



O Papel da Infraestrutura de Carregamento para Mobilidade Elétrica: O Caso do Projeto Eletroposto CELESC

The Role of Charging Infrastructure for Electric Mobility: The Case of the Eletroposto CELESC Project

Maileen Schwarz Simão

ssmaileen@gmail.com

Mauricio Uriona Maldonado

m.uriona@ufsc.br

Mauricio Ibarra Dobes

mcd@certi.org.br

Marco Aurelio Giancesini

marcoag@celesc.com.br

Roberto Kinceler

rkinceler@celesc.com.br

Número da sessão temática da submissão – [8]

Resumo

A transição para a mobilidade elétrica impõe desafios complexos que demandam abordagens sistêmicas para integração tecnológica e colaboração entre diferentes atores. Este artigo tem como objetivo aplicar a abordagem do Sistema Tecnológico de Inovação (TIS) para realizar um diagnóstico da infraestrutura de carregamento de veículos elétricos, a partir do estudo de caso do Projeto Eletroposto CELESC. A análise considera os elementos estruturais do TIS — atores, redes, instituições e tecnologias — e suas funções sistêmicas. O estudo evidencia que o TIS permite identificar sinergias e gargalos no ecossistema de inovação, orientando ações estratégicas para o fortalecimento da eletromobilidade. Os resultados demonstram que o TIS é uma ferramenta eficaz para analisar a evolução tecnológica e institucional da infraestrutura de recarga, fornecendo um arcabouço analítico robusto para projetos em fase de desenvolvimento ou consolidação.

Palavras-chave: Sistema Tecnológico de Inovação; Mobilidade Elétrica; Infraestrutura de Carregamento; Inovação Tecnológica; Projeto Eletroposto.

Abstract

The transition to electric mobility presents complex challenges that require systemic approaches to technological integration and stakeholder collaboration. This article aims to apply the Technological Innovation System (TIS) framework to diagnose the development of electric vehicle charging infrastructure, using the Eletroposto CELESC Project as a case study. The analysis considers the structural components of the TIS — actors, networks, institutions, and technologies — as well as their systemic functions. The study demonstrates that the TIS enables the identification of synergies and



bottlenecks within the innovation ecosystem, guiding strategic actions for strengthening the sector. The results show that the TIS is an effective analytical tool for understanding the technological and institutional evolution of charging infrastructure, providing a robust framework for projects under development or consolidation.

Keywords: *Technological Innovation System; Electric Mobility; Charging Infrastructure; Technological Innovation; Eletroposto Project.*

1. Introdução

A mobilidade elétrica é um setor que, cada vez mais, se configura como essencial para o avanço de soluções sustentáveis e para a transformação do setor de transporte (BARASSA e CONSONI, 2015). O projeto Eletroposto CELESC, que busca a implementação de estações de carregamento acessíveis, eficientes e sustentáveis, é um exemplo claro de como a aplicação de modelos de inovação tecnológica pode contribuir para o fortalecimento da infraestrutura de mobilidade elétrica. Entretanto, a adaptação às novas tecnologias, as limitações financeiras e as complexas regulamentações são obstáculos que precisam ser superados para garantir o sucesso da iniciativa. Como apontam autores como Nelson e Winter (1982), a inovação tecnológica está intimamente ligada à interação de sistemas econômicos e sociais, onde o apoio institucional e a capacidade de adaptação às novas condições de mercado são fundamentais.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo aplicar a abordagem do Sistema Tecnológico de Inovação (TIS) para realizar um diagnóstico da infraestrutura de carregamento de veículos elétricos, utilizando o Projeto Eletroposto CELESC como estudo de caso. A intenção é compreender como as funções e elementos do TIS — como atores, redes, instituições e tecnologias — contribuem para identificar gargalos, potencialidades e dinâmicas do ecossistema de inovação relacionado à eletromobilidade.

A análise proposta busca demonstrar a aplicabilidade prática do TIS como ferramenta analítica robusta para projetos tecnológicos em fase de implementação, permitindo visualizar de forma estruturada os mecanismos de inovação e os fatores críticos que impactam seu desempenho.

Para isso, este artigo está organizado em sete seções. A primeira apresenta a introdução e os objetivos do estudo. A segunda seção traz a fundamentação teórica, abordando os sistemas de inovação e as funções e características do Sistema Tecnológico de Inovação (TIS). A terceira seção aborda os procedimentos metodológicos do estudo. A quarta seção expõe os resultados e discussões, destacando as características do TIS e sua análise funcional. A quinta seção traz as considerações finais e conclusões do estudo. Por fim, as seções seis e sete são dedicadas aos agradecimentos e às referências bibliográficas, respectivamente.

2. Fundamentação teórica

Esta seção está dividida em 2 subseções. Inicialmente são apresentados os conceitos básicos sobre sistemas de inovação e processos correlacionados, abordando os tipos de sistemas de inovação apresentados na literatura, quais sejam a nível nacional, regional, setorial e tecnológico. Na sequência é discutido, especificamente, sobre o sistema de inovação tecnológico (STI) – ou *Technological Innovation Systems* (TIS) -, bem como suas funções e características atreladas.

2.1. Sistemas de inovação e processos correlacionados



Até a década de 1960, a inovação não recebia a devida atenção como tema de pesquisa. Nesse período, a inovação era vista sob uma perspectiva clássica, conhecida como modelo linear de inovação. Economistas da época, como Joseph Schumpeter iniciaram a discussão ao refletir sobre seu impacto, especificamente, no desenvolvimento econômico (SCHUMPETER, 1997). Segundo o pesquisador, a inovação cria uma ruptura no sistema econômico, tirando-a do estado de equilíbrio, alterando, desta forma, padrões de produção e criando diferenciação para as empresas (SCHUMPETER, 1997). Isso significava que a inovação era concebida como um processo sequencial e independente, envolvendo pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento, produção e difusão (CASSIOLATO; LATRES, 2005), bem como, realizada de forma isolada pelas empresas.

Nas décadas seguintes, ocorre uma revisão em tal conceituação: amplia-se a compreensão deste conceito. A inovação passou a ser vista não como um ato isolado, mas sim como um processo de aprendizado não-linear, cumulativo, específico da localidade e conformado institucionalmente (CASSIOLATO; LATRES, 2005). À frente dessa nova perspectiva, surge a definição de “sistema de inovação” (FARGERBERG; FOSAAS; SAPPRASERT, 2012). O conceito começou a ser introduzido por autores como Freeman (1995) e Lundvall (1992), e enfatiza que os processos de inovação não permanecem estanques nas empresas, sendo que existem várias instituições que contribuem para o fluxo de informação, conhecimento e difusão de tecnologia entre diferentes atores e geografias. Como tal, é reconhecido que os determinantes da mudança tecnológica não estão centrados na empresa inovadora, mas sim numa rede mais ampla onde essa empresa se insere, e que essas redes também são afetadas por um conjunto de fatores econômicos, políticos e sociais, que influenciam a difusão do conhecimento (FREEMAN, 1995).

Embora todos os conceitos promovam a inovação como sendo um processo interativo entre atores e não um processo isolado ao nível de uma empresa, o sistema de inovação tecnológico (STI) – ou *Technological Innovation Systems* (TIS) - desponta como uma das linhas teóricas mais promissoras para a compreensão de como um sistema de inovação é capaz de resultar em elementos com impacto positivo, inclusive sob a perspectiva social (DELGADO, 2018). Este conceito permite estudar as características do sistema associado com uma tecnologia emergente específica, para analisar seus pontos fortes e fracos, bem como sua dinâmica, e compará-lo com um sistema de tecnologia incumbente (JACOBSSON; JOHNSON, 2000).

2.2. Funções e características do sistema de inovação tecnológico

O TIS tem sua origem na escola holandesa e surgiu associado a estudos sobre tecnologias emergentes, no contexto de transições sustentáveis (LI; TRUTNEVYTE; STRACHAN, 2015). O termo remonta, originalmente, ao conceito de sistema de inovação tecnológico específico (HEKKERT; SUURS; NEGRO; KUHLMANN; SMITS, 2007) e foi definido por Markard e Truffer (2008) como:

“o conjunto de redes de atores e instituições que conjuntamente interagem em um campo tecnológico específico e contribuem para a geração, difusão e utilização de variantes de uma nova tecnologia e/ou um novo produto” (HEKKERT; SUURS; NEGRO; KUHLMANN; SMITS, 2007, tradução nossa).

Originalmente, esta metodologia é decomposta em três elementos estruturais, quais sejam atores, redes e instituições (JACOBSSON; JOHNSON, 2000). Os atores englobam organizações que, direta ou indiretamente, participam do desenvolvimento ou adoção de uma tecnologia, como organizações educacionais, órgãos governamentais, entidades de suporte e outros participantes do mercado (HEKKERT; NEGRO; HEIMERIKS; HARMSEN, 2011). As redes representam as conexões entre esses atores, funcionando como canais para a troca de



conhecimento (SUURS, 2009). Já as instituições dizem respeito à regulamentação, leis, normas ou regras que garantam o funcionamento pleno do TIS. Em estudo correlato, Suurs (2009) adiciona ao conjunto o elemento tecnologia, o qual diz respeito às estruturas constituídas por artefatos e infraestruturas tecnológicas (HEKKERT; NEGRO; HEIMERIKS; HARMSSEN, 2011).

Ainda que permitam conduzir uma análise estrutural, esses elementos não traçam ligações claras entre os fatores estruturais e os resultados do sistema (BERGEK; HEKKERT; JACOBSSON, 2008a), dessa forma, se faz necessário o mapeamento das determinantes da inovação, conhecidas como “funções”, as quais foram propostas originalmente por Johnson (1998) e, posteriormente, reiteradas por Bergek, Jacobsson, Carlsson, Lindmark e Rickne (2008b).

O conceito de funções em um TIS, segundo Bergek, Jacobsson, Carlsson, Lindmark e Rickne (2008b), refere-se às contribuições (positivas ou negativas) de um ou mais elementos estruturais para o objetivo geral de desenvolver, difundir e utilizar inovação dentro de um determinado campo tecnológico. Os autores, após a definição e identificação dos elementos que fazem partes da componente estrutural do TIS, sugerem o estudo de sete funções, quais sejam:

- F1 – Desenvolvimento e difusão de conhecimento: esta função enaltece a geração de novo conhecimento ou adaptação de conhecimento de outras indústrias, como este evoluiu ao longo do tempo e como este se propaga pelo TIS (BABO, 2022);
- F2 – Influência sobre a direção da pesquisa: esta função corresponde à criação de condições para que o mercado possa crescer e evoluir, bem como a existência de clareza de qual é o caminho a seguir em termos de tecnologias, mercados e modelos de negócio (BERGEK; HEKKERT; JACOBSSON, 2008a);
- F3 – Atividade empreendedora: esta função está relacionada com a exploração pelo empresário de novas tecnologias ou oportunidades no mercado (BABO, 2022);
- F4 – Formação de mercado: esta função envolve atividades que procurem estimular a criação e o crescimento do mercado, seja por via de estruturas de mercado, incentivos ou certificação de produto, de forma a que estejam reunidas condições de mercado que permitam a estas tecnologias competir com as incumbentes (BERGEK; HEKKERT; JACOBSSON, 2008a);
- F5 – Legitimidade: esta função compreende a força da legitimidade do TIS perante o ambiente regulatório, bem como as bases de valor construídas na sociedade, uma vez que refere-se à tentativa por parte dos proponentes da tecnologia emergente em torná-la aceita e desejada por atores relevantes com vistas à mobilização de recursos, criação de demanda e ao fortalecimento político (BERGEK; HEKKERT; JACOBSSON, 2008a);
- F6 – Mobilização de recursos: esta função implica a alocação de recursos físicos, financeiros e humanos ao mercado, e trata-se de um pré-requisito econômico para que qualquer tecnologia emergente tenha as condições necessárias para se puder desenvolver (BABO, 2022);
- F7 – Desenvolvimento de externalidades positivas: esta função é indicativa da dinâmica geral e permite a identificação de ciclos virtuosos ou círculos viciosos entre as funções (ZEN; BRANDÃO; BREITENBACH, 2021). Nesta função, a entrada de novos atores no TIS é crucial pois com isso permite-se o reforço de outras funções do sistema de

inovação (BABO, 2022).

Dessa forma, a abordagem do TIS mostra-se como um mecanismo poderoso para avaliar e analisar aspectos internos inerentes a sistemas de inovação (GRIN; ROTMANS; SCHOT, 2010). Ademais, a metodologia acaba por ser a mais adequada para se estudar transições energéticas, em particular associadas ao setor dos transportes, pois permite agregar dinâmicas do lado da oferta e da procura e pela sua articulação com estudos de transição energética e de sustentabilidade (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

Propôs-se analisar neste estudo o Projeto Eletroposto CELESC, de responsabilidade da CELESC Distribuição S.A., execução da Fundação CERTI e apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

3. Procedimento metodológico

No trabalho em questão, buscou-se caracterizar o Projeto Eletroposto CELESC como um sistema de inovação, utilizando a abordagem do TIS como um mecanismo para analisar a situação atual e o desempenho do projeto. Para isso, o estudo foi segmentado em três etapas: i) Delimitação e caracterização do TIS para o Projeto Eletroposto CELESC, identificando atores, redes, instituições e tecnologias que o compõe (HEKKERT; SUURS; NEGRO; KUHLMANN; SMITS, 2007; SUURS, 2009); ii) Análise funcional do TIS, considerando as contribuições positivas e negativas (BERGEK; HEKKERT; JACOBSSON, 2008a); iii) Discussão acerca das sinergias entre diferentes funções que compõem o TIS e o desempenho do projeto para o ecossistema em que está inserido. A Figura 1 apresenta o esquema de análise empregado neste trabalho.

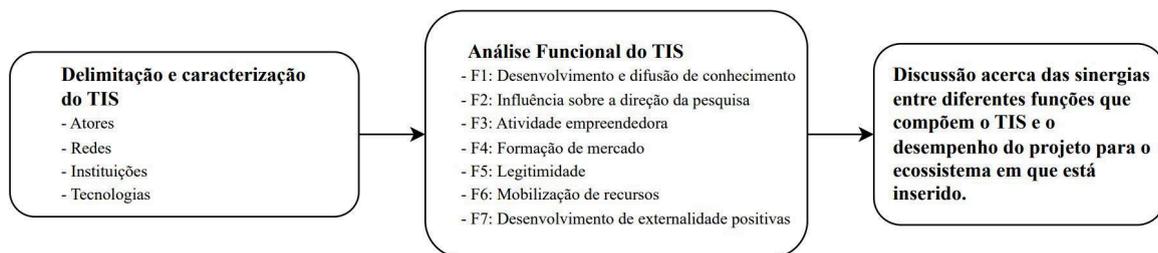


Figura 1: Esquema metodológico adotado para análise dos dados. Fonte: Autoria própria (2025).

O Eletroposto CELESC surgiu com o intuito de mudar os paradigmas da mobilidade elétrica no estado de Santa Catarina, bem como impulsionar o mercado de veículos elétricos a médio e longo prazo. Neste contexto, a iniciativa teve como objetivo global implantar eletropostos de forma sustentável e ambientalmente amigável, criando um corredor elétrico no estado e gerando novos negócios ligados à eletrificação de veículos.

Atuando em conformidade com legislações e regulamentações vigentes, o projeto foi estruturado em três fases distintas, iniciadas em 2015. Na Fase 1, foram instaladas sete estações de recarga em Santa Catarina, criando um corredor elétrico pioneiro de 300 km. Três estações eram do tipo rápida e quatro semirrápidas, permitindo interações inovadoras com a rede de distribuição e minimizando impactos no consumo elétrico. Além disso, iniciou-se o desenvolvimento do primeiro protótipo nacional de estação semirrápida, em conformidade com normas internacionais. Na Fase 2, a partir de 2018, o projeto foi ampliado para um corredor elétrico de 1.500 km, abrangendo 75% do estado. Essa etapa consolidou o "Espaço de Mobilidade", um laboratório vivo para integração e controle de componentes e entregou três protótipos otimizados e operacionais, além de um site informativo para os usuários.

A Fase 3, iniciada em 2023, busca consolidar um modelo de negócios autossustentável para rentabilizar a rede existente. Estudos aprofundados sobre tarifação e comercialização de energia fundamentam o plano de negócios, que será concluído até 2026. Também estão sendo instaladas mais de 20 novas estações de recarga, incluindo tipos semirrápido, rápido e ultrarrápido, ampliando ainda mais o alcance do corredor elétrico e atendendo às regiões com maior concentração de veículos elétricos.

No que se refere à coleta de dados, a pesquisa utilizou-se essencialmente de dados secundários, como documentos e registros em arquivos históricos disponibilizados nos anais do próprio projeto.

4. Resultados e discussão

Esta seção está dividida em 2 subseções. A primeira apresenta a delimitação e caracterização do TIS, definindo os atores, redes, instituições e tecnologias envolvidas no Projeto Eletroposto CELESC. A segunda aborda a análise funcional do TIS, apresentando conexões e discussões acerca das funções do sistema.

4.1. Delimitação e caracterização do TIS

O Projeto Eletroposto CELESC se apresenta como um pioneiro, principalmente na região do estado de Santa Catarina. Desde 2014, quando foi concebida, a iniciativa já envolveu diversos atores, incluindo empresas privadas, órgãos governamentais e entidades públicas. A Figura 2 apresenta os stakeholders atuantes na Fase 3 do projeto e as ligações colaborativas entre eles.

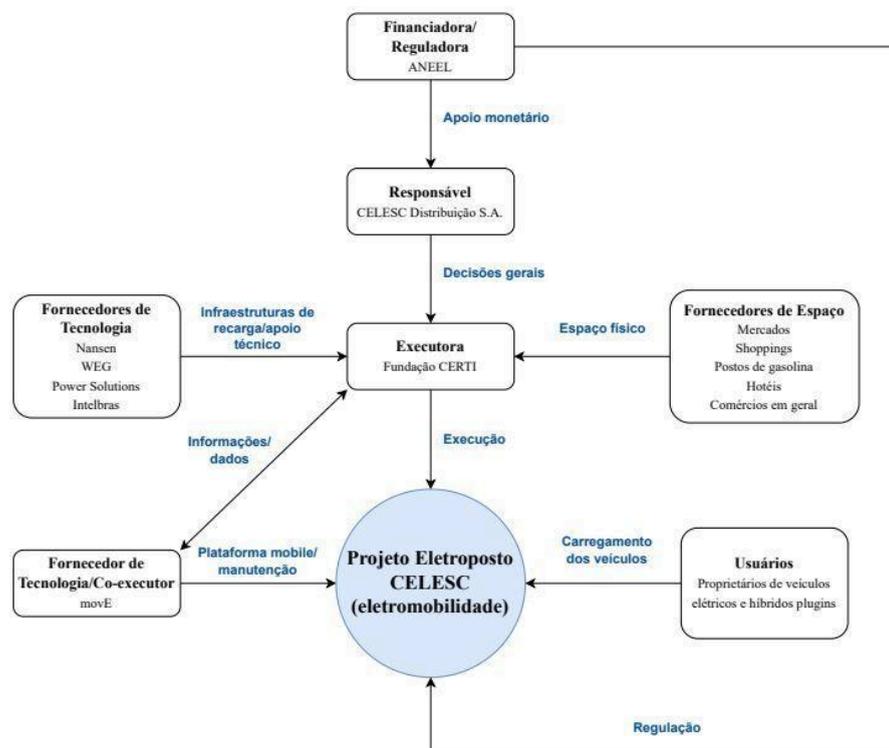


Figura 2: Ecossistema de atores envolvidos na Fase 3 do Projeto Eletroposto. Fonte: Autoria própria (2025).

Inicialmente, em posição de destaque, tem-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que atua como financiadora do Projeto Eletroposto. Tal programa estabelece critérios para execução desses projetos por meio de chamadas estratégicas, nas quais empresas



reguladas podem ingressar. Outro ator importante é a CELESC Distribuição S.A. cuja responsabilidade inclui assegurar a qualidade e a viabilidade do projeto, além de atuar como um elo entre os stakeholders envolvidos, promovendo a integração das soluções técnicas desenvolvidas com as expectativas do mercado e os requisitos regulatórios.

Voltando-se à frente técnica, a primeira empresa relacionada é a Fundação CERTI, que atua como executora principal, sendo responsável por desenvolver, implementar e validar as soluções tecnológicas para a infraestrutura de recarga de veículos elétricos. A Fundação CERTI também é responsável por conduzir testes, assegurar a conformidade com normas técnicas nacionais e internacionais e oferecer suporte técnico para a operacionalização do projeto. Neste contexto, a empresa atua como um elo central na triangulação de governança entre os stakeholders técnicos, a holding CELESC e a execução das atividades, garantindo uma coordenação integrada e eficaz do projeto.

Consolidando-se como parte essencial deste ecossistema, tem-se os atores técnicos. Os fornecedores de espaço são, em sua maioria, empresas privadas, como mercados, shoppings, hotéis, postos de gasolina e comércios em geral, os quais disponibilizam seu espaço físico e infraestrutura básica para receber a instalação dos eletropostos. Essa parceria é essencial para garantir a capilaridade da infraestrutura, aumentando a conveniência e a acessibilidade para os consumidores finais.

Já os fornecedores de tecnologias tratam-se das empresas WEG, Nansen, Power Solution e Siemens, as quais foram responsáveis por disponibilizar as infraestruturas de recarga, incluindo os equipamentos de carregamento de veículos elétricos e por fornecer suporte técnico especializado. Não obstante, a movE também faz parte dos fornecedores de tecnologia, uma vez que é responsável pela integração e gestão dos sistemas de controle e monitoramento dos eletropostos. Além disso, no projeto em questão, a empresa também atua como co-executora, colaborando diretamente na implementação das soluções tecnológicas e operacionais, bem como no suporte técnico às atividades desenvolvidas.

Por fim, o último ator envolvido diretamente no projeto trata-se dos usuários da tecnologia, os quais são representados pelos proprietários de veículos elétricos e híbridos plug-ins. Esses usuários desempenham um papel central na validação prática do sistema, sendo os principais beneficiários das soluções implementadas.

No que tange às instituições que tratam dos aspectos do TIS como culturas, normas, leis, regulamentações e rotinas pertinentes, a ANEEL é responsável por estabelecer normas regulatórias para a recarga de veículos elétricos, como as Resoluções Normativas nº 819/2018 e nº 1000/2021, que definem regras para concessionárias e consumidores (ANEEL, 2018; ANEEL, 2021). A regulamentação brasileira também inclui normas da ABNT, como a NBR 17019/2022, que especifica requisitos para instalações elétricas e estações de recarga (ABNT, 2022), a NBR IEC 62196, sobre padronização de conectores (ABNT, 2021), e a NBR IEC 60529, que trata da proteção de invólucros (ABNT, 2017). Apesar dos avanços, o arcabouço regulatório ainda é limitado.

No âmbito tecnológico, o Projeto Eletroposto integra sistemas de carregamento inteligentes, monitoramento remoto e *softwares* de gestão para otimizar o fornecimento e consumo de energia, além de garantir a segurança por meio da padronização de conectores e sistemas de proteção.

4.2. Análise funcional do TIS e conexões

As subseções abaixo abordam as sete funções do TIS, definindo parâmetros e discussões acerca de cada ponto.



4.2.1. Desenvolvimento e difusão do conhecimento

No âmbito da eletromobilidade, projeções indicaram que a perspectiva global para a participação de vendas de carros elétricos irá crescer substancialmente nos próximos anos, chegando a casa de 35% em 2030 (IEA, 2023). Neste mesmo cenário, espera-se que a procura por estações de recarga acompanhe o aumento das vendas de veículos elétricos, impulsionada por políticas governamentais, avanços tecnológicos e uma maior conscientização ambiental. Tal demanda trata profundas implicações nos mercados de energia e nas metas climáticas no ambiente político atual.

Considerando a atuação do Projeto Eletroposto dentro deste ecossistema, é notório seu destaque. Iniciado em 2014, o projeto acumula mais de 10 anos de estudos voltados ao setor de mobilidade elétrica. Por ser um programa de P&D, o projeto já está em sua Fase 3, tendo superado diversos marcos relevantes no cenário brasileiro de eletromobilidade, como a implementação de estações de recarga em locais estratégicos, o desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis para infraestrutura de recarga e a participação ativa em debates regulatórios que moldaram as diretrizes para o setor no Brasil. Outro ponto significativo é a quantidade de publicações geradas exclusivamente pelo projeto: desde seu início, já foram 13 (treze) artigos publicados, sendo 9 (nove) de âmbito nacional e 4 (quatro) internacional.

Além disso, o projeto tem promovido ativamente a disseminação de conhecimento por meio de *workshops* realizados entre os *stakeholders*, com o objetivo de fomentar a troca de experiências e ideias no setor, bem como impulsionar a eletromobilidade na região de Santa Catarina.

4.2.2. Influência sobre a direção da pesquisa

No tocante à formação de competências, Barassa (2019) aponta que, com base no mapeamento de patentes e artigos brasileiros relacionados à eletromobilidade, os esforços têm sido conduzidos predominantemente por empresas do setor automobilístico de capital estrangeiro, com uma participação menor de universidades e institutos de pesquisa. O autor também destaca que as principais inovações extraídas dessas patentes estão concentradas em componentes do powertrain e baterias. Em menor escala, observa-se uma alocação de esforços direcionados à infraestrutura, especialmente em tecnologias voltadas ao suporte do abastecimento veicular.

Uma vez que o Projeto Eletroposto atua diretamente no âmbito das infraestruturas para veículos elétricos, com esforços voltados à pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para estações de recarga, ele preenche uma lacuna importante identificada no cenário brasileiro. Sua abordagem inclui o desenvolvimento de soluções inovadoras para otimizar a eficiência energética, melhorar a experiência do usuário e viabilizar modelos sustentáveis de implantação e operação. Além disso, o projeto contribui para a formação de competências locais ao envolver universidades, empresas e institutos de pesquisa em atividades colaborativas, fortalecendo a base de conhecimento nacional na área de eletromobilidade, o que vai de conformidade com a formação de mercado (F4).

4.2.3. Atividade empreendedora

Dentro do Projeto Eletroposto, muitas foram as provas de conceito e testagens realizadas. Em um primeiro momento, os esforços focaram na criação de uma arquitetura para o Espaço de Mobilidade¹, com funcionalidades como recarga veicular, armazenamento de energia e

¹ Atuando como um laboratório vivo para o desenvolvimento de soluções no uso de recursos energéticos de baterias, veículos elétricos e de geração local, o espaço pode ser entendido como um controlador local de eletropostos e sua infraestrutura associada, sendo responsável pelo gerenciamento de energia, pelo controle e

integração com geração fotovoltaica. O desenvolvimento modularizado do sistema permitiu a disponibilização gradual de funcionalidades básicas, como recarga limitada de veículos, enquanto tecnologias mais avançadas eram refinadas. Testes foram realizados com simulações no Typhoon HIL e com hardware real, incluindo estações de recarga e controladores lógicos programáveis, culminando na integração com plataformas como SteVE e movE e no desenvolvimento de soluções para operações com estações V2G. A Figura 3 apresenta o Espaço de Mobilidade, criado em Florianópolis, Santa Catarina.



Figura 3: Espaço de Mobilidade desenvolvido pelo Projeto Eletroposto. Fonte: Autoria própria (2023).

Ainda, durante a Fase 1, iniciaram-se os estudos para a fabricação de um protótipo de estação de recarga do tipo semirrápida, o qual despontou como o primeiro modelo nacional em acordo com a norma IEC 61851 e com suporte ao protocolo OCPP 1.5. Na Fase 2, este protótipo passou por otimizações significativas, como projeção da estrutura mecânica e aperfeiçoamentos eletrônicos. Como resultado, foram entregues 3 (três) protótipos testados e aprovados. A Figura 4 apresenta este protótipo em sua fase final.



Figura 4: Protótipo de Eletroposto desenvolvimento nas Fases 1 e 2 do projeto. Fonte: Autoria própria (2023).

Ademais, o projeto se destaca pela realização de testes contínuos de manutenção e comissionamento nas estações do corredor elétrico. Essa prática não apenas assegura a operação confiável e segura dos eletropostos, como também contribui para a identificação de melhorias tecnológicas e operacionais, garantindo que o sistema se mantenha alinhado às demandas crescentes do setor de mobilidade elétrica.

4.2.4. Formação de mercado

pela comunicação de seus componentes e ainda pela sua comunicação com uma plataforma de gestão de recargas através do protocolo OCPP.

No caso do Projeto Eletroposto, voltando os olhares para 2014, em seu início, a temática de eletromobilidade é pouco formentada na região de Santa Catarina – e em âmbito nacional, de modo geral. Dessa forma, a implementação de um corredor elétrico envolvia riscos consideráveis, uma vez que o mercado ainda não estava preparado – ou mesmo demandando – de infraestruturas de carregamento de veículos elétricos.

Para a construção deste cenário, em 2015, foram instaladas as primeiras 7 (sete) estações de recarga – sendo 3 (três) do tipo rápido e 4 (quatro) do tipo semirrápido –, distribuídas pelas cidades de Araquari, Florianópolis, Porto Belo, Blumenau e Joinville. Essas instalações deram início a um corredor elétrico pioneiro na região, abrangendo cerca de 300 km. Em meados de 2018, durante a Fase 2 do projeto, o corredor elétrico passou por uma expansão significativa: com a adição de 23 (vinte e três) novos locais de carregamento, o projeto se expandiu para 1500 km, cobrindo quase 75% do território estadual. Naquele momento, o cenário de eletromobilidade havia mudado substancialmente em relação ao início da Fase 1. Santos, Araujo, Santos e Silva (2021) indicam que 2019 foi um ano crucial para o mercado nacional de mobilidade elétrica, com um aumento expressivo de cerca de 300% no registro de veículos elétricos leves. Esse crescimento exponencial nas vendas impulsionou a demanda por infraestrutura de recarga, o que levou as empresas a se empenharem na expansão dos corredores elétricos para atender a essa lacuna.

Em resposta a essa demanda, diversos setores foram adaptados para acomodar o crescente número de veículos elétricos. Alinhado a essa tendência, o Projeto Eletroposto CELESC, em sua Fase 3, prevê uma nova expansão de sua infraestrutura, totalizando 48 estações de recarga – sendo 29 (vinte e nove) do tipo semirrápido, 18 (dezoito) do tipo rápido e 1 (uma) estação do tipo ultrarrápido, que representa uma tecnologia inovadora e uma tendência crescente no mercado, alinhada ao conceito de atividade empreendedora (F3). A Figura 5 ilustra a projeção do novo corredor elétrico de Santa Catarina, planejado pelo Projeto Eletroposto CELESC para ser concluído até 2026.

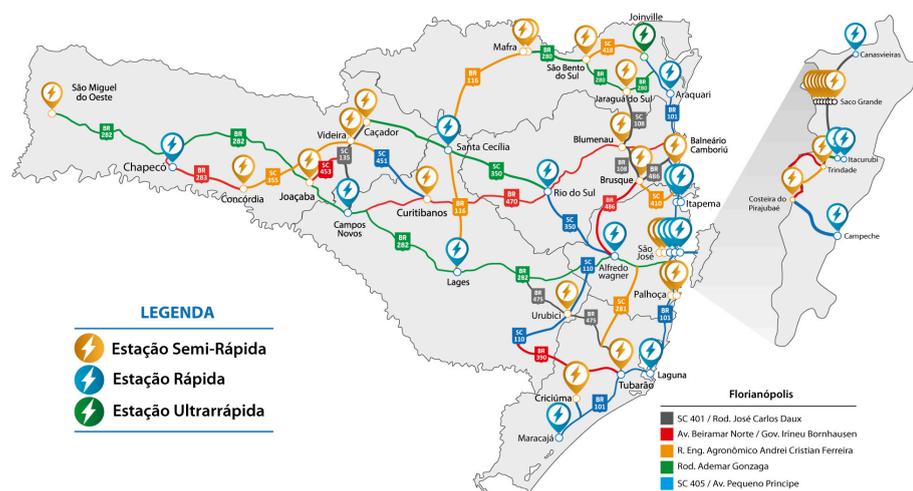


Figura 5: Corredor elétrico proposto para a Fase 3 do Projeto Eletroposto. Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.5. Legitimidade

Os principais proponentes dessa transformação no Brasil incluem órgãos governamentais, como a ANEEL e o Ministério de Minas e Energia, além de empresas de tecnologia, instituições de pesquisa e a academia. Esses atores, em conjunto, promovem discussões e ações que fomentam a mobilidade elétrica no país, ao mesmo tempo em que estruturam um mercado emergente em expansão. No contexto do Projeto Eletroposto, grande parte dos



stakeholders reflete esses proponentes, consolidando o papel do projeto como um ambiente de proposição e experimentação de novas tecnologias, alinhado ao conceito de atividade empreendedora (F3).

Essa característica é evidenciada pela contribuição da equipe do projeto à Consulta Pública 002/2016 e à Audiência Pública 029/2017 da ANEEL, que visaram formar o arcabouço regulatório do mercado de recarga veicular no Brasil. As contribuições seguiram quatro premissas principais: tratar estações sem fluxo bidirecional como cargas genéricas, manter o serviço de recarga independente de agregados, garantir a abertura do mercado a qualquer interessado e exigir telemetria para estações comerciais ou de uso não-privado.

Reforçando o papel propositor do projeto, a Fase 3 incluiu a elaboração de proposições normativas e técnicas voltadas à padronização de estados de recarga e homologação de eletropostos em âmbito nacional. Esses estudos tiveram como objetivo fornecer uma base sólida para discussões e decisões informadas no desenvolvimento de políticas públicas para o setor.

4.2.6. Mobilização de recursos

Uma vez que o Projeto Eletroposto faz parte da chamada estratégica da ANEEL, conforme supracitado, seu financiamento total faz parte do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da ANEEL. Sendo assim, esses investimentos garantem o suporte financeiro integral para a implementação das tecnologias propostas, o desenvolvimento de capacidades técnicas e humanas, bem como o avanço da eletromobilidade no Brasil, alinhando-se aos objetivos estratégicos da agência reguladora.

Quanto ao tocante de recursos humanos, o projeto contou com uma equipe multidisciplinar, composta por engenheiros da área técnica, cientistas de dados, profissionais de marketing, especialistas em finanças, advogados, pesquisadores acadêmicos e consultores regulatórios. Essa heterogeneidade foi essencial para abordar os desafios do projeto de forma integrada, garantindo que as soluções desenvolvidas fossem tecnicamente robustas, economicamente viáveis, juridicamente seguras e estrategicamente alinhadas às tendências do mercado e às regulamentações vigentes. Além disso, a interação entre diferentes áreas de especialização fomentou a inovação e permitiu a adaptação das soluções às demandas de um mercado em rápida transformação, o que demonstra conexão e compatibilidade com a legitimidade (F5) e a formação de mercado (F4).

4.2.7. Desenvolvimento de externalidades positivas

No contexto do Projeto Eletroposto, o fortalecimento das funções do TIS cria um ciclo virtuoso que beneficia o setor de eletromobilidade como um todo. A entrada de novos atores promove a colaboração, o compartilhamento de conhecimento e o aumento da capacidade técnica do mercado, enquanto as políticas públicas garantem que o setor avance de forma sustentável. Ao longo do projeto, constatou-se que as tecnologias desenvolvidas não se restringem a determinadas condições geográficas. Concessionárias e empresas de outros estados, como a COPEL, no Paraná, demonstraram interesse em compreender as premissas e diretrizes do projeto, especialmente no que diz respeito à tarifação da recarga de veículos elétricos. Essas discussões evidenciaram desafios, como a falta de interoperabilidade entre as plataformas de gestão para eletromobilidade, resultando em uma experiência menos eficiente e mais onerosa em termos de tempo para os usuários.

Além disso, as tecnologias testadas e validadas no projeto comprovaram sua viabilidade prática e econômica, estimulando novos investidores e empresas a explorarem o mercado, incluindo outras concessionárias de energia em diferentes regiões do Brasil. Pelo seu caráter



pioneiro, a CELESC demonstrou, por meio do projeto, que empresas desse porte também podem atuar nesse segmento, promovendo uma inovação disruptiva no setor de energia. Esse efeito cascata gera economias de escala, reduz custos e acelera a implementação de soluções inovadoras.

Não obstante, o Projeto Eletroposto CELESC também influenciou diretamente o público-geral, fortalecendo a conscientização sobre a eletromobilidade, por meio de seu site, e estimulando a adoção de veículos elétricos. A expansão da infraestrutura de recarga e a disponibilização de informações acessíveis contribuíram para reduzir barreiras à entrada dessa tecnologia.

5. Considerações finais

A análise do Projeto Eletroposto CELESC, sob a lente do Sistema Tecnológico de Inovação (TIS), permite compreender como elementos estruturais e funções sistêmicas se articulam para viabilizar a inovação na infraestrutura de mobilidade elétrica. Ao mapear atores, redes, instituições e tecnologias, o estudo demonstrou que o TIS fornece um diagnóstico dinâmico e aprofundado da maturidade e das lacunas do sistema analisado.

Por exemplo, a função de desenvolvimento e difusão do conhecimento (F1) foi evidenciada pelas publicações técnicas e pela organização de *workshops*, enquanto a mobilização de recursos (F6) ficou clara na estruturação de equipes multidisciplinares e no financiamento via ANEEL. A formação de mercado (F4) e a atividade empreendedora (F3) se manifestaram na criação de um corredor elétrico pioneiro, no desenvolvimento de protótipos e na proposição de modelos de negócios sustentáveis. Esses elementos mostram como o TIS contribuiu para superar desafios regulatórios, técnicos e financeiros.

Portanto, o diagnóstico realizado neste artigo não apenas valida a aplicação do TIS como ferramenta de análise, mas também o demonstra como um instrumento prático para orientar decisões estratégicas em projetos de infraestrutura tecnológica. A partir da compreensão das funções sistêmicas em operação no Eletroposto CELESC, o artigo oferece uma contribuição metodológica aplicável a outros contextos de inovação em transição energética e mobilidade sustentável.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da ANEEL, bem como à CELESC pelo apoio financeiro ao projeto. Este trabalho está relacionado diretamente ao projeto “Operacionalização de modelo de negócios autossustentável para rentabilização da rede de eletropostos e expansão da infraestrutura de recarga com estações ultrarrápidas” sob PD-05697-0622/2022 ANEEL. Todavia, também é fruto indireto dos projetos “Desenvolvimento e implantação comercial de estações de recarga de veículos elétricos com soluções para V2H/V2G” (PD-05697-1618/2018 ANEEL) e “Sistema de Recarga Rápida com Armazenamento Híbrido-Estacionário de Energia para Abastecimento de Veículos Elétricos no Conceito de Redes Inteligentes” (PD-5697-0414/2014 ANEEL).

Referências

ABNT. NBR 17019 – Instalações elétricas de baixa tensão – Requisitos para instalação em locais especiais – Alimentação de veículos elétricos, Agência Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: 2022.



- ABNT. NBR IEC 60529 – Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP), Agência Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: 2017.
- ABNT. NBR IEC 62196-1 – Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículos elétricos e plugues fixos para veículos elétricos – Recarga condutiva para veículos elétricos, Agência Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: 2021.
- ANEEL. Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da ANEEL. s/d. Disponível em:
<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-pesquisa-desenvolvimento-e-inovacao>. Acesso em 12 de janeiro de 2025.
- ANEEL. Resolução Normativa nº 819, Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: 2018.
- ANEEL. Resolução Normativa nº 1000, Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: 2021.
- ASHEIM, Bjorn; GERTLER, Meric. The geography of innovation: regional innovation systems, *The Oxford Handbook of Innovation*, p. 291-317, 2009.
- BABO, Pedro. Sistema tecnológico de inovação e a difusão do Biodiesel em Portugal: Incertezas, oportunidades e desafios, Universidade do Porto, Faculdade de Economia. Porto: 2022.
- BARASSA, Edgar. A construção de uma agenda para a eletromobilidade no Brasil: competências tecnológicas e governança, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas: 2019.
- BARASSA, Eduardo, CONSONI, Flávia. O renascimento dos veículos elétricos: trajetória e tendências atuais, *ComCiência- Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*. Campinas: 2015.
- BERGEK, Anna; HEKKERT, Marko; JACOBSSON, Staffan. Functions in innovation systems: a framework for analysing energy system dynamics and identifying goals for system building activities by entrepreneurs and policy makers, *Innovations for a low carbon economy: economic, institutional and management approaches*. Cheltenham: 2008a.
- BERGEK, Anna, JACOBSSON, Staffan, CARLSSON, Bo, LINDMARK, Sven, RICKNE, Annika. Analyzing the functional dynamics of technological innovations systems: a scheme of analysis, *Research Policy*, v. 37, n. 3, p. 407-429, 2008b.
- BORGES, Cosme. O sistema tecnológico de inovação do biogás no Brasil: uma análise funcional, XXI Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente (ENGEMA). São Paulo: 2019.
- BRASIL. Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, Presidência da República, Casa Civil. Brasília: 1995.
- CARLSSON, Bo; STANKIEWICZ, Rikard. On the Nature, Function and Composition of Technological Systems, *Journal of Evolutionary Economics*, v. 1, n. 2, p. 93-118, 1991.
- CARVALHO, Luís; MINGARDO, Giuliano; VAN HAAREN, Jeroen. Green Urban Transport Policies and Cleantech Innovations: Evidence from Curitiba, Goteborg and Hamburg, *European Planning Studies*, v. 20, n. 3, 2012.
- CASALI, Giovana; SILVA, Orlando; CARVALHO, Fátima. Sistema regional de inovação: estudo das regiões brasileiras, *Revista de Economia Contemporânea*, v. 14, n. 8, p. 1173-1190, 2010.
- CASSIOLATO, José; LASTRES, Helena. Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política, *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 1, p. 34-45. São Paulo: 2005.
- CERTI. Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras - Institucional. s/d. Disponível em: <https://certi.org.br/pt/acerti-institucional>. Acesso em 12 de janeiro de 2025.
- COOKE, Philip. Regional innovation systems, asymmetric knowledge and the legacies of learning, *The learning region: foundations, state of the art, future*, 2006.
- DELGADO, Daniel. O papel da governança na transição sociotécnica em sistemas de inovação tecnológica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2018.



- DOSI, Giovanni; MALERBA, Franco; MARSILI, Orietta; ORSENIGO, Luigi. Industrial Structures and Dynamics: Evidence, Interpretations and Puzzles. *Industrial And Corporate Change*, Industrial and Corporate Change, v. 6, n. 1, p. 3-24, 1997.
- EDQUIST, Charles. Systems of innovation: Perspectives and challenges, *The Oxford Handbook of Innovation*, p. 182-208. Oxford: 2005.
- ETZKOWITZ, Henry; LEYDESDORFF, Loet. Universities and the global knowledge economy: a triple helix of university-industry-government relations, *Science, Technology and the International Political Economy Series*. London: 1997.
- FARGERBERG, Jan; FOSAAS, Morten; SAPPRASERT, Kason. Innovation: exploring the knowledge base, *Research Policy*, v. 41, n. 7, p. 1132-1153, 2012.
- FAGERBERG, Jan; MOWERY, David; NELSON, Richard. *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press. Oxford: 2005.
- FREEMAN, Chris. The 'National System of Innovation' in historical perspective, *Cambridge Journal of Economics*, v. 19, n. 1, p. 5-24, 1995.
- FREYSSINET, Michel. Three possible scenarios for cleaner automobiles, *International Journal of Automotive Technology and Management*, v. 11, n. 4, 2011.
- GARCIA, Renato; SERRA, Mauricio; MASCARINI, Suelene; BASTOS, Leticia; MACEDO, Rafael. *Sistemas Regionais de Inovação: fundamentos conceituais, aplicações empíricas, agenda de pesquisa e implicações de políticas*, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. Campinas: 2020.
- GEELS, Frank. *Technological transitions and system innovations: a coevolutionary and socio-technical analysis*, Edward Elgar Publishing, 2005.
- GRIN, John; ROTMANS, Jan; SCHOT, Johan. *Transitions to sustainable development: new directions in the study of long term transformative change*, Routledge. New York: 2010.
- HEKKERT, Marko; NEGRO, Simona. Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims, *Technological Forecasting and Social Change*, v. 76, n. 4, p. 584-594, 2009.
- HEKKERT, Marko; NEGRO, Simona; HEIMERIKS, Gaston; HARMSEN, Robert. *Technological innovation system analysis: a manual for analysts*, Utrecht University, Energy Institute. Utrecht: 2011.
- HEKKERT, Marko; SUURS, Roald; NEGRO, Simona; KUHLMANN, Stefan; SMITS, Ruud. Functions of innovation systems: a new approach for analysing technological change, *Technological Forecasting and Social Change*, v. 74, n. 4, p. 413-432, 2007.
- IEA. *Global EV Outlook 2023*, Reports of Internacional Energy Agency. Paris: 2023.
- JACOBSSON, Staffan; JOHNSON, Anna. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research, *Energy Policy*, v. 28, n. 9, p. 625-640, 2000.
- JOHNSON, Anna. *Functions in innovation system approaches*, Chalmers University of Technology, Department of Industrial Dynamics. Göteborg: 1998.
- LI, Francis; TRUTNEVYTE, Evelina; STRACHAN, Neil. A review of socio-technical energy transition (STET) models, *Technological Forecasting and Social Change*, v. 100, p. 290-305, 2015.
- LUNDEVALL, Bengt-Ake. *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learnin*, Pinter Publishers. London: 1992.
- LUNDEVALL, Bengt-Ake; JOHNSON, Bjorn; ANDERSEN, Esben; DALUM, Bent. National systems of production, innovation and competence building, *Research Policy*, v. 31, n. 2, p. 213-231, 2002.
- MALERBA, Franco. Sectoral system of innovation and production. *Research Policy*, v. 31, n. 2, p. 247-264, 2002.



- MARKARD, Jochen; TRUFFER, Bernhard. Technological innovation systems and the multi-level perspective: towards an integrated framework, *Research Policy*, v. 37, n. 4, p. 596-615, 2008.
- MARKARD, Jochen; RAVEN, Rob; TRUFFER, Bernhard. Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects, *Research Policy*, v. 41, n. 6, p. 955-967, 2012.
- NELSON, Richard; WINTER, Sidney. An evolutionary theory of economic change, The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge/London: 1982.
- NIOSI, Jorge. National systems of innovations are “x-efficient” (and x-effective): Why some are slow learners, *Research Policy*, v. 31, n. 2, p. 291-302, 2002.
- PERETA, Matheus. Análise funcional da emergência do sistema tecnológico de inovação em processamento submarino de petróleo de gás natural, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas: 2020.
- RAMOS, Felipe. Os veículos elétricos e os principais fatores condicionantes de políticas de estímulo à eletromobilidade, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas: 2018.
- SANTOS, Guilherme; ARAUJO, Kaique; SANTOS, Paulo; SILVA, Glauco. O impacto da eletromobilidade: veículos elétricos, meio ambiente e a infraestrutura energética do Brasil, *South American Development Society Journal*, v. 7, n. 21, 2021.
- SCHUMPETER, Joseph. Teoria do desenvolvimento econômico - uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. Editora Nova Cultural. São Paulo: 1997.
- SUURS, Roald. Motors of sustainable innovation: towards a theory on the dynamics of technological innovation systems, Utrecht University. Utrecht: 2009.
- SUZIGAN, Wilson; ALBUQUERQUE, Eduardo. A interação entre universidades e empresas em perspectiva histórica no Brasil, Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (CEDEPLAR). Belo Horizonte: 2008.
- TAVARES, Silvio. O papel da ANEEL no setor elétrico brasileiro, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. São Paulo: 2003.
- YIN, Robert. Estudo de caso: planejamento e métodos, 3ª edição, Bookman. Porto Alegre: 2005.
- ZEN, Humberto; BRANDÃO, Janaína; BREITENBACH, Raquel. O sistema de inovação tecnológica da hidroponia no Brasil: uma revisão de literatura, *Revista Extensão Rural*, v. 28, n. 2, p 1-26, 2021.