

Infraestrutura de Recarga de Veículos Elétricos na UFTM: Desafios, Viabilidade e Sustentabilidade

Geisla Aparecida de Carvalho

Licenciada em Física e Matemática, graduanda em Engenharia Elétrica, mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Uberlândia, professora da Escola Estadual Professor Chaves e pesquisadora do grupo NUPEME.

✉ d201810194@uftm.edu.br

Juliane Cristina de Oliveira Fandi

Graduada, mestre e doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia. Atua como professora no Departamento de Engenharia Elétrica da UFTM (Universidade Federal do Triângulo Mineiro) desde 2010.

✉ juliane.fandi@uftm.edu.br

Recebido em 22 de agosto de 2025

Aceito em 11 de novembro de 2025

Resumo:

A infraestrutura de carregamento de veículos elétricos (EVs) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), ainda em fase inicial, mostra grande potencial para expansão sustentável. A pesquisa analisa a capacidade da rede elétrica da instituição para suportar essa expansão, levando em consideração a integração de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, que pode reduzir custos operacionais e aumentar a sustentabilidade institucional. A proposta de uma microrrede híbrida, composta por geração fotovoltaica, banco de baterias e gerador a diesel, oferece maior autonomia e menores impactos ambientais. A análise da demanda de veículos elétricos e as soluções integradas, como o *Vehicle-to-Grid* (V2G) e *Vehicle-to-Home* (V2H), demonstram benefícios técnicos e econômicos, incluindo a redução de sobrecarga na rede elétrica e a otimização dos custos com fornecimento de energia. No entanto, a adoção de veículos elétricos ainda é limitada, indicando a necessidade de políticas institucionais para incentivar a mobilidade elétrica. A UFTM tem potencial para se tornar um modelo regional de sustentabilidade, desde que invista em planejamento estratégico, parcerias com empresas do setor de energias renováveis e tecnologias emergentes. A pesquisa contribui para a transição energética no Brasil, oferecendo um exemplo de integração eficiente entre mobilidade elétrica, fontes renováveis e sistemas inteligentes de gestão energética.

Palavras-chave: Mobilidade elétrica, infraestrutura de recarga, veículos elétricos, sustentabilidade energética, estudo de caso em universidade.

Electric Vehicle Charging Infrastructure at UFTM: Challenges, Feasibility, and Sustainability

Abstract:

The electric vehicle (EV) charging infrastructure at the Federal University of Triângulo Mineiro (UFTM), still in its early stages, shows significant potential for sustainable expansion. This study analyzes the institution's power grid capacity to support such expansion, considering the integration of renewable sources, such as photovoltaic solar energy, which can reduce operational costs and increase institutional sustainability. The proposed hybrid microgrid, consisting of photovoltaic generation, battery storage, and a diesel generator, offers greater autonomy and reduced environmental impact. The analysis of EV demand and integrated solutions, such as *Vehicle-to-Grid* (V2G) and *Vehicle-to-Home* (V2H), demonstrates technical and economic benefits, including the reduction of grid overload and optimization of energy supply costs. However, EV adoption is still

limited, highlighting the need for institutional policies to encourage electric mobility. UFTM has the potential to become a regional model for sustainability if it invests in strategic planning, partnerships with renewable energy companies, and emerging technologies. This research contributes to Brazil's energy transition by offering an efficient example of integration between electric mobility, renewable sources, and intelligent energy management systems.

Keywords: Electric mobility, charging infrastructure, electric vehicles, energy sustainability, university case study.

Infraestrutura de Carga de Veículos Elétricos en la UFTM: Desafíos, Viabilidad y Sostenibilidad

Resumen:

La infraestructura de carga de vehículos eléctricos (EV) de la Universidad Federal del Triángulo Mineiro (UFTM), aún en sus primeras etapas, muestra un gran potencial para una expansión sostenible. Este estudio analiza la capacidad de la red eléctrica de la institución para soportar dicha expansión, considerando la integración de fuentes renovables, como la energía solar fotovoltaica, que puede reducir los costos operativos y aumentar la sostenibilidad institucional. La propuesta de una microrred híbrida, compuesta por generación fotovoltaica, almacenamiento en baterías y un generador a diésel, ofrece mayor autonomía y menor impacto ambiental. El análisis de la demanda de vehículos eléctricos y soluciones integradas, como *Vehicle-to-Grid* (V2G) y *Vehicle-to-Home* (V2H), demuestra beneficios técnicos y económicos, incluidos la reducción de la sobrecarga de la red y la optimización de los costos del suministro de energía. Sin embargo, la adopción de vehículos eléctricos sigue siendo limitada, lo que resalta la necesidad de políticas institucionales para fomentar la movilidad eléctrica. La UFTM tiene el potencial de convertirse en un modelo regional de sostenibilidad si invierte en planificación estratégica, asociaciones con empresas de energía renovable y tecnologías emergentes. Esta investigación contribuye a la transición energética de Brasil al ofrecer un ejemplo eficiente de integración entre la movilidad eléctrica, las fuentes renovables y los sistemas inteligentes de gestión energética.

Palabras clave: Movilidad eléctrica, infraestructura de recarga, vehículos eléctricos, sostenibilidad energética, estudio de caso en universidad.

INTRODUÇÃO

A crescente dependência de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa impulsionam a busca por alternativas sustentáveis, como a mobilidade elétrica (*International Energy Agency – IEA, 2021*)¹. Embora os veículos elétricos (VEs) não sejam uma tecnologia recente, sua adoção foi limitada ao longo do século XX, devido à ampla difusão dos motores a combustão interna. No entanto, o aumento nos preços dos combustíveis e as crescentes preocupações ambientais têm favorecido o ressurgimento dessa alternativa (Silva e Souza, 2024).

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

O setor de transportes é responsável por uma parcela significativa da poluição global (IEA, 2021), o que torna a transição para soluções limpas uma prioridade estratégica em nível mundial. Apesar dos avanços tecnológicos, fatores como o alto custo inicial, a autonomia limitada dos VEs e a escassez de pontos de recarga ainda representam obstáculos significativos à sua popularização (Gaines, 2023; Hardman *et al.*, 2020). A disponibilidade de estações de carregamento adequadas, a padronização dos sistemas e a regulamentação eficaz são determinantes para a consolidação da eletromobilidade (Liu *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a integração de sistemas fotovoltaicos às estações de recarga surge como uma solução promissora para reduzir a dependência da rede elétrica convencional e ampliar a sustentabilidade das operações (Oliveira e Freitas, 2023; Rüther, 2024). Estudos demonstram que redes de recarga bem distribuídas e articuladas com fontes renováveis são essenciais para o avanço da mobilidade elétrica em áreas urbanas e acadêmicas (Duarte *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2022).

No Brasil, a expansão da eletromobilidade enfrenta desafios, especialmente relacionados à infraestrutura de abastecimento, ainda mais escassa em áreas urbanas. Medidas como a isenção de IPVA para veículos elétricos, em vigor em Minas Gerais desde 2021, refletem os esforços governamentais para incentivar a adoção dessa tecnologia. Em Uberaba, a instalação de carregadores ao longo da BR-050 ilustra tentativas de suprir essa demanda crescente.

No âmbito acadêmico, destaca-se a Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), que conta com uma estação de recarga modelo WEMOB-WALL G2, integrada a um sistema fotovoltaico. Essa iniciativa pioneira visa unir mobilidade elétrica e geração de energia renovável, contribuindo para a redução da sobrecarga na rede elétrica pública. No entanto, desafios como a manutenção periódica e a expansão da rede ainda precisam ser superados para garantir o sucesso dessa tecnologia no longo prazo.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a infraestrutura de recarga da UFTM, considerando sua capacidade elétrica, os padrões de uso e o potencial de expansão. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, baseada em análise documental, com o intuito de identificar os desafios enfrentados e propor soluções para fortalecer a mobilidade elétrica tanto no contexto universitário quanto urbano.

METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa de caráter exploratório e descritivo, fundamentada na análise documental e na revisão de dados técnicos relativos à infraestrutura de carregamento de veículos elétricos (VEs) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). A escolha da abordagem qualitativa justifica-se pela natureza do fenômeno investigado — ainda em consolidação no contexto brasileiro — e pela necessidade de compreender os aspectos institucionais, técnicos e contextuais que envolvem o uso e a expansão da infraestrutura de recarga. Diferentemente de um estudo quantitativo, que priorizaria mensurações ou modelagens estatísticas, a abordagem qualitativa permite interpretações mais amplas sobre políticas internas, desafios operacionais e perspectivas de sustentabilidade, considerando tanto dados técnicos quanto fatores contextuais. Assim, a abordagem qualitativa foi considerada mais adequada, pois possibilita interpretar não apenas os valores medidos, mas também os contextos de operação, gestão e decisão, fornecendo insights que um estudo puramente quantitativo não capturaria.

Os documentos analisados foram fornecidos pelo professor Dr. Arnaldo José Pereira Rosentino Junior e incluem relatórios técnicos sobre qualidade de energia, medições de carga e funcionamento do ponto de recarga instalado no campus. Essas fontes permitiram compreender detalhadamente as condições elétricas, estruturais e operacionais da estação, bem como os potenciais de ampliação da rede. Atualmente, a UFTM dispõe de um único ponto de recarga para veículos elétricos, cuja demanda é restrita devido ao número reduzido de usuários. A pesquisa concentrou-se na avaliação técnica e operacional desse eletroposto, considerando aspectos como potência instalada, capacidade de atendimento, frequência de uso e variações de demanda ao longo do tempo.

Para fortalecer a análise, foram calculadas medidas descritivas, incluindo média, valor máximo, mínimo e variação diária do consumo de energia, permitindo identificar padrões de uso, tendências de sobrecarga ou ociosidade e subsidiando a interpretação dos gráficos apresentados. A visualização desses gráficos foi aprimorada com legendas claras, unidades padronizadas e escalas ajustadas, facilitando a compreensão visual dos padrões de consumo e dos picos de demanda.

A revisão normativa considerou as diretrizes da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) sobre instalação e operação de estações de recarga, abrangendo segurança elétrica, controle de qualidade e integração com a rede elétrica nacional, alinhando a análise técnica às exigências legais vigentes. Complementarmente, realizou-se uma análise crítica das tecnologias emergentes aplicáveis ao contexto universitário, como sistemas de carregamento rápido, monitoramento remoto, integração com energia solar fotovoltaica e soluções de armazenamento por baterias, visando identificar estratégias sustentáveis para ampliação da infraestrutura de recarga.

Com base nessa abordagem integrada, foi possível identificar desafios, oportunidades e recomendações práticas para a expansão da infraestrutura de recarga, considerando tanto a realidade atual da universidade quanto projeções futuras de demanda. As análises realizadas subsidiaram as proposições apresentadas nos resultados, orientadas à consolidação da UFTM como referência regional em mobilidade elétrica sustentável.

O Quadro 1 apresenta uma síntese comparativa das principais referências utilizadas, destacando objetivos, metodologias e conclusões relacionadas à mobilidade elétrica e à infraestrutura de recarga.

Quadro 1 - Quadro Comparativo das Referências Utilizadas

Autor(es)	Ano	Objetivo	Metodologia	Principais Resultados	Conclusões
ANFAVEA	2024	Analisar o impacto do mercado de veículos na economia brasileira	Análise de mercado e dados econômicos	Aumento no número de veículos, com impacto positivo na economia	A infraestrutura precisa evoluir para suportar a demanda crescente
SILVA, J. P.; SOUZA, F. M.	2024	Avaliar a adoção de veículos elétricos no Brasil e impactos energéticos	Estudo de cenários e análise de consumo	Adoção de VEs pode reduzir consumo de combustíveis fósseis	Recomendação de incentivos energéticos e políticas para ampliar a adoção
DUARTE, L. et al.	2023	Apresentar desafios e perspectivas da mobilidade elétrica no Brasil	Revisão de literatura	Desafios incluem custos e falta de infraestrutura, mas oportunidades também	Ação governamental e infraestrutura são chave para a transição
GAINES, L.; LI, Y.	2023	Analisar barreiras econômicas e ambientais para adoção de VEs	Revisão sistemática sobre barreiras	Barreiras econômicas e de infraestrutura ainda impedem a adoção em massa	Políticas fiscais e infraestrutura de recarga são essenciais
SILVA, M. L. et al.	2022	Avaliar a infraestrutura de recarga de VEs no Brasil	Estudo qualitativo sobre infraestrutura	Identificação de lacunas na infraestrutura e soluções emergentes	Aumento da capacidade de infraestrutura é fundamental para a expansão
OLIVEIRA, R. C.; FREITAS, M. A.	2023	Analisar integração de energia solar fotovoltaica em microrredes universitárias	Estudo de caso sobre aplicação de energia solar	A geração solar fotovoltaica reduz custos operacionais e impactos ambientais	Solução viável para reduzir custos e garantir sustentabilidade
PNME	2023	Panorama da mobilidade elétrica no Brasil	Relatório de dados e análise do setor	Crescente expansão da frota de VEs e desafios institucionais	Incentivos e planejamento estratégico são necessários para a expansão

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados técnicos coletados na estação de recarga da UFTM, observou-se que a curva de carga apresenta quatro picos diários, atingindo até 25 kW nos horários de maior movimento no campus (7h–10h e 16h–19h). A potência nominal da estação é de 7,4 kW, e o consumo médio por carregamento, considerando veículos como o BYD Song Plus (bateria de

18,3 kWh), é de 15 kWh. A integração com o sistema fotovoltaico de 10,8 kWp atende a aproximadamente 60% da demanda diária, enquanto o gerador a diesel de 30 kW complementa a energia quando a geração solar é insuficiente. Esses dados reforçam a necessidade de estratégias de gestão de carga, como controle inteligente, segmentação da rede e ampliação da capacidade de geração e armazenamento, a fim de evitar sobrecargas, otimizar a eficiência operacional e garantir a sustentabilidade a longo prazo.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos principais parâmetros de consumo e geração energética observados na estação de recarga analisada.

Tabela 1 – Resumo do consumo e geração energética da estação de recarga da UFTM

Parâmetro	Valor / Observação
Potência nominal da estação	7,4 kW
Consumo médio por carga	15 kWh (BYD Song Plus)
Número de picos diários	4
Pico máximo de demanda	25 kW
Horários críticos	7h–10h e 16h–19h
Geração FV diária estimada	243 kWh (10,8 kWp)
Fração da demanda atendida por FV	~60%
Excedente de geração FV	~93 kWh/dia
Capacidade do gerador diesel	30 kW (ativo quando necessário)
Consumo diário de combustível do gerador	12,5 L (~R\$ 62,50/dia)

Fonte: Autoria própria.

Esses procedimentos metodológicos permitiram organizar e interpretar os dados de forma estruturada, assegurando a coerência entre os objetivos da pesquisa, a natureza qualitativa da abordagem e as análises apresentadas. Assim, o conjunto de técnicas empregadas — análise documental, levantamento de dados técnicos e tratamento descritivo — constituiu a base metodológica necessária para a compreensão das condições atuais da infraestrutura de recarga e para o embasamento das etapas subsequentes do estudo.

RESULTADOS

A análise da curva de carga da estação de carregamento de veículos elétricos da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) foi conduzida com base em dados

coletados ao longo de sete dias consecutivos. Os resultados indicaram que, durante os períodos de pico, o carregador alcançou até 30 A, representando uma parcela considerável da capacidade disponível da infraestrutura elétrica da instituição. Durante o dia, a energia gerada pelo sistema fotovoltaico contribuiu para a redução da demanda sobre a rede pública, com o banco de baterias armazenando essa energia para uso noturno.

O gerador a diesel, por sua vez, serviu como suporte durante os períodos de baixa geração solar, garantindo a estabilidade do sistema. Embora seja essencial para compensar a intermitência da geração solar, o gerador apresenta desafios, como altos custos operacionais e emissões de carbono. Portanto, a redução da dependência do gerador, por meio de um planejamento mais eficiente e da expansão da capacidade fotovoltaica, se torna crucial para tornar o sistema mais sustentável e econômico a longo prazo.

Essa integração das fontes renováveis diminui a dependência da rede convencional, reduzindo, assim, a pegada de carbono da universidade. Além disso, reforça a operação da microrrede, tanto na recarga dos veículos quanto no atendimento a outras demandas energéticas.

A operação simultânea da estação de carregamento com outras cargas, como os sistemas de climatização, intensificou o consumo de energia. Durante os horários críticos, essa sobreposição pode ultrapassar a capacidade nominal da microrrede, gerando oscilações de tensão e comprometendo a estabilidade do fornecimento de energia. Esse comportamento foi particularmente observado nos períodos de maior demanda, destacando a necessidade de uma gestão eficiente das cargas elétricas.

Um exemplo de uso recorrente foi o veículo de uma professora do Instituto de Ciências e Tecnologia e Exatas (ICTE), que utiliza a estação diariamente, com picos de recarga concentrados em horários específicos. Esse padrão de uso foi verificado, embora com menor frequência, entre outros usuários. A Figura 1 ilustra o processo cotidiano de carregamento do veículo mencionado.

Figura 1 – (a) Veículo da professora; (b) Conexão à estação de carregamento da UFTM.



Fonte: NEC, 2024.

Os dados confirmam a existência de um padrão recorrente de utilização da estação, concentrado em horários específicos, o que é relevante para avaliar a eficiência do sistema atual e prever comportamentos futuros da demanda. Com base nessa observação, foram propostas estratégias mais eficientes para a gestão da carga.

A Figura 2 apresenta a curva de carga da estação durante o período de sete dias, destacando os picos de corrente registrados, especialmente durante a noite e no início da manhã.

Figura 2 – Curva de carga da estação de carregamento da UFTM – período de 7 dias.



Fonte: Autoria própria.

A Tabela 2 complementa essa análise, fornecendo um detalhamento dos dados quantitativos registrados, como a corrente máxima, os horários de pico e a contribuição das fontes de energia (fotovoltaica, baterias e gerador). Esses dados são essenciais para uma

avaliação mais precisa da capacidade de operação do sistema e para identificar possíveis necessidades de ajustes.

Tabela 2 – Dados detalhados da curva de carga da estação de carregamento da UFTM durante sete dias.

Parâmetro	Valor	Detalhamento
Corrente Máxima	30 A	Corrente máxima observada durante picos, representando aproximadamente 100% da capacidade máxima por fase
Capacidade Máxima do Circuito	37 A	Limite de corrente máxima por fase do sistema de alimentação (80% da capacidade nominal)
Pico de Demanda	25 kW	Observado durante os horários de pico (21:00 e 22:30 em 30/jan e 2/fev)
Horas de Maior Demanda	21:00 – 22:30	Maior utilização da estação de recarga no período da noite
Contribuição da Geração FV	Até 60% da carga total	Geração fotovoltaica contribui durante o dia, especialmente com boa irradiação solar
Contribuição da Rede Pública	Suporte quando necessário	Energia fornecida pela rede pública durante picos e baixa geração solar
Contribuição do Gerador Diesel	Suporte adicional (até 30 kW)	Ativado em caso de falha da geração FV ou quando a demanda excede a capacidade de geração fotovoltaica

Fonte: Autoria própria.

Como mostrado na Tabela 2, a energia solar fotovoltaica foi responsável por 60% da carga total durante os períodos de pico solar, enquanto a rede pública contribuiu com 40% da energia necessária. Isso demonstra a eficiência do sistema fotovoltaico, que já está proporcionando uma redução significativa na dependência de fontes de energia convencionais. A introdução de baterias de íon de lítio poderia aumentar essa eficiência, permitindo que a energia solar gerada durante o dia fosse armazenada e utilizada durante a noite, minimizando a necessidade de energia da rede pública. Isso não só aumentaria a autonomia do sistema, mas também reduziria os custos operacionais relacionados ao consumo de energia da rede.

Observou-se também que a estação de carregamento está conectada a um circuito protegido por disjuntor de 40 A, enquanto o sistema de climatização, conectado a um circuito separado, é protegido por disjuntor de 20 A. A operação simultânea dessas cargas pode superar a capacidade de fornecimento do sistema, gerando instabilidades, como evidenciado nas medições de tensão realizadas.

De acordo com Moura (2025), a estação tem uma potência de 7,4 kW e opera em 220 V, sendo alimentada por uma microrrede híbrida composta por sistema fotovoltaico, banco de baterias e gerador a diesel, todos gerenciados por um sistema de controle para cargas off-grid (comunicação pessoal). A Figura 3 compara diferentes períodos, confirmando a constância dos picos de corrente ao longo do tempo.

A expansão da infraestrutura de recarga será essencial nos próximos anos. Com a projeção de um aumento de 20% na frota de veículos elétricos (VE) da UFTM nos próximos cinco anos, a capacidade fotovoltaica deverá ser expandida para 50 kW, um aumento de 40% em relação à capacidade atual. Além disso, o uso de sistemas de armazenamento, como baterias de íon de lítio, deverá ser ampliado para garantir a continuidade da operação da estação durante períodos de baixa geração solar. A viabilidade dessa expansão está diretamente relacionada à análise econômica das soluções, com um Retorno sobre Investimento (ROI) estimado de 4 a 5 anos, com base na redução de custos operacionais com a diminuição da dependência da rede pública e o aumento da capacidade de geração solar. Para tal, é fundamental realizar uma avaliação contínua da demanda e dos impactos econômicos da implementação dessas tecnologias, a fim de garantir a sustentabilidade do projeto no longo prazo.

Figura 3 – Comparativo da curva de carga da estação – períodos selecionados.



Fonte: Autoria própria.

A análise também revelou períodos de inatividade prolongada entre os ciclos de carregamento, sugerindo um padrão de uso intermitente. Esse comportamento está provavelmente relacionado à disponibilidade dos veículos e à demanda ainda limitada. A Figura 4 ilustra esse padrão em dois dias consecutivos.

Figura 4 – Curva de carga da estação – 2 dias consecutivos.



Fonte: Autoria própria.

Em situações de alta demanda simultânea, como durante os horários de pico com o funcionamento dos sistemas de climatização, observou-se que a infraestrutura da UFTM operava próxima ao seu limite de capacidade, resultando em oscilações de tensão e comprometendo a estabilidade do fornecimento de energia. Para mitigar essas instabilidades, a implementação de uma gestão inteligente de carga, com o auxílio de sistemas de controle automatizado, pode priorizar o uso de energia fotovoltaica e distribuir as demandas de forma equilibrada entre a estação de carregamento e outros sistemas da universidade. Essa gestão eficiente não só reduziria picos de demanda excessiva, mas também ajudaria a manter o sistema operacional durante horários críticos. A Figura 5 amplia o período de análise, mostrando a alternância entre períodos de inatividade e picos de consumo.

Figura 5 – Curva de carga da estação – monitoramento ampliado.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 ilustra a frequência dos picos de corrente, evidenciando que a estação opera em plena capacidade quando acionada. Os períodos de uso intenso estão diretamente relacionados à rotina dos usuários, com os picos de carga concentrados em horários fixos.

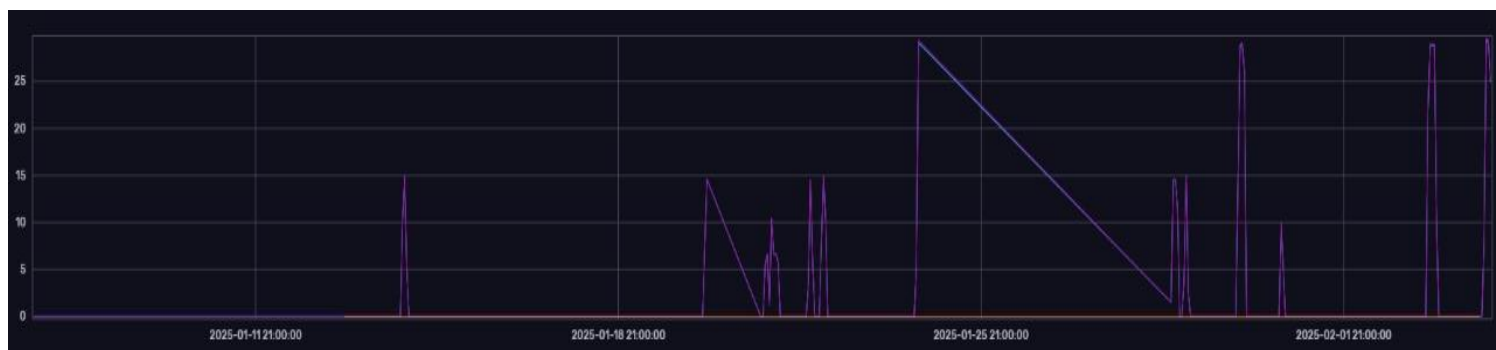
Figura 6 – Frequência de picos de corrente – estação da UFTM.



Fonte: Autoria própria.

Por fim, a Figura 7 apresenta um monitoramento detalhado, destacando os momentos de alta e baixa utilização da estação de carregamento, o que reforça a necessidade de planejamento para a expansão da infraestrutura, especialmente em função da crescente demanda por eletromobilidade.

Figura 7 – Picos de carga da estação – monitoramento detalhado.



Fonte: Autoria própria.

A análise combinada da curva de carga e do diagrama multifilar revelou os principais desafios da infraestrutura elétrica da UFTM. Embora o sistema opere, na maior parte do tempo, dentro dos limites projetados, os episódios de sobrecarga indicam a necessidade urgente de melhorias para garantir a estabilidade da microrrede. Essas melhorias são essenciais para permitir a expansão do sistema sem comprometer a qualidade do

fornecimento de energia, garantindo a continuidade das operações de recarga e a integração com outras demandas energéticas.

No entanto, é possível implementar uma série de melhorias para otimizar a operação do sistema. A expansão da capacidade fotovoltaica, por meio da instalação de mais módulos solares, pode reduzir a dependência do gerador a diesel e diminuir os custos operacionais, aproveitando ao máximo a energia solar durante o dia. A introdução de sistemas de armazenamento de energia, como baterias de íon de lítio, garantiria a continuidade da operação da estação de carregamento durante a noite ou em dias nublados, permitindo o uso de energia renovável mesmo quando a geração solar não é suficiente.

Por outro lado, a gestão inteligente de carga pode ser implementada com o auxílio de sistemas de controle que priorizam o uso de energia solar e distribuem de forma equilibrada as demandas de carga da estação e outros sistemas da UFTM. Isso evitaria picos excessivos e sobrecarga no sistema, melhorando a eficiência geral da microrrede e prevenindo falhas relacionadas à alta demanda simultânea de carga, como observado em situações de uso intensivo dos sistemas de climatização.

Além dos aspectos técnicos e operacionais, a análise também evidencia fatores institucionais e políticos que influenciam o desenvolvimento da infraestrutura de recarga na UFTM. A universidade tem adotado uma postura favorável à sustentabilidade, promovendo iniciativas alinhadas à transição energética e à mobilidade elétrica, como a integração de sistemas fotovoltaicos e o incentivo a pesquisas sobre eficiência energética. No entanto, desafios persistem em razão de limitações orçamentárias e regulatórias, especialmente no que diz respeito às exigências da ANEEL e à ausência de políticas específicas para pontos de recarga em instituições públicas.

Outro fator relevante refere-se à aceitação e adesão dos usuários, ainda restrita a um pequeno grupo de docentes e servidores que possuem veículos elétricos. Essa adesão limitada está associada tanto ao custo elevado de aquisição dos veículos quanto à falta de incentivos institucionais mais amplos, como vagas exclusivas, sinalização e comunicação interna sobre o uso do eletroposto. Nesse contexto, a expansão da infraestrutura de recarga dependerá não apenas de investimentos técnicos, mas também de decisões institucionais e políticas públicas voltadas à promoção da eletromobilidade em ambientes universitários.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A infraestrutura de carregamento de veículos elétricos na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), embora ainda em fase inicial, apresenta grande potencial de expansão. A análise da curva de carga demonstrou que a rede elétrica da instituição tem capacidade para suportar essa expansão, com a integração de fontes renováveis, especialmente a energia solar fotovoltaica, sendo uma solução eficaz para reduzir custos operacionais e fortalecer a sustentabilidade institucional. A configuração da microrrede híbrida, composta por geração fotovoltaica, banco de baterias e gerador a diesel, oferece maior autonomia e impacto ambiental reduzido, diversificando a matriz energética e implementando um sistema de recarga mais eficiente e ecológico.

Além dos benefícios ambientais, a integração entre veículos elétricos e sistemas fotovoltaicos traz vantagens técnicas e econômicas, como a redução da sobrecarga na rede elétrica e a diminuição dos custos com fornecimento de energia. Estratégias como Vehicle-to-Grid (V2G) e Vehicle-to-Home (V2H) também se destacam como elementos cruciais para o futuro do sistema. No entanto, a atual baixa demanda aponta para a necessidade de políticas institucionais para incentivar a adoção de veículos elétricos por parte de estudantes e servidores, com campanhas de conscientização, incentivos fiscais e programas de apoio à eletromobidade.

A UFTM tem o potencial de se consolidar como uma referência regional em mobilidade elétrica, desde que adote um planejamento estratégico bem definido e estabeleça parcerias com empresas do setor de energias renováveis. A implementação de tecnologias emergentes, como carregadores rápidos e sistemas de gestão inteligente, será essencial para otimizar os custos operacionais e garantir maior flexibilidade no uso da rede. Futuros estudos devem explorar a viabilidade econômica da ampliação da infraestrutura de recarga, identificar fontes de financiamento adequadas e avaliar o impacto da crescente frota elétrica na matriz energética da instituição, além de investigar o comportamento dos usuários e seu nível de aceitação.

A experiência da UFTM com sua microrrede híbrida pode servir como modelo para outras instituições de ensino superior, contribuindo para a aceleração da transição energética no setor acadêmico e estimulando o desenvolvimento tecnológico sustentável no Brasil. A universidade tem o potencial de se tornar um modelo regional de mobilidade elétrica

sustentável, oferecendo uma infraestrutura de recarga eficiente e integrada com fontes renováveis. A adoção de políticas de incentivo à mobilidade elétrica deve ser prioridade, com foco em campanhas de conscientização e benefícios fiscais.

Em suma, o sistema híbrido de recarga proposto não só contribui para a redução de custos e impactos ambientais, mas também posiciona a UFTM como pioneira na integração de energia solar e mobilidade elétrica no setor educacional. A continuidade do investimento em infraestrutura de recarga e soluções renováveis é crucial para garantir uma mobilidade elétrica sustentável no campus, e futuros estudos devem continuar a explorar a viabilidade econômica e a aceitação dos usuários frente a novas tecnologias.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Geisla Aparecida de Carvalho: Conceituação, Metodologia, Investigação, Análise formal, Curadoria dos dados, Redação da versão original do manuscrito, Revisão e edição do manuscrito.

Juliane Cristina de Oliveira Fandi: Supervisão, Validação, Revisão e edição do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2024**. São Paulo: ANFAVEA, 2024.

BARCELLOS, A da Silva. **Energia solar fotovoltaica: princípios fundamentais**. 2022. Disponível em: https://www.ifrj.edu.br/sites/default/files/IFRJ/PROPPI/produto_livro_aluno_versao_final_-_alexandre_da_silva_barcellos.pdf. Acesso em: 10 out. 2025.

DELGADO, F.; COSTA, J. E. G.; FEBRARO, J.; BRUCE DA SILVA, T. C. **Caderno FGV Energia: Carros Elétricos**. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2017. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf. Acesso em: 17 out. 2025.

DUARTE, L. et al. O futuro da mobilidade elétrica: desafios e perspectivas para um Brasil sustentável. **Revista Brasileira de Mobilidade**, v. 22, n. 3, p. 55–70, 2023.

GAINES, L.; LI, Y. **Economic and environmental barriers to large-scale electric vehicle adoption**. Energy Policy, v. 180, 2023.

HARDMAN, S.; DUNNE, J.; TYRRELL, E. **Understanding consumer adoption of electric vehicles: a systematic review**. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 81, p. 260–273, 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Global EV Outlook 2021: Accelerating ambitions despite the pandemic**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>. Acesso em: 10 ago. 2024.

LIU, J.; ZHANG, X.; WANG, Y. **The impact of electric vehicle charging infrastructure on the expansion of electric mobility in urban areas.** *Journal of Sustainable Mobility*, v. 18, n. 4, p. 120–134, 2022.

NASCIMENTO, G. **Elaboração dos gráficos e coleta de dados para o estudo sobre a estação de carregamento de veículos elétricos da UFTM.** Dados não publicados, 2025.

NOEL, L.; JONES, R. **Public acceptance of electric mobility: a global survey.** *Transportation Research Part D*, v. 119, 2024.

OLIVEIRA, R. C.; FREITAS, M. A. Integração de energia solar fotovoltaica em microrredes universitárias. **Revista de Energia e Sustentabilidade**, v. 3, n. 2, 2023.

PNME. **3º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica. 2023.** Disponível em: <https://pnme.org.br/wp-content/uploads/2023/12/3o-Anuario-Brasileiro-de-Mobilidade-Eletrica.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

RÜTHER, R. **Energia solar e microrredes inteligentes no Brasil: desafios e oportunidades.** *IEEE Latin America Transactions*, v. 22, n. 5, 2024.

SILVA, J. P.; SOUZA, F. M. Adoção de veículos elétricos no Brasil: cenários e impactos energéticos. **Revista Brasileira de Energia Sustentável**, v. 15, n. 1, 2024.

SILVA, M. L.; PEREIRA, R. F.; ALVES, A. C. Avaliação da infraestrutura de recarga de veículos elétricos no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Elétrica**, v. 42, n. 2, p. 188–200, 2022.



Este trabalho está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).