

ESTAÇÃO DE RECARGA COM SISTEMA HÍBRIDO AUTÔNOMO PARA VEÍCULO ELÉTRICO APLICADO À RESERVA EXTRATIVISTA TAPAJÓS-ARAPIUNS

Tatiane Silva Costa (UNICAMP) - tati_costa@rocketmail.com

Karen Barbosa de Melo (UNICAMP) - karen.bmelo@gmail.com

Marcelo Gradella Villalva (Instituição - a informar) - villalva@g.unicamp.br

Michelle Kitayama da Silva (HWU) - mk221@hw.ac.uk

Mehreen Gul Gul (Heriot-Watt) - m.gul@hw.ac.uk

Davide Pompermaier (Instituição - a informar) - davide@saudeealegria.org.br

Jussara Vanessa Salgado Batista (PSA) - jussara@saudeealegria.org.br

Resumo:

O agravamento das mudanças climáticas vem ocorrendo nas últimas décadas devido à alta dependência energética de combustíveis fósseis. O setor de transporte responde por aproximadamente 64% do consumo global de petróleo com uma alta taxa de emissão de CO₂. Os veículos elétricos (VE) são apresentados como uma das soluções para diminuir o impacto ambiental do uso do petróleo. Porém, seus impactos indiretos em relação ao uso da rede elétrica e da produção de energia podem diminuir seus benefícios. As estações de recarga com uso de sistemas híbridos de energia podem desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento e implantação bem-sucedidos de veículos elétricos em áreas remotas, assim viabilizar o uso dos carros elétricos para melhorar a qualidade de vida da população local. Neste trabalho, estuda-se um sistema híbrido fotovoltaico-diesel-bateria na reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, com aplicação de uma rota entre duas comunidades na Região Amazônica. Esse sistema híbrido é formado por um gerador fotovoltaico, sistema de bateria, gerador a diesel e a estação de recarga. Para esse propósito, o software Homer Pro foi empregado, de modo a balanço de energia, comportamento do sistema e análises de emissão de gases nocivos a saúde e meio ambiente. Os resultados mostraram o uso da estação de recarga com sistema híbrido composto por produções de energia de 88,4% a partir do sistema fotovoltaico e 11,6% a partir do gerador a diesel. Na comparação da emissão entre o uso do gerador a diesel isolado e inserido com fotovoltaico e bateria, mostra que o uso isolado emite aproximadamente 3 vezes a mais de poluentes. Portanto, demonstrando a viabilidade técnica e ambiental do projeto.

Palavras-chave: *Veículo elétrico, sistema híbrido, Homer Pro, estação de recarga, CO₂*

Área temática: *Mercado, economia, política e aspectos sociais*

Subárea temática: *Impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis*

ESTAÇÃO DE RECARGA COM SISTEMA HÍBRIDO AUTÔNOMO PARA VEÍCULO ELÉTRICO APLICADO À RESERVA EXTRATIVISTA TAPAJÓS-ARAPIUNS

Tatiane Silva Costa – tati_costa@rocketmail.com

Karen Barbosa de Melo – karen.bmelo@gmail.com

Marcelo Gradella Villalva – villalva@g.unicamp.br

Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação

Michelle Kitayama da Silva – mk221@hw.ac.uk

Mehreen Saleem Gul – m.gul@hw.ac.uk

Heriot-Watt University, School of Energy, Geoscience, Infrastructure and Society

Davide Pompermaier – davide@saudeealegria.org.br

Jussara Salgado – jussara@saudeealegria.org.br

Centro de Estudos Avançados de Promoção Social e Ambiental

Área: 7. Mercado, economia, política e aspectos sociais

Subárea: 7.2. Impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis

Resumo. *O agravamento das mudanças climáticas vem ocorrendo nas últimas décadas devido à alta dependência energética de combustíveis fósseis. O setor de transporte responde por aproximadamente 64% do consumo global de petróleo com uma alta taxa de emissão de CO₂. Os veículos elétricos (VE) são apresentados como uma das soluções para diminuir o impacto ambiental do uso do petróleo. Porém, seus impactos indiretos em relação ao uso da rede elétrica e da produção de energia podem diminuir seus benefícios. As estações de recarga com uso de sistemas híbridos de energia podem desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento e implantação bem-sucedidos de veículos elétricos em áreas remotas, assim viabilizar o uso dos carros elétricos para melhorar a qualidade de vida da população local. Neste trabalho, estuda-se um sistema híbrido fotovoltaico-diesel-bateria na reserva extrativista Tapajós-Arapiuns, com aplicação de uma rota entre duas comunidades na Região Amazônica. Esse sistema híbrido é formado por um gerador fotovoltaico, sistema de bateria, gerador a diesel e a estação de recarga. Para esse propósito, o software Homer Pro foi empregado, de modo o balanço de energia, comportamento do sistema e análises de emissão de gases nocivos a saúde e meio ambiente. Os resultados mostraram o uso da estação de recarga com sistema híbrido composto por produções de energia de 88,4% a partir do sistema fotovoltaico e 11,6% a partir do gerador a diesel. Na comparação da emissão entre o uso do gerador a diesel isolado e inserido com fotovoltaico e bateria, mostra que o uso isolado emite aproximadamente 3 vezes a mais de poluentes. Portanto, demonstrando a viabilidade técnica e ambiental do projeto.*

Palavras-chave: Veículo elétrico, sistema híbrido, Homer Pro, estação de recarga, CO₂.

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional, tecnológico e industrial promoveu nas últimas décadas uma revolução no setor de mobilidade. Tanto o meio de transporte coletivo quanto o individual são compostos de veículos com motor de combustão interna (MCI). O MCI gera no uso de partículas poluentes causando problemas respiratórios, pois também é responsável por contribuir diretamente para o aquecimento global.

Além disso, a preocupação com o meio ambiente devido aos gases de efeito estufa emitidos pelos motores de combustão interna convencionais é vista como um fator importante que irá acelerar e sustentar o crescimento do uso de veículos elétricos (VE). Com os avanços tecnológicos nas áreas de armazenamento de energia, conversores eletrônicos de potência, controle e microeletrônica, espera-se que o VE seja seriamente alavancado na indústria automotiva.

De acordo com a IRENA¹, as vendas de veículos elétricos aumentaram aproximadamente 58%, ultrapassando a marca de 2 milhões em 2018. Até 2050, espera-se que haja mais de um bilhão de VE distribuídos entre ônibus, motocicletas, quadriciclos e caminhões.

No entanto, os veículos elétricos não são uma solução única perfeita para atender às metas de mitigação da poluição ambiental. Por serem dependentes de energia, em alguns casos, o alívio ecológico é mínimo. Parte da rede elétrica em muitos lugares do mundo é impulsionada pela queima de combustíveis fósseis, retornando ao mesmo problema inserido nos veículos de combustão interna.

¹ <https://www.irena.org/DigitalArticles/2019/Apr/How-To-Transform-Energy-System-And-Reduce-Carbon-Emissions>

Entre as desvantagens do VE está sua fabricação, onde é necessária mais energia que os veículos convencionais, especialmente para a fabricação de estoques. O descarte de baterias no final de sua vida útil também é um problema a considerar.

Apesar de algumas desvantagens, os carros elétricos fazem parte de um conjunto de soluções que estão sendo estudadas e estruturadas para um futuro não tão distante, no qual as questões ambientais e energéticas serão obstáculos significativos à sociedade.

Algumas questões levantadas podem ser mitigadas, por exemplo, investindo em sistemas de energia renováveis como solar fotovoltaica (FV) e eólica para alimentação do banco de baterias dos VE.

Porém, o uso de veículos elétricos hoje é restrito (no geral) a áreas urbanas onde o meio de transporte é algo consolidado e de melhor acesso. Áreas remotas no Brasil e no mundo apresentam dificuldades no setor de transporte que é um dos elos fundamentais da vida em sociedade, pois é partir dele que as pessoas podem se deslocar mais facilmente e participar das diversas atividades de que desejam. Essas regiões são marcadas pela dificuldade de acesso à educação, saúde, saneamento, entre outras necessidades básicas para sobrevivência.

A região Amazônica é responsável por cerca de 61% do território brasileiro segundo o IBGE² e é objeto de enormes pressões para a apropriação de seus recursos naturais e para a sua ocupação, que ocorre nos últimos anos de maneira desenfreada e com grandes impactos. O setor de transporte nestas áreas é baseado no fluxo hidroviário que muitas vezes não garantem segurança adequada. Além de ser um meio de transporte mais lento, seu uso não facilita a vida da população que mora longe dos rios. Dessa forma, destaca-se a necessidade de um planejamento apropriado do sistema de transportes terrestre que colabore no deslocamento de pessoas de forma sustentável. Investir em tecnologias veicular mais ecológicas e fontes de energia renováveis possibilitando uma melhor infraestrutura, aumenta as chances de inserção da população local no desenvolvimento social e econômico. O acesso ao transporte ultrapassa as barreiras de deslocamento e corroboram para a maior ou menor exclusão (inclusão) das pessoas em atividades disponíveis em determinadas locais (Morgado *et al.*, 2013).

Os poucos veículos encontrados dentro dessas áreas remontam a tecnologias com baixa eficiência antigas baseadas em combustível fóssil, como as próprias embarcações também compartilham desse contexto colaborando na emissão de CO₂. Junto a isso está inserido nas áreas remotas a falta de acesso ao sistema interligado nacional, fazendo com que a forma predominante de acesso a sistemas de energia sejam a partir de grupos geradores à diesel que apresentam baixa qualidade na geração, com pouco acesso a manutenção e longo tempo de uso (anos) sem troca do componente. Tudo isso leva a contribuição de gases de efeito estufa em áreas sensíveis de preservação ambiental e grande exclusão social.

Neste contexto, este artigo enfoca uma revisão de veículos elétricos a bateria e o uso de estações de recargas isoladas com sistemas híbridos de energia (SHE) a partir de fonte FV para aplicação em áreas remotas.

2. VEÍCULOS ELÉTRICOS E ESTAÇÕES DE RECARGAS

Do ponto de vista ambiental, os motores de combustão interna geram impactos diretos, como as emissões de gases de efeito estufa. Ela tem um impacto direto na saúde humana da poluição do ar como resultado do processo de combustão da gasolina. Ao analisar veículos elétricos, as consequências são derivadas indiretamente de um conjunto de parâmetros que estão presentes principalmente na fabricação de baterias de lítio-íon a partir de metais pesados. Outra forma de impacto indireto está relacionada ao nível de poluição causado pelas fontes de geração da rede elétrica que fornecerá a energia. Os VE proporcionam um meio limpo, energeticamente eficiente e livre de ruído nos deslocamentos em comparação com veículos a gasolina (Moli *et al.*, 2016).

As estações de recargas fornecem a energia necessária para alimentar o banco de baterias dos carros elétricos, que neste caso será fornecida por um sistema fotovoltaico. O sistema para recarga FV-VE é dividido em duas categorias, que são sistemas de carregamento fotovoltaico conectado à rede elétrica e com sistema fotovoltaico autônomo (Ekren e Ekren, 2010). De forma simplificada, a distinção entre as duas arquiteturas é o inversor bidirecional, que é utilizado quando existe a conexão com a rede elétrica. A infraestrutura geralmente inclui como componentes os módulos fotovoltaicos, conversor CC-CC e/ou CC-CA com MPPT, unidade de armazenamento de energia e inversores (Youssef *et al.*, 2018). Para acelerar a eficiência de carregamento de um VE, é necessário instalar uma estação de carregamento de maior potência na qual a bateria pode ser carregada em cerca em menor tempo. Por outro lado, a desvantagem do carregamento rápido é a alta demanda de potência que exigiria do sistema FV autônomo ou do sistema híbrido de energia (Domínguez-Navarro *et al.*, 2019).

Os sistemas autônomos fotovoltaicos com estações de recargas de VE estão sendo amplamente utilizados em muitas pesquisas que já contam com as instalações realizadas ou estudos teóricos em andamento. Ríos *et al.* (2017) descreve em seu trabalho o processo de projeto, dimensionamento e instalação da primeira estação solar de carregamento de veículos elétricos fotovoltaicos isolados do Equador. Em que a construção da estação solar de carregamento está enquadrada na preocupação do Estado equatoriano de promover a integração de energias renováveis no transporte urbano e em áreas isoladas do país. Além disso, pode ser instalado nas Ilhas Galápagos permitindo resolver o problema do transporte terrestre nas ilhas com o uso de tecnologias renováveis massificadas, atualmente competitivas técnica e economicamente. Veermak e Kasukana (2014) apresentam um estudo sobre as estações de recarga de energia renovável que podem desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento e implantação bem-

² Informação disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>

sucedidos de veículos elétricos em áreas não conectadas à rede elétrica. Este artigo discute as possibilidades de uso da estação elétrica de carregamento de baterias Tuk-tuk nas áreas rurais da República Democrática do Congo (RDC). A estação de carregamento proposta é alimentada por fonte de energia renovável, como a energia eólica ou fotovoltaica (PV), usada como autônoma ou em configuração híbrida com sistema de armazenamento de bateria para evitar o uso de geradores a diesel ou tensões adicionais na rede elétrica muito fraca, onde está acessível. Bokopane *et al.* (2014) discute as possíveis estratégias de carregamento que podem ser implementadas para encontrar a melhor configuração possível de uma estação de carregamento elétrica para Tuk-Tuk em um determinado local na África do Sul. Em que o sucesso da estação de carregamento de veículos elétricos movidos a fontes renováveis em áreas isoladas depende muito da disponibilidade e sustentabilidade de recursos renováveis durante todo o ano em um local selecionado. Outros autores também contribuem para o estudo desse tema como Colak *et al.* (2015), Guedes (2019), Abella *et al.* (2003), Escalante *et al.* (2018), Mouli *et al.* (2016), entre outros.

2.1 Breve histórico sobre veículos elétricos

Apesar de prevalecer hoje, veículos híbridos e elétricos não são inovações recentemente desenvolvidas. A narrativa sobre veículos elétricos começa em meados do século XIX. A construção de veículos elétricos tem uma ligação direta com o desenvolvimento de baterias. A primeira bateria de chumbo-ácido projetada pela Gastón Plante em 1859 foi usada por muitos carros desde o início da década de 1880 na França, nos EUA e no Reino Unido. Durante a segunda metade da mesma década, o primeiro motor de combustão interna é apresentado. Em 1903, havia cerca de 4.000 carros registrados na cidade de Nova York, 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% a eletricidade. Mas nesse mesmo período, o número de combustão interna do carro foi 30 vezes mais significativo e a partir da década de 1930 os VE entram em declínio (Baran e Legey, 2010).

Os primeiros debates sobre veículos elétricos ressurgiram a partir da década de 1980 com a percepção da poluição das grandes cidades pela emissão de gases de combustíveis fósseis abre espaço para discussões sobre formas de mitigar essa situação. Na mesma década, muitas pesquisas surgiram sobre o uso de energias alternativas e novas tecnologias de transporte com foco no desenvolvimento sustentável.

Em 1992, o plano de ação da Agenda 21 discutido na conferência Rio-92 sobre o aquecimento global resultante das emissões de gases de efeito estufa marcou o início do pacto global sobre a necessidade de reduzir a dependência de energia fóssil. Como resultado, os veículos elétricos se destacam novamente em pesquisa e desenvolvimento.

2.2 Categorias e componentes

Os veículos elétricos (VE) são classificados como veículos elétricos à bateria (*Battery Electric Vehicle - BEV*) e a outra categoria são os híbridos, que incluem motores elétricos com motores de combustão interna. Os híbridos (*Hybrid Electric Vehicle - HEV*) têm mais de uma estratégia para o uso de motores de combustão que só podem ser usados para carregar baterias ou dividir a função de tração dos veículos. O último tipo disponível é o híbrido plug-in (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV*), que é construído com um mecanismo de combustão interna associado ao uso da rede elétrica que pode fornecer recarga das baterias.

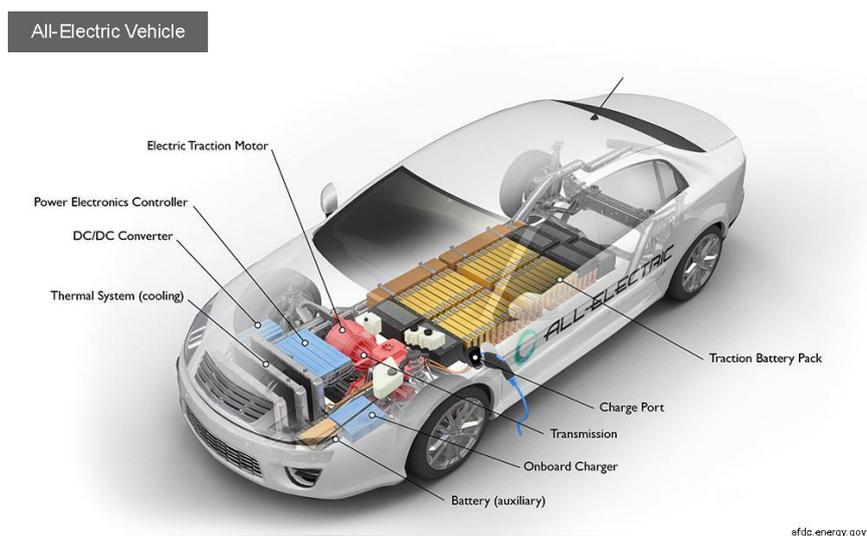


Figura 1 - Partes de um veículo elétrico. Fonte: AFDC, 2019.

Veículos totalmente elétricos ou veículos elétricos a bateria apresenta o motor elétrico em vez de um motor de combustão interna. O veículo utiliza uma bateria de tração grande para alimentar o motor elétrico e deve ser conectado a uma estação de carregamento ou tomada de carregamento.

De acordo com a Fig. 1, os componentes de um veículo elétrico movido a bateria são (AFDC, 2019):

- Motor de tração elétrica: transforma a energia elétrica em movimento no carro. Vários tipos de motores elétricos podem ser usados para conversões CA e CC. Alguns veículos usam geradores de motores que executam funções de acionamento e regeneração;
- Bateria de tração: armazena eletricidade para uso do motor elétrico;
- Bateria auxiliar: em um veículo movido a eletricidade, a bateria auxiliar fornece eletricidade para alimentar os acessórios do veículo;
- Porta de carregamento: a porta de carregamento permite que o veículo se conecte a uma fonte de energia externa para carregar a bateria de tração;
- Conversor CC-CC: Este dispositivo converte energia CC de alta tensão da bateria de tração na energia CC de baixa tensão necessária para alimentar os acessórios do veículo e recarregar a bateria auxiliar;
- Carregador a bordo: ele pega a eletricidade CA de entrada fornecida pela porta de carregamento e a converte em energia CC para carregar a bateria de tração. Ele monitora as características da bateria, como tensão, corrente, temperatura e status da carga, enquanto carrega o pacote;
- Controlador eletrônico de potência: este componente gerencia o fluxo de energia elétrica fornecida pela bateria de tração, controlando a velocidade do motor de tração elétrica e o torque que ele produz;
- Sistema térmico (refrigeração): Mantém uma faixa de temperatura operacional adequada do motor, motor elétrico, eletrônica de potência e outros componentes;
- Transmissão (elétrica): a transmissão transfere energia mecânica do motor de acionamento elétrico para acionar as rodas.

2.3 Estação de recarga

A estação de carregamento também é conhecida como ponto de carregamento elétrico, ponto de carregamento e eletroposto, é a interface que faz a conexão entre os VE e a infraestrutura semelhante aos postos de gasolina que fornece eletricidade para recarregar as baterias. O processo de recarga do banco de baterias varia de acordo com o tipo de tecnologia utilizada, e atualmente existe uma excelente diversidade para aplicações em veículos. Cada tecnologia de bateria possui um tempo e forma de carregamento adequados para garantir segurança, confiabilidade do processo e manutenção da vida útil desses estoques (Pereira, 2015).

O cálculo do tempo que o banco de baterias de um BEV leva para carregar não é tão simples, pois deve-se levar em consideração os parâmetros como capacidade e estado de carga quando se conecta ao Eletroposto. Além disso, a taxa de carga suportada pela bateria pode influenciar na quantidade de energia que irá fluir da rede local que também poderá ser limitada pela potência da energia disponível no ponto de recarga (Rodrigues *et al.*, 2014).

3. SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGIA

Os sistemas híbridos de energia são caracterizados por ser um conjunto formado por duas ou mais fontes que podem ou não estarem conectadas à rede elétrica. As configurações podem incluir fontes de energia renováveis ou não renováveis, armazenamento de energia elétrica e química como também células à combustível onde a energia é armazenada para suprir a demanda por carga ou parte dela quando não há produção adequada de energia por fontes renováveis. Isso pode ocorrer, por exemplo, em dias nublados ou chuvosos ao implantar sistemas que envolvem energia solar (Costa, 2019).

Os SHE são frequentemente encontrados em áreas isoladas usam a combinação de fontes de geração fotovoltaica e diesel. Normalmente estes sistemas apresentam em sua estrutura o conjunto de painéis fotovoltaicos, controlador de carga, baterias, inversor, gerador a diesel e cargas. Nesses casos, o sistema fotovoltaico é a principal fonte para alimentar as cargas, havendo qualquer déficit na produção FV e as baterias atingirem sua capacidade máxima de descarga, o gerador a diesel é ativado manual ou automaticamente para suprir a demanda até que o sistema fotovoltaico estabeleça sua produção (Costa *et al.*, 2019).

A utilização de sistemas fotovoltaicos e eólicos combinados com geradores à diesel nos sistemas híbridos de energia, garantem as comunidades menor dependência de combustível fóssil, diminuição da emissão de gases de efeito estufa, maior confiabilidade, qualidade e menor oscilação na rede elétrica local na entrega de energia à carga final. Entretanto, é necessário que os projetos para essas aplicações considerem o uso de tecnologias mais eficientes e o dimensionamento adequado das unidades de geração para assegurar o desempenho operacional e o controle de despacho eficiente (Pinho *et al.*, 2008; Nehrir *et al.*, 2011).

4. ESTUDO E SIMULAÇÃO DE ESTAÇÃO DE RECARGA COM SISTEMA HÍBRIDO

A simulação apresentada é realizada levando em consideração o uso de BEV em zona de acesso remoto na região Amazônica, especificamente na Reserva Extrativista (Resex) Tapajós-Arapiuns. A sua aplicação é estudada com base nas grandes distâncias existentes nessa área que algumas comunidades enfrentam, principalmente crianças e mulheres, para conseguir acesso às escolas e roçados para trabalhar com trajetos mais seguros e rápidos.

A estação de recarga proposta, tem como fonte de alimentação um sistema híbrido a partir de energia fotovoltaica, diesel e baterias.

4.1 Perfil de carga e rota veicular

A criação do perfil de carga de um veículo elétrico é dependente da sua autonomia que pode variar a partir das condições de operação como velocidade de tráfego, variações bruscas de velocidade, troca e ou redução de marcha, etc. Partindo das premissas de aplicação do veículo, foi escolhido o Nissan e-NV200 (Fig. 2) que é 100% elétrico, tecnologia V2G, equipado com a mesma bateria de 40kWh que o Nissan LEAF. A autonomia máxima sugerida pelo fabricante é de 301 km em condições urbanas e 200 km em ciclo de condução combinado.



Figura 2 - Nissan e-NV200. Fonte: Nissan, 2019.

O carregamento pode ser realizado com um estação de recarga com potência de 6,6 kW, em que é permitido um carregamento rápido até de 80% do estado de carga (*State of charge – SOC*) das baterias entre 40 a 60 min, carregamento wallbox de 100% do SOC em cerca de 7h e com tomada doméstica levando cerca de 22h.

O perfil de carga para a simulação leva em consideração o pior caso para o VE com as baterias sendo descarregadas completamente todos os dias, considerando o ciclo de condução em estrada de terra e autonomia máxima de 200 km (Fig. 3). Com a rota sendo realizada cedo pela manhã, meio-dia e final da tarde, a recarga do VE é programada para ocorrer entre 9h às 11h e 14 às 17h.

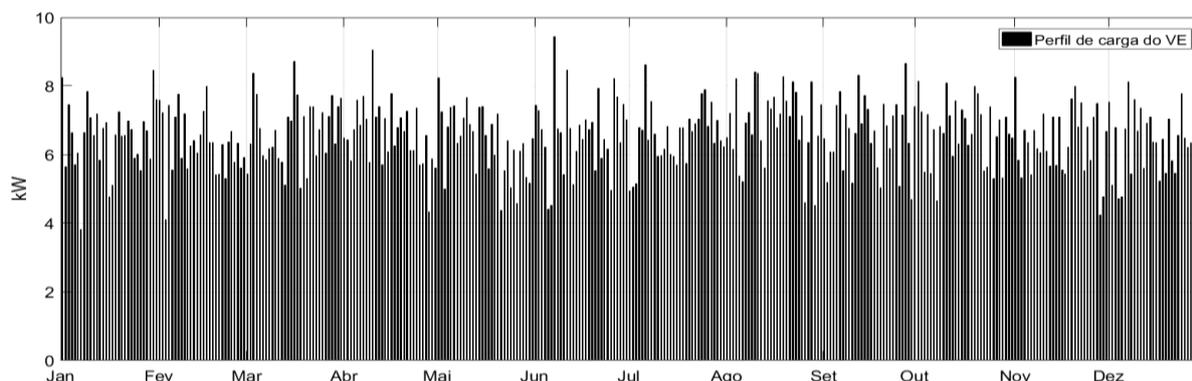


Figura 3 - Perfil de carga do VE com variabilidade de consumo diário de 15%. Fonte: Própria autoria, 2019.

A rota escolhida para realizar as simulações é entre as comunidades Anã e Maripá, dentro da Resex Tapajós-Arapiuns. O trajeto da Fig. 4 apresenta cerca de 9,83 km de distância entre os locais e é realizado por um veículo movido a combustão interna para levar crianças à escola mais próxima.

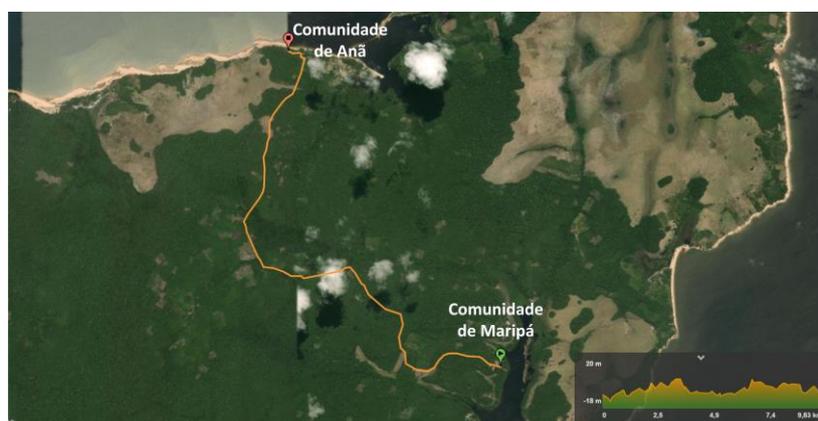


Figura 4 - Trajeto entre as comunidades de Anã e Maripá na Resex Tapajós-Arapiuns. Fonte: Própria autoria, 2019.

Essa rota é realizada aproximadamente 6 vezes/dia percorrendo o total de 58,98 km. Com autonomia de 200 km, o trajeto irá consumir cerca de 11,8 kWh da energia das baterias do VE, considerando apenas o parâmetro distância e ciclo combinado. Esse consumo irá aumentar ao simular com parâmetros reais de freagem, variação de velocidade, uso de acessórios como rádio, temperatura de operação do banco de baterias, entre outros que afetam diretamente a carga.

4.2 Potencial energético solar da região

Os dados solarimétricos da região são obtidos a partir da base da NASA, em que a média anual de radiação diária é 4,96 kWh/m²/dia. Porém, os dimensionamentos para sistemas isolados são baseados nos meses de menor potencial para garantir o maior tempo possível a geração solar suficiente e esses meses são março e maio (4,37 kWh/m²/dia) por se tratar de períodos chuvosos na região e setembro com maior índice de radiação diária de 5,93 kWh/m²/dia.

4.3 Descrição do sistema híbrido fotovoltaico-diesel-bateria

O veículo elétrico apresenta carga de 40 kWh para SOC de 100% das baterias e para alimentá-las foi dimensionado previamente um sistema híbrido de energia isolado. O sistema de energia é caracterizado pela alimentação da carga CA em uma rede elétrica de 127V ou 220V. O lado CC (corrente contínua) é composto pelo sistema fotovoltaico de 16 kWp, com 50 módulos FV de 320W conectados ao controlador híbrido que irá operar em conjunto com um inversor Sunny Island da SMA para executar o gerenciamento de energia entre as fontes e cargas. É utilizado um banco de baterias de lítio ferro-fosfato de 11,2 kWh de armazenamento total, cada unidade de 2,8 kWh com capacidade nominal de 110Ah e 24Vcc. O sistema conta com um gerador a diesel de potência de 10kW ligado ao lado CA (corrente alternada) para estabilidade da rede elétrica local e backup como mostra a Fig. 5.

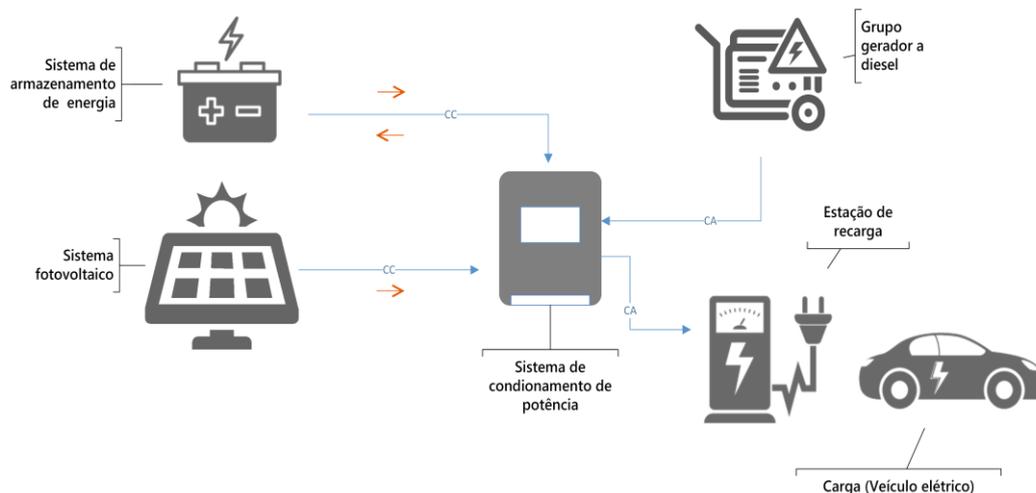


Figura 5 - Sistema híbrido para estação de recarga. Fonte: Própria autoria, 2019.

A estratégia operacional para o sistema híbrido visa reduzir o consumo de combustível diesel ao dimensionar um sistema FV que cederá minimamente 80% da energia necessária, garantindo a disponibilidade contínua de abastecimento da carga. O excedente de produção FV é cedido ao banco de baterias. Se a fonte primária e a energia armazenada não puderem atender à demanda, o gerador a diesel será ativado até que a geração renovável seja estabelecida. A alternância entre a fonte renovável e a não renovável deve ser realizada de forma automática pelo sistema de condicionamento de potência para segurança do próprio SHE, melhor gestão das fontes e performance.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o propósito de entender o comportamento do sistema híbrido para a estação de recarga, as simulações foram realizadas com o software Homer Pro Energy. O caso simulado tem como premissa o tempo de carregamento do banco de baterias do Nissan e-NV200. A tomada elétrica do dispositivo de recarga a ser usado tem potência máxima de 6,6 kW com instalação monofásica ou trifásica.

A estratégia de recarga prevê o que o VE carregue suas baterias por 7h ao dia quando não está realizando os trajetos e aproveitando a máxima capacidade de geração do sistema FV ao longo do dia. Porém, outras estratégias podem ser agregadas ao uso do Nissan e-NV200.

A simulação é executada com a inserção dos dados de entrada como potencial solar, componentes e perfil de carga no Homer Pro, onde diferentes combinações das fontes, componentes e despacho de energia são listadas nos resultados e categorizadas. Como entrada foram utilizados os dados de um gerador a diesel de 10 kW, painéis solares de 320 W da BYD, baterias de lítio ferro-fosfato da Discover AES de 110Ah e inversor Sunny Island da SMA.

Para tornar os resultados mais reais, foi inserido no perfil de carga uma variação de 15% (acima e abaixo do valor de 40kWh) do consumo no dia-a-dia. Essa variação é justificada porque o trajeto dentro da região Amazônica é realizado por estradas de terra que podem apresentar percurso mais difícil em alguns momentos com a presença de chuvas e mudanças no solo que afetam a forma de dirigir qualquer veículo, aumentando o número de troca de marchas, mudanças de velocidade, maior uso do sistema elétrico no geral. A partir disso o Homer Pro plota em seu sistema um perfil sintético, alterando o perfil de carga diária para um valor aleatório dentro das condições predeterminadas sem afetar o consumo diário e os picos de demanda. Dessa forma, o consumo diário é de 42 kWh, 16.790 kWh/ano com um pico de demanda máximo de 7 kW.

Os resultados mostram que o sistema híbrido fornece para a estação de recarga 88,4% de energia fotovoltaica e 11,6% do gerador a diesel, mostrando que o sistema é viável e que o uso de diesel é apenas para manter a rede elétrica estável e sendo backup em poucos momentos do ano quando existe baixa produção do sistema FV como pode ser visualizado na Fig. 6.

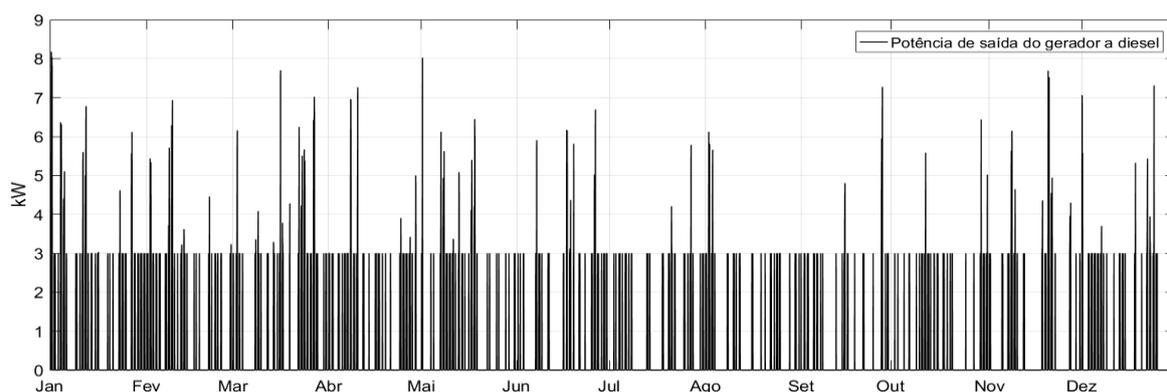


Figura 6 - Comportamento do gerador a diesel no sistema híbrido de energia. Fonte: Própria autoria, 2019.

O sistema FV do sistema é responsável pela produção de 22.259 kWh/ano (na Fig. 7 é visto a potência de saída do gerador fotovoltaico ao longo do ano), gerando excesso de quase 30% de energia. Isso ocorre no período de baixa da produção FV, fazendo com que o gerador a diesel atue com a potência mínima de 3 kW para manter certa eficiência do motor de combustão interna. A soma desses dois geradores provoca o aumento da produção de energia enviada a estação de recarga. Porém, diminuir a potência FV instalada terá como consequência o aumento da operação do gerador a diesel com maior uso de combustível e emissão de CO₂. Por se tratar de uma aplicação em área remota, o excesso de energia não passa a ser um problema, pois poderá ser incluído na operação do sistema alguma carga de menor prioridade e de uso comum a comunidade.

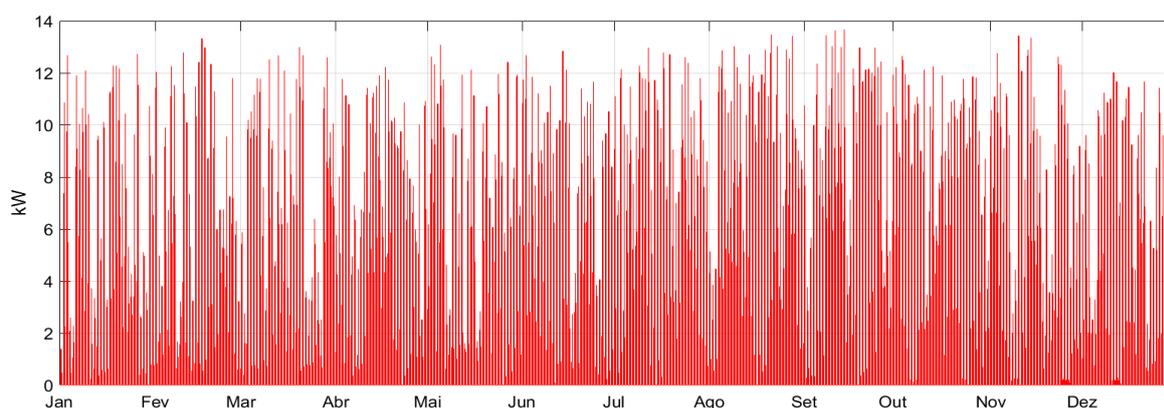


Figura 7 - Potência de saída do sistema FV. Fonte: Própria autoria, 2019.

O comportamento e performance do sistema híbrido na Fig. 8, em que é possível observar a variação criada entre os dias em relação ao consumo do Nissan e-NV200. Nesse período ocorre alta intermitência na produção FV e alguns dias baixa carga do banco de baterias que exige atuação maior do gerador a diesel. Porém, no dia 30/07 o sistema FV é suficiente para suprir a necessidade da carga, com o uso mínimo de energia armazenada enquanto o nível de energia solar alcance potencial que é exigido na estação de recarga. Durante todos os dias a energia solar mesmo em seus piores níveis de radiação, contribui com parte indispensável do sistema híbrido.

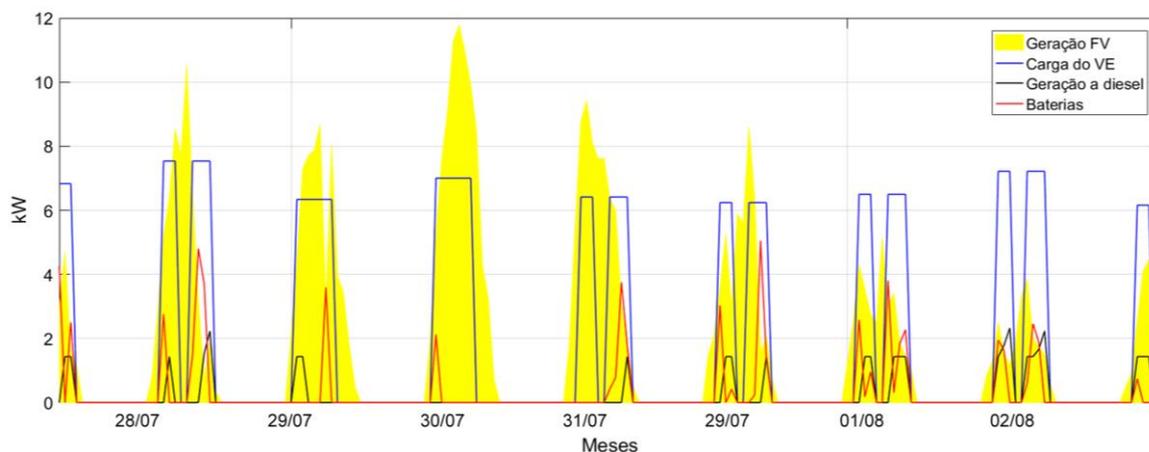


Figura 8 - Comportamento do sistema híbrido incluindo as fontes, armazenadores e carga.
Fonte: Própria autoria, 2019.

É possível observar também nos resultados que a utilização do banco de baterias do sistema híbrido é importante para armazenar parte da energia produzida em excesso, mas cedendo em alguns momentos a energia suficiente para manter a estabilidade elétrica na estação de recarga de forma suficiente e eficiente. O banco de baterias pode chegar a ter cerca de 5,51 horas de autonomia para alimentar uma carga de 36,36 kWh. Ao longo do ano os armazenadores cedem à estação de recarga 2.449 kWh de energia e tem perdas de 129 kWh/ano. Somente 5,51% do ano o banco baterias está com profundidade de descarga próxima à 99% e com frequência de 30,10% do tempo com SOC acima 80%. A expectativa da vida útil do banco de baterias operando nessas condições é de 10 anos.

5.1 Comparação entre sistema a diesel puro e o sistema híbrido de energia

Sem o uso do sistema híbrido de energia, a estação de recarga para ser aplicada nesse cenário precisaria ser abastecida somente pelo gerador a diesel isolado, que é uma rotina bastante conhecida para abastecimento energético em áreas remotas da Amazônia. Com isso, foram realizadas simulações para comparar a diferença técnica entre os dois sistemas de energia que pode ser visto na Tab. 1.

Os resultados da comparação apontam drástica mitigação do uso de combustível que gera viabilidade econômica para a comunidade gerir o sistema sem muitos problemas. No geral, os geradores a diesel nas áreas remotas sofrem pela falta de manutenção técnica adequada pela falta de acesso, pois os geradores são muitas antigas apresentando muitos problemas e falhas, além do valor da compra do combustível. Outro problema está no transporte do diesel para essas áreas remotas, pois são levados em embarcações sem garantia de segurança expondo outras pessoas ao transporte de cargas perigosas. Porém é uma das poucas formas existentes para produção de eletricidade por alguns momentos do ano para a população.

Tabela 1 – Comparação técnica do uso do gerador a diesel isolado para atender a estação de recarga e com uso de sistema híbrido de energia. Fonte: Própria autoria, 2019.

PARÂMETROS	SISTEMA HÍBRIDO	SISTEMA A DIESEL
Horas de Operação (horas/ano)	863	2.555
Número de Start (start/ano)	376	626
Produção Elétrica (kWh/ano)	2.966	16.790
Saída Elétrica Principal (kW/ano)	3,44	6,57
Potência Mínima de Saída (kW/ano)	3,00	3,82
Potência Máxima de Saída (kW/ano)	8,14	9,70
Consumo do Diesel (L/ano)	1.345	6.274
Consumo Específico (L/kWh)	0,454	0,374
Consumo Diário de Combustível (L/dia)	3,69	17,2
Eficiência Elétrica (%)	22,4	27
Vida operacional Máxima (anos)	17,4	5,87

Outra comparação realizada é sobre as emissões do gerador a diesel nas duas situações. Sabendo que os motores de combustão interna geram uma série de problemas à saúde da população e ao meio ambiente. A Tab. 2 apresenta os resultados de emissões como CO₂, CO, HC, MP, SO₂ e NO_x. Assim como a comparação técnica anteriormente apresentada, o nível de emissões entre os dois sistemas aponta uma diminuição de quase um terço do SHE em relação ao uso do gerador a diesel isolado com a estação de recarga. O que ocasiona menor exposição tanto da população como da fauna e da flora aos efeitos causados por esses materiais que podem ser vistos na Tab. 3.

Tabela 2 – Comparação de emissões do uso do gerador a diesel isolado e inserido no sistema híbrido de energia. Fonte: Própria autoria, 2019.

EMISSIONES (kg/ano)	SISTEMA HÍBRIDO	SISTEMA A DIESEL
Dióxido de carbono (kg/ano)	3.515	16.390
Monóxido de carbono (kg/ano)	26,6	124
Hidrocarbonetos não queimados (kg/ano)	0,969	4,52
Material Particulado (kg/ano)	1,61	7,52
Dióxido de enxofre (kg/ano)	0,62	40,2
Óxido de nitrogênio (kg/ano)	30,2	141

Tabela 3 – Efeitos nocivos dos principais poluentes a saúde e ao meio ambiente. Fonte: adaptado do Ministério do Meio Ambiente³, 2019.

POLUENTES	EFEITOS CAUSADOS
Dióxido de carbono (CO ₂)	Poluição do ar, desequilíbrio do efeito estufa, chuva ácida, doenças cardiovasculares e respiratórias
Monóxido de carbono (CO)	Atua no sangue reduzindo a oxigenação, náuseas e intoxicação
Hidrocarbonetos não queimados (HC)	Precursores da formação do ozônio troposférico e potencial causador de efeito estufa (metano)
Material Particulado (MP)	Câncer respiratório, inflamação de pulmão e sintomas de asma
Dióxido de enxofre (SO ₂)	No organismo causam problemas respiratórios como asma e ao meio ambiente reage com água na atmosfera formando a chuva ácida
Óxido de nitrogênio (NO _x)	Provoca no organismo humano edemas pulmonares e ao meio ambiente impede trocas gasosas prejudicando o processo de fotossíntese

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta o estudo inicial sobre a implantação de um sistema híbrido de energia para atender uma estação de recarga em área de acesso remoto na Resex Tapajós-Arapiuns com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população local de forma sustentável.

Os dados locais do sistema foram aplicados inicialmente ao software Homer Pro e por meio das simulações foi possível traçar um perfil de carga sintético envolvendo o pior caso de consumo do Nissan e-NV200 e os resultados da simulação do SHE fotovoltaico-diesel-bateria mostra que é viável a aplicação do BEV mitigando o uso de combustível fóssil para transporte e produção de energia.

Esse projeto inclui estudos futuros sobre estratégias de despacho de energia, ampliação de frota veicular para outras comunidades, o uso da tecnologia de V2G em que o veículo elétrico além de ser utilizado para transporte de pessoas também seja utilizado para transporte de energia através das baterias do próprio VE. Isso é justificado a partir dos resultados em que apenas uma parte da autonomia e energia do sistema elétrico do Nissan e-NV200 é usado, podendo ser aplicado em redes elétricas locais das escolas para abastecimento elétrico ou criação de outras rotas incluindo mais comunidades. Espera-se que os estudos teóricos apresentados aqui e os futuros colaborem na implantação de um sistema experimental.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelas agências CNPq, CAPES e FAPESP (2016/08645-9), ANEEL (CPFL-PA3032), e BYD ENERGY através do Programa PADIS. Agradecemos especialmente ao Centro de Estudos Avançados de Promoção Social e Ambiental e ao grupo de pesquisa da Heriot-Watt University que faz parte desse projeto.

³ Informação disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html>

REFERÊNCIAS

- Abella, M. A., Chenlo, F., 2003. Photovoltaic charging station for electrical vehicles, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of, Osaka, 2003, pp. 2280-2283 Vol.3.
- AFDC: Alternative Fuels Data Center, 2019. How do all-electric cars work? Alternative Fuels Data Center - U.S. Department of Energy.
- Baran, R., Loureiro, L.F., Legey, 2010. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.
- Bokopane, L., Kusakana, K., Vermaak, H. J., 2014. Hybrid System Configurations and Charging Strategies for Isolated Electric Tuk-Tuk Charging Station in South Africa. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Robotics, Electronics and Communications Engineering Vol:8 No:11.
- Colak, I., Bayindir, R. Aksöz, A., Hossain, E., Sayilgan, S., (2015). Designing a competitive electric vehicle charging station with solar PV and storage.
- Costa, T. S., 2019. Estudo e simulação de sistemas híbridos a partir de fonte fotovoltaica para aplicação autônoma e conectado à rede. Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado.
- Costa, T. S., Narváez, D. I., Melo, K. B., Villalva, M. G., Pompermaier, D., 2019. Optimum design of autonomous PV-diesel-battery hybrid systems: case study at Tapajós-Arapiuns extractive reserve in Brazil. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America), Gramado, Brazil, 2019, pp. 1-6.
- Domínguez-Navarro, J.A., Dufo-López, R., Yusta-Loyo, J.M., Artal-Sevil, J.S., Bernal-Agustín, L.L., 2019. Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems, Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 105, no. July 2018, pp. 46–58.
- Ekren, O., Ekren, B. Y., 2010. Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing. Appl. Energy, vol. 87, no. 2, pp. 592–598.
- Escalante, S.L., Penna J., Nascimento, I., 2018. Minigeração Fotovoltaica e Veículos Elétricos numa Microrede Inteligente. XIV symposium of specialists in electric operational and expansion planning.
- Guedes, W. O., 2019. Avaliação técnica e econômica da utilização de geração solar e recarga de veículos elétricos em universidades. Universidade de Juiz de Fora. Dissertação de Mestrado.
- Morgado, Andréa V., Portugal, L. S., Mello, Andréa Justino R., 2013. Acessibilidade na Região Amazônica através do transporte hidroviário. Journal of Transport Literature, 7(2), 97-123.
- Mouli, G.R.C., Bauer, P., Zeman, M., 2016. System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces, Appl. Energy, vol. 168, pp. 434–443.
- Pereira, D., 2015. Sistema Híbrido De Produção De Energia Elétrica Para Autoconsumo. Dissertação, Universidade do Porto.
- Ríos, A., Guamán, J. Vargas, C. García, M., 2017. Design, Dimensioning, and Installation of Isolated Photovoltaic Solar Charging Station in Tungurahua, Ecuador. International journal of renewable energy research.
- Rodrigues, M. C. B. P., Oliveira, J. G. , Ferreira, A. A. , Barbosa, P. G., Braga, H. A. C., 2014. Conexão de Veículos Elétricos à Rede de Energia Elétrica para Recarga de Baterias: Uma Visão Geral. *Eletrônica de Potência*, pp. 193–207, 2014.
- Vermaak, Herman J., Kusakana, K., 2014. Design of a photovoltaic–wind charging station for small electric Tuk–tuk in D.R.Congo. Renewable Energy, Volume 67, Pages 40-45, ISSN 0960-1481.
- Youssef, C., Fátima, E., Najia, E., Chakib, A., 2018. A technological review on electric vehicle DC charging stations using photovoltaic sources. Materials Science and Engineering 353 (2018).

CHARGING STATION WITH HYBRID SYSTEM STANDALONE FOR VEHICLE ELECTRIC APPLIED TO EXTRACTIVE RESERVE TAPAJÓS-ARAPIUNS

Abstract. *The aggravation of climate change has been occurring in recent decades due to the high energy dependence on fossil fuels. The transport sector accounts for approximately 64% of global oil consumption with a high CO₂ emission rate. Electric vehicles (EV) are presented as one of the solutions to lessen the environmental impact of petroleum use. However, its indirect implications about the use of the electricity grid and energy production may diminish its benefits. Hybrid power charging stations can play a vital role in the successful development and deployment of electric vehicles in remote areas, thus enabling the use of electric cars to improve the quality of life of the local population. In this work, a photovoltaic-diesel-battery hybrid system in the Tapajós-Arapiuns extractive reserve is studied, applying a route between two communities in the Amazon Region. This hybrid system consists of a photovoltaic generator, battery system, diesel generator, and the charging station. For this purpose, the Homer Pro software was employed to balance energy, system behavior, and gas emission analysis harmful to health and the environment. The results showed the use of the hybrid charging station consisting of 88.4% energy production from the photovoltaic system and 11.6% from the diesel generator. When comparing the emission between the use of the insulated diesel generator and the photovoltaic and battery inserted, it shows that the isolated use emits approximately three times more pollutants. Therefore, demonstrating the technical and environmental feasibility of the project.*

Key words: *Electric vehicle, hybrid system, Homer Pro, charging station, CO₂.*