica aberto ao público para visitas em horários específicos.

A relação entre VEs e o transporte sustentável em ambientes turísticos se mostra cada vez mais pertinente. Um dos principais motivos é a diminuição sensível de emissões atmosféricas expelidas pelos canos de descarga de veículos a combustão interna, VCI, mesmo aqueles que utilizam biocombustíveis. De fato, ainda que os bicombustíveis se mostrem eficazes na redução dos impactos oriundos do dióxido de carbono fóssil sobre as mudanças climáticas, a sua queima degrada a qualidade do ar, uma vez que também emitem, entre outros poluentes, o monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, cujos danos são significativos [PECORELLI PERES, L. A.; PESSANHA, J. F. M.; SERRA, J. V. et alli, 2011].

Locais de turismo não combinam com emissões atmosféricas e por esta razão os VEs a bateria e célula de combustível se mostram altamente propícios. Neste sentido, são propostos indicadores de qualidade do ar e sonora a exemplo do trabalho publicado por [SILVA, Lígia T. et MENDES, José F. G., 2012] que utilizou a cidade de Viana do Castelo, em Portugal, para aplicação do método que permite uma visualização geográfica da

distribuição normalizada destes índices para cada poluente do elenco considerado. Em geral, centros urbanos são vítimas do teor elevado das emissões veiculares à combustão interna. Áreas restritas como parques, jardins botânicos, jardins zoológicos e as mais diversas atividades de lazer se tornam mais agradáveis quando incorporam pequenos VEs não rodoviários aos seus trajetos e são inúmeros os exemplos da sua aplicação. Este contexto está presente no conceito de turismo sustentável apresentado por [BARTHOLLO, Roberto; DELAMARO, Mauricio et BADIM, Luciana; 2005] quanto ao emprego de ônibus, serviços de táxis e bicicletas com tração elétrica.

Do ponto de vista das empresas distribuidoras de eletricidade é promissor o aumento de venda de energia para recarga dos VEs principalmente em horário noturno. Há também a possibilidade destes veículos, futuramente, quando em recarga, se tornarem capazes de suprirem momentaneamente estas redes em caso de interrupções de fornecimento tornando-se uma espécie de “no-break” da instalação da qual resultou a sigla V2H (*Vehicle to Home*). Entretanto, em situação normal, os sistemas de distribuição de energia elétrica deverão ter a capacidade de abastecer as baterias destes veículos quando necessário. Trata-se de um processo estocástico que depende de variáveis aleatórias relacionadas com o momento da conexão do veículo à rede e o tempo que permanecerá ligado em recarga que, por sua vez, depende da distância previamente percorrida. Os itens que se seguem descrevem as iniciativas relacionadas com a mobilidade elétrica no âmbito da Cidade Inteligente Búzios conforme [PECORELLI PERES, L. A. et al, 2015].

### 3. PROPOSIÇÃO E RESULTADOS

#### 3.1 Proposição e Dados Utilizados

Para efeito da análise pretendida foi considerado o alimentador de Armação de Búzios, denominado BUZ05, que supre o CMP e diversas áreas turísticas importantes da cidade com uma capacidade normal de 11,24 MW. Assinala-se que de uma maneira geral, cidades turísticas possuem uma demanda de energia elétrica influenciada por fatores sazonais. Isto pode se tornar um elemento crítico em termos de recuperação dos investimentos, uma vez que a capacidade da rede de abastecimento passa a ser dimensionada em função da demanda da estação do ano de maior afluência de turistas. Como consequência a rede é menos utilizada nos demais períodos. No caso de Búzios, os meses de verão a população flutuante na cidade cresce de maneira significativa influenciando, portanto, a sua demanda de potência ativa. Neste sentido, foram analisadas as curvas diárias destas demandas considerando como referência o ano de 2013 para investigar este comportamento. A Figura 2 mostra a curva diária da ocorrência de demanda máxima do alimentador BUZ 05. Note-se que o critério de medição das empresas de energia elétrica adota a demanda média de potência ativa em intervalos de 15 minutos. Os dados constantes da Tabela 2 permitem constatar as variações sazonais mencionadas.

Figura 2 – Curva Diária de Ocorrência de Demanda Máxima do BUZ 05 em 2013

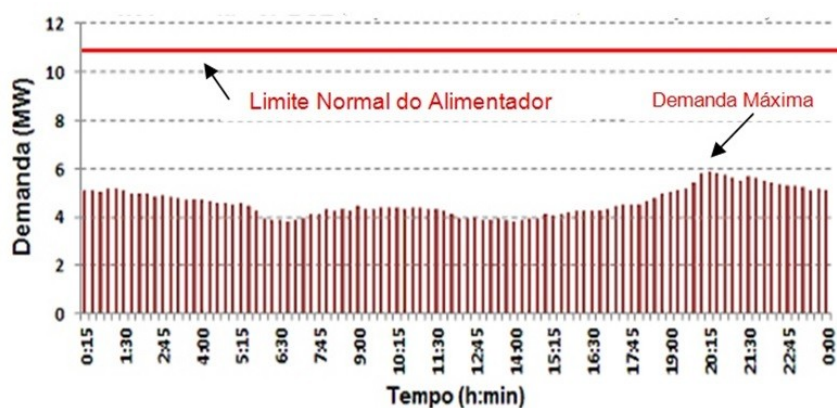


Tabela 2 – Análise do Comportamento Sazonal da Demanda e Energia do Ano de 2013

Comportamento	Dia e Mês	Horário	Demanda Máxima na Data (MW)	Energia Diária (MWh)	Mínima Demanda na Data (MW)
Data da Demanda Máxima Anual (A)	29/12 (Domingo)	20:15	5,89	443,71	3,89
Data da Demanda Mínima Anual (B)	01/08 Quinta Feira	3:45	3,22	184,78	1,03
Variações (A/B) (%)	n.a	n.a	182,9%	140%	277%

A observação dos dados da Tabela 2 permitiu constatar o comportamento elétrico típico de uma área como Búzios que apresenta variações sazonais e diárias de demanda de energia e potência elevadas e de grande influência sobre o suprimento da recarga de VEs na região estudada, merecendo atenção redobrada a demanda máxima de potência ativa.

Com este objetivo foram desenvolvidas metodologias inovadoras para determinar o planejamento da localização da infraestrutura de recarga, a evolução do ingresso de VEs na frota do município, bem como os postos de recarga para carros, inclusive táxis, e bicicletas elétricas. Dois requisitos importantes foram adotados: a ênfase na mobilidade elétrica e a capacidade da rede de distribuição sem que sejam necessários novos investimentos até 2025. A Tabela 3 indica as características técnicas dos veículos estudados.

Tabela 3 – Características Técnicas dos Veículos Elétricos a Bateria Adotados

Tipo de Veículo Elétrico a Bateria	Potência do Carregador (kW)	Baterias		Tensão de Recarga (V)	Autonomia (km)	Montadora
		Energia (kWh)	Tempo para Recarga Plena (h)			
Ônibus	80	324	4 h	380 (trifásica)	250	BYD 40 ft
Bicicletas	0,10	0,5	5	127 ou 220	30	E.Bike – S LEV
Carros	3,2	19	8	220	100	Palio Weekend Elétrico Parceria da Fiat e Itaipu Binacional com MES-DEA da Suíça

A Tabela 4 apresenta os dados utilizados na simulação e verificação do ingresso de ônibus elétricos e na Tabela 5 os dados para as projeções de inserção de carros e táxis.

Tabela 4 – Dados Utilizados nas Projeções da Inserção de Ônibus Elétricos em Búzios

Tipo de Veículo Elétrico a Bateria	Potência do Carregador (kW)	Baterias		Tensão de Recarga (V)	Autonomia (km)	Montadora e Modelo Adotado
		Energia (kWh)	Tempo para a Recarga Plena (h)			
Ônibus	80	324	4 h	380 (trifásica)	250	BYD - 40 ft
Bicicleta	0,10	0,5	5	127 ou 220	30	LEV - E bike S
Carro	3,2 (2)	19	8	220	100	Fiat e Itaipu Binacional Palio Weekend Elétrico

Tabela 5 - Dados Utilizados nas Projeções da Inserção de Carros e Táxis Elétricos em Búzios

Descrição	Valor	Observações
Taxa de crescimento médio da frota de carros convencionais	9%	DENATRAN Período 2010 a 2014
Taxa de penetração de carros elétricos em relação ao crescimento da frota de carros convencionais	3%	Taxa em relação ao crescimento da frota de carros convencionais (1)
Demanda da recarga do carro elétrico (kW)	3,2	-
Distância Média Diária (km)	30	Aproximadamente 70% da média nacional
Consumo Diário de Recarga (kWh)	6	-
Tempo estimado de Recarga (horas)	2,4	-
Tensão de Recarga (V)	220	-
Taxa de crescimento da demanda máxima devido à recarga de carros elétricos	3%	Vide (2)
Fator de Diversidade da Incidência de Carros em recarga no horário de ponta em um mesmo alimentador	0,12	Modelagem Matemática Probabilística Descrita em (3)
Fator de Diversidade dos Alimentadores	0,30	Estimado

(1) <http://cleantechnica.com/2015/08/03/electric-car-infographic-with-ton-of-fun-stats/>

(2) <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PDE2023.pdf>

(3) [PEREIRA, Windson B.; PECORELLI PERES, L.A.; PESSANHA, José F.; 2015]

### 3.2 Resultados

A metodologia de projeção do comportamento da recarga de VEs que utiliza métodos estocásticos [PEREIRA, Windson B.; PECORELLI PERES, L.A.; PESSANHA, José Francisco; 2015] permitiu demonstrar que é possível os sete alimentadores de Búzios suprirem com folga o ingresso de 394 carros no período estudado. Quanto aos ônibus



elétricos constatou-se a possibilidade da substituição gradativa de 40 ônibus a combustão interna por ônibus elétricos no mesmo período. Neste caso, como foi verificada a possibilidade da sua recarga ser realizada em horário noturno, não coincidente com o período de demanda máxima, não há restrições quanto à escolha do alimentador para suprir os postos de recarga destes veículos. Assinala-se que o suprimento de energia elétrica às baterias dos ônibus elétricos constitui um processo determinístico uma vez que a sua recarga é possível de ser programada, ao contrário dos carros e táxis que é, em geral, aleatória. A operação de frotas de ônibus exige que no horário de *rush* elas estejam quase toda disponível nos trajetos urbanos tendo em vista a grande demanda de passageiros. Como este horário coincide com o período de ponta da rede conclui-se que apesar dos ônibus elétricos exigirem uma maior demanda de energia, é adequada a sua inserção uma vez que é possível adaptar o seu reabastecimento a uma logística noturna conforme proposto em [DE PANTIS, Lucas; PECORELLI PERES, L.A.; KREMPSE, André R., 2016]

A energia total para suprir os VEs no período analisado e sem que haja ultrapassagem da capacidade da rede e, portanto, evitando investimentos adicionais totaliza 23 GWh. A frota de apenas 40 ônibus elétricos representa 70% desta energia. Além disso, não se prevê limitações quanto à inserção de bicicletas e motonetas elétricas, cujas potências dos respectivos carregadores se situam em faixas comparáveis às demandas de eletrodomésticos usuais.

O projeto Cidade Inteligente Búzios proporcionou a introdução do uso de bicicletas elétricas pela polícia municipal, conforme foto da Figura 3 e também no controle de endemias, em especial da dengue, conforme foto da Figura 4. Estas frotas foram entregues à Prefeitura de Armação de Búzios em solenidades públicas que contaram com a presença de autoridades governamentais, gestores da ENEL e a população em geral.

Figura 3 – Frota de Bicicletas Elétricas Utilizadas pela Guarda Municipal de Búzios





Figura 4 – Bicicletas Elétricas da Secretaria de Saúde de Búzios para Combate e Fiscalização de Endemias



As simulações ambientais mostraram que é possível evitar a emissão de 14000 toneladas de dióxido de carbono fóssil com os VEs considerados no período de estudo. Estima-se que o número de carros elétricos encontrados excede à frota de táxis existentes o que traduz uma perspectiva atraente para uma cidade turística do porte de Búzios. Ressalte-se que a eletrificação do transporte rodoviário de Búzios, tanto pelo ingresso de VEs leves, tais como bicicletas ou motonetas e por carros e táxis, pode ser ampliada por um período mais extenso sem que afete a capacidade da rede uma vez que os resultados são conservativos. O impulso da mini e a micro geração solar distribuída se associa de forma sinérgica à eletrificação do transporte rodoviário [ROCHA, P. E. Darski; dos ANJOS, Carla Fabiana; SILVA, Caio G. 2015]. Em Búzios, é notória a alta radiação solar disponível o ano inteiro

A Figura 5 assinala as fotos do CMP, tanto da parte interna, à esquerda, como da externa, à direita, onde se encontram os postos de recarga especialmente desenvolvidos para carros e bicicletas elétricas. Na parte externa estão sendo recarregados dois VEs Nissan Leaf e na parte interna duas bicicletas elétricas, todos simultaneamente.

Figura 5 – Recarga de VEs no CMP em Búzios



Os estudos e modelos matemáticos desenvolvidos se basearam em medições de qualidade de energia na rede de distribuição de Búzios, em presença da recarga de VEs. Estas atividades foram decisivas para a realização das projeções apresentadas. É altamente necessária a continuidade dos trabalhos para atender as percepções e necessidades estratégicas das empresas de distribuição.

Os protótipos dos painéis de recarga para carros, bicicletas e motonetas elétricas podem ser aprimorados para se transformarem em produtos de baixo custo visando atender de forma segura postos públicos, empresas e residências. Neste sentido estão sendo enviadas propostas para obtenção de recursos financeiros e materiais às entidades de fomento.

Foram submetidos questionários relativos ao desempenho das bicicletas elétricas junto aos servidores municipais de Búzios tanto da Guarda Municipal como da Secretaria de Saúde. A grande maioria dos usuários que foram entrevistados considera que há uma melhoria significativa na execução das tarefas tendo em vista a maior produtividade alcançada com maior conforto, destacando-se uma rapidez maior ao exercê-las com bicicletas elétricas cuja autonomia foi considerada satisfatória. Também participaram destas entrevistas visitantes hospedados em pousadas que alugaram bicicletas elétricas. De uma maneira geral a avaliação foi positiva pelo lazer proporcionado e a rapidez de deslocamento até às praias evitando contratempos de trânsito e altos custos relativos ao estacionamento que são escassos [JIDA, Idris Adeyinka et allii, 2014]

Fez parte do projeto de pesquisa descrito neste trabalho o planejamento da rede de abastecimento de carros, táxis, bicicletas e motonetas. Esta atividade propiciou o estudo e análise dos requisitos metodológicos da infraestrutura de estações de recarga. Coube assim, o estabelecimento de diretrizes para a mobilidade e a infraestrutura veicular elétrica da Cidade Inteligente Búzios no que tange aos critérios técnicos levando-se em conta os seguintes elementos:

- Descrição dos VEs disponibilizados para o projeto e suas principais características técnicas;
- Definição dos requisitos do local de instalação das estruturas de recarga;
- Definição das tensões de alimentação das estruturas de recarga com base no padrão da tensão de fornecimento da ENEL Distribuição Rio;
- Proposição dos modelos de estruturas de recarga, visando atender as necessidades do projeto de pesquisa;
- Concepção de uma tecnologia de medição integrada à rede de medição do projeto;
- Análise dos aspectos de proteção e segurança das instalações elétricas;
- Especificação técnica das instalações elétricas das estruturas de recarga do projeto;
- Inspeção detalhada da escolha dos locais candidatos quanto à adequação física em termos de acesso, espaço e tipo de pavimentação bem como adequação elétrica em termos de capacidade da rede. Neste sentido sempre que possível optou-se por

localizações em estacionamentos como supermercados, bancos, shoppings etc. nas quais os VEs podem ser recarregados enquanto o usuário esteja realizando outras atividades.

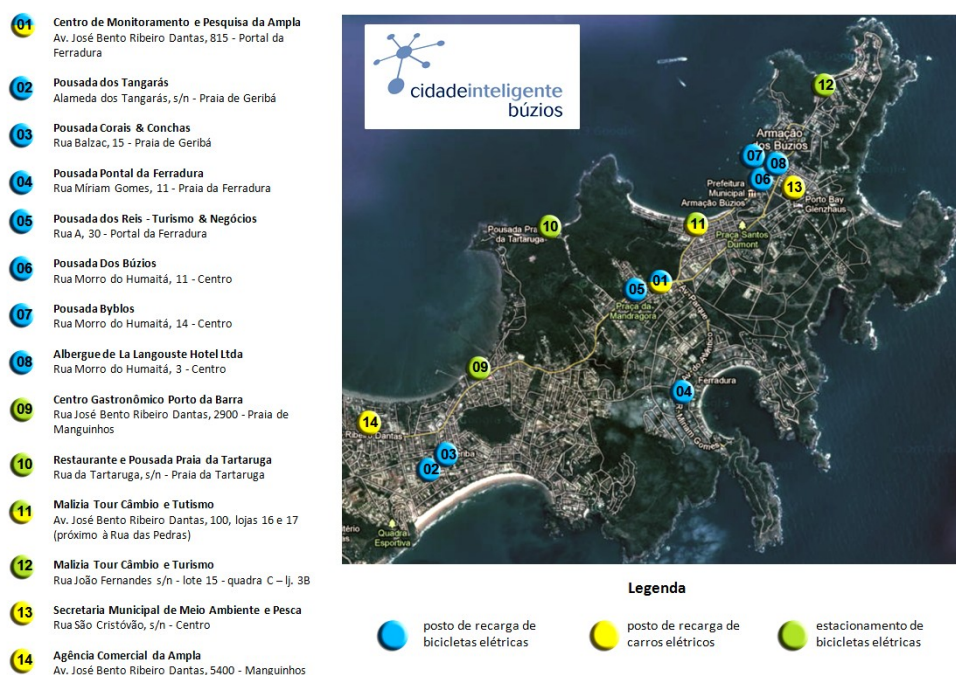
- Atenção às normas da ENEL Distribuição – Rio, em especial contidas no documento “Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária” que se encontra disponível no site [http://www.eneldistribuicao.com.br/rj/documentos/FEE\\_R-01.pdf](http://www.eneldistribuicao.com.br/rj/documentos/FEE_R-01.pdf).

- Análise da topologia de Armação de Búzios

A aplicação destas diretrizes também atendeu às orientações relativas à parceria vigente na época entre a empresa de distribuição e a Associação de Hotéis de Búzios – AHB cujos estabelecimentos poderiam contar ou estar próximos de estações de recarga para bicicletas elétricas, conforme [PEÇANHA, Marcus Lellis P.; PECORELLI PERES, L. A.; CALDEIRA, Juliano Freitas, 2015]

A Figura 6 apresenta como resultado do estudo o planejamento concebido quanto à localização da infraestrutura de estações recarga de carros e táxis, assinaladas em amarelo, bem como, de bicicletas e motonetas elétricas assinaladas em azul, sendo os pontos exclusivamente em verde destinados a estacionamentos de bicicletas e motonetas elétricas.

Figura 6 – Planejamento de infraestrutura de recarga de VEs para Búzios



### 3.3 Perspectivas de Análise e Pesquisa

A experiência do GRUVE com a Cidade Inteligente Búzios, tendo como foco a mobilidade elétrica e as estações de recarga, resultou no aprofundamento dos aspectos que visam a otimização da escolha dos locais destas estruturas. Assim estão sendo estudadas também as questões preventivas destas instalações. Este item inicialmente faz uma abordagem deste tema, tendo como base o trabalho publicado em 2015 pela empresa *Hydro Québec* do Canadá [Hydro Québec, 2015].

Este enfoque se dirige especialmente às estações de recarga em áreas públicas. Para isto, critérios referentes às condições físicas do local e a disponibilidade de rede elétrica são importantes uma vez que, interagirão diversos órgãos, para o seu licenciamento, por exemplo, prefeituras, empresas de distribuição de energia elétrica e até mesmo o Corpo de Bombeiros.

O trânsito na área em estudo e o número esperado de usuários estão vinculados. Há uma associação entre o local de destino do usuário do VE e os tempos típicos da sua permanência que influenciam na duração da recarga. A Tabela 6 apresenta um exemplo de locais e tempos típicos de permanência conforme as diretrizes da *Hydro Quebec*.

Tabela 6 – Tempo de Permanência em Recarga em Relação ao Tipo de Local

Tempo de Permanência em Relação ao Tipo de Local					
Local	Loja	Restaurante	Centro de Convenção	Escritório	Hotel
Tempos Típicos de Permanência (h)	1/2	1	2	8	12

A pavimentação, a área de acesso e manobra, bem como o pleno conhecimento da rede de distribuição, seja aérea ou subterrânea, e também a de gás, água e esgoto são elementos essenciais para um bom projeto.

Outro elemento importante é a intensidade de circulação de veículos no local e a garantia de espaço para o trânsito de pedestres, bem como a proximidade da caixa de distribuição de circuitos conectados às diversas estações de recarga.

A [Hydro Québec, 2015], considera como áreas perigosas as que estão em torno das bombas de combustível ou dos respiradouros dos tanques de combustível. Os respiradouros podem ser uma fonte constante de vapor explosivo e apresentam risco de propagação de chama em tanques subterrâneos, o que aumenta o perigo. Alerta portanto, que as bombas de combustível são uma fonte esporádica de vapor explosivo, mas a zona de perigo é maior devido ao risco de aos derramamentos.

Estes elementos são essenciais para a concepção de novas metodologias de localização de postos de recarga, tendo como compromissos o acesso dos usuários, o comportamento da rede elétrica e a gestão inteligente das transações com os operadores deste empreendimento inovador. A localização ótima das estações de recarga é um problema de alta complexidade, por usar variáveis do tipo determinísticas e estocásticas.

Assim, é possível conceber procedimentos de otimização baseados em algoritmos evolutivos *metaheurísticos*, como os algoritmos genéticos – AG ou diferencial evolutivos – DE. Estas metodologias se comportam de maneira eficiente no tratamento de problemas com variáveis algébricas do tipo não-lineares inteiras mistas, contínuas ou discretas e freqüentemente do tipo estatísticas. Entre as restrições a serem consideradas citam-se: as econômicas, as de capacidade da rede, de conveniência, entre outras, conforme [S. CHEN, 2015].

Na parte econômica considera-se o custo da instalação das estações de recarga, da área onde serão instaladas, os equipamentos associados, a operação e a sua manutenção.

Além disto, o custo dos dispositivos eletrônicos entre outros que são necessários e cujo valor final varia diretamente com o número de terminais.

A restrição sobre a capacidade da estação de recarga dependerá do número de terminais e do número de VEs que estão conectados em recarga simultaneamente. Esta restrição deverá ser usada como um parâmetro no cálculo do fluxo de potência da rede a qual a estação estará conectada.

Nas restrições de conveniência, considera-se a proximidade da subestação que vai fornecer energia às estações de recarga aliando-se à expectativa do número de VEs que estarão utilizando este serviço, o tempo de reabastecimento e a distribuição dos horários de conexão à rede. Outras considerações referem-se, por exemplo, à percepção dos usuários futuros, no tocante à sua decisão sobre a recarga, qual caminho irá tomar e onde e quantos quilômetros de autonomia serão necessários. Esta decisão é influenciada pelas condições de tráfego, dos custos de eventuais pedágios, do custo da energia elétrica naquele momento e da localização das estações de recarga mais próximas, de acordo com [M. ALIZADEH, 2014].

Destaca-se ainda entre as funções do objetivo do planejamento das estruturas de recarga, a garantia quanto a qualidade da energia não ser afetada e quanto a confiabilidade da linha de distribuição que atende a este serviço. Neste sentido, deverão ser definidos índices como aqueles relacionados com a regulação da tensão de fornecimento [A. AWASTHI, 2016]. Outras funções consistem em encontrar o menor custo de implantação em conjunto com a maior eficiência e utilização, estas últimas associadas aos tempos de recarga, seja esta normal, acelerada, rápida ou super rápida.

#### 4. CONCLUSÕES

O tema mobilidade elétrica no âmbito da Cidade Inteligente Búzios proporcionou uma experiência de pesquisa bem promissora para o turismo sustentável. Quatro vertentes deste tema foram abordados: o comportamento da rede de distribuição perante a demanda de energia elétrica para o reabastecimento dos VEs, a ampliação da eficiência energética do transporte, os benefícios ambientais relacionados a qualidade do ar e às mudanças climáticas e o planejamento da localização de estações de recarga.

O trabalho realizado demonstrou que as redes de distribuição projetadas de forma adequada podem abrigar o ingresso das novas demandas relacionadas às formas típicas de penetração de VEs para atender a sua recarga sem que de imediato ou em médio prazo requeira expansão da rede.

São notórios os ganhos de eficiência energética e os benefícios ambientais esperados da eletrificação do transporte rodoviário em locais turísticos cabendo novas regulamentações e políticas públicas específicas a este respeito. Considera-se possível uma recuperação mais rápida dos investimentos neste setor. Parques temáticos que empregam intensamente VEs de pequeno porte e velocidade limitada demonstram esta perspectiva.

A utilização de métodos de otimização metaheurísticos para localização de estações de recarga apresenta-se como ferramenta valiosa para trabalhos futuros.

Por fim, cabe destacar que a edição deste trabalho coincide com a iniciativa da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura - UNESCO declarar 2017 como o Ano Internacional do Turismo Sustentável. Há desta forma, um espaço importante para a tecnologia veicular elétrica contribuir para os objetivos da UNESCO uma



vez que ela reconhece o enorme potencial da indústria do turismo, assinalando que envolve 10% da atividade econômica mundial e as ações contidas na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Acrescente-se que os dados da Organização Mundial do Turismo das Nações Unidas (United Nations World Tourism Organization – UNWTO) mostram a importância desta atividade como rota para a criação de empregos, gerando receitas para as comunidades que recebem os turistas representando cerca de 1 em 11 postos de trabalho em todo o mundo (<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/ia/about-this-office/prizes-and-celebrations/2017-international-year-of-sustainable-tourism/>).

## Agradecimentos

Os autores manifestam seus agradecimentos à ENEL Distribuição Rio, em especial ao Coordenador de P&D do projeto Cidade Inteligente Búzios Weules Fernandes Correia e toda a sua equipe bem como à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL pelo suporte de recursos aos desenvolvimentos apresentados neste trabalho. Acrescente-se a contribuição a este projeto dos demais integrantes do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE da UERJ, do engenheiro Antonio Nunes Jr., primeiro presidente da Associação Brasileira do Veículo Elétrico - ABVE, fundada em 2006 no Rio de Janeiro, do Professor Dr. João Carlos de Oliveira Aires da Universidade Santa Úrsula e do pesquisador Juliano Freitas Caldeira da PowerSave Soluções de Tecnologia em Energia Ltda – ME.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, Lígia T. et MENDES, José F. G.; *City Noise-Air: An environmental quality index for cities, Sustainable Cities and Society*: 4 (2012) 1 – 11, Department of Civil Engineering, University of Minho, Braga, Portugal; Journal Home Page: [www.elsevier.com/locate/scs](http://www.elsevier.com/locate/scs)

BARTHOLO, Roberto; DELAMARO, Mauricio et BADIM, Luciana; *Turismo e Sustentabilidade no Rio de Janeiro*: Rio de Janeiro: Garamond, 2005, 362 pag. ISBN: 85–7617–078-7

PECORELLI PERES, L. A.; PESSANHA, J. F. M.; SERRA, J. V. et al. Analysis of the Use of Electric Vehicles by Electric Utilities Company Fleet in Brazil. In: IEEE Latin America Transactions. [S.I.]. v. 9. n. 7. Dec. 2011.

PECORELLI PERES, L.A.; PEÇANHA, Marcus Lellis P.; PESSANHA, José Francisco; CALDEIRA, Juliano F.; *Development of Recharge Panels for Electric Vehicles at Buzios Smart City*: European Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Congress Brussels, Belgium, 2nd - 4th December 2015

PEREIRA, Windson B.; PECORELLI PERES, L.A.; PESSANHA, José Francisco: *Modelo de Simulação Estocástica da Recarga de Veículos Elétricos em Redes de Distribuição de Energia*: XVIII SPOLM Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro, Escola de Guerra Naval (EGN), 05 e 06 de agosto de 2015; ISSN 1806 – 3632

DE PANTIS, Lucas; PECORELLI PERES, L.A.; KREMPSEK, André R.: *Análise de Serviços de Transporte com Ônibus Elétricos em Estradas Parque*: 12º Salão Latino-Americano de Veículos Elétricos, Componentes e Novas Tecnologias; 01 a 03 de Setembro de 2016; Expo Center Norte, São Paulo, SP disponível em <http://www.gruve.eng.uerj.br/biblioteca.php?aed=0>

ROCHA, P. E. Darski; dos ANJOS, Carla Fabiana; SILVA, Caio G.: *Recarga Veicular Fotovoltaica Residencial Integrada a Rede de Distribuição*: 11º Salão Latino-Americano de Veículos Elétricos, Componentes e Novas Tecnologias; 24 a 26 de Setembro de 2015, Expo Center Norte, São Paulo, SP disponível em <http://www.gruve.eng.uerj.br/biblioteca.php?aed=0>

JIDA, Idris Adeyinka; PECORELLI PERES, L. A.; PESSANHA, Jose Francisco M.; MONTEIRO FILHO, Jader; PEÇANHA, Marcus Lellis P.: Avaliação do Uso de Veículos Elétricos por seus Condutores em Atividades de Lazer e Serviços Públicos com Ênfase na Mobilidade da Cidade Inteligente Búzios; 10º Salão Latino-Americano de Veículos Elétricos, Componentes e Novas Tecnologias; Expo Center Norte, São Paulo, 4 a 6 de Setembro de 2014, disponível em <http://www.gruve.eng.uerj.br/biblioteca.php?aed=0>

PEÇANHA, Marcus Lellis P.; PECORELLI PERES, L. A.; CALDEIRA, Juliano Freitas, 2015; Desenvolvimento e Instalação de Painéis de Recarga Inteligentes para Veículos Elétricos no Contexto da Cidade Inteligente Búzios: XVI Congresso Brasileiro de Energia, Centro de Convenções da FIRJAN – Rio de Janeiro RJ, 20 a 22 de outubro de 2015, disponível em <http://www.gruve.eng.uerj.br/download/2015XVICBE.pdf>

HYDRO Québec; Electric Vehicle Charging Stations: Technical Installation Guide, 2nd edition, August 2015.

A. AWASTHI, D. CHANDRA, S. RAJASEKAR, A. K. SINGH, A. D. V. RAJ AND K. M. PERUMAL, "Optimal infrastructure planning of electric vehicle charging stations using hybrid optimization algorithm," 2016 National Power Systems Conference (NPSC), Bhubaneswar, 2016, pp. 1-6.

S. CHEN, Y. SHI, X. CHEN AND F. QI, "Optimal location of electric vehicle charging stations using genetic algorithm," 2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Busan, 2015, pp. 372-375.

M. ALIZADEH, H. T. WAI, A. SCAGLIONE, A. GOLDSMITH, Y. Y. FAN AND T. JAVIDI, "Optimized path planning for electric vehicle routing and charging," 2014 52nd Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing