



GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS EMPRESARIAIS E DE GESTÃO CORPORATIVA E DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO E DE REGULAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO - GEC

ROADMAP TECNOLÓGICO PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TRANSPORTÁVEL NO BRASIL

EDUARDO NOBUHIRO ASADA(1); JOSÉ CARLOS DE MELO VIEIRA JÚNIOR(2); JONAS VILLELA DE SOUZA(2); VITOR TORQUATO ARIOLI(3); MAURICIO BICZKOWSKI(4); RONALDO ANTONIO RONCOLATTO(3); PEDRO HENRIQUE AQUINO BARRA(1); ANTÔNIO EDUARDO CEOLIN MOMESSO(1); MARINA SILVA CAMILLO DE CARVALHO(1); FELIPE MARKSON DOS SANTOS MONTEIRO(2); MÁRIO OLESKOVICZ(1); THALES AUGUSTO FAGUNDES ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS(1); USP(2); CPQD(3); COPEL DISTRIBUIÇÃO(4)

RESUMO

Este trabalho apresenta um roteiro de tecnologia que pode ser abordado em um método de gestão eficiente para apoiar os planos estratégicos referentes a sistemas de baterias transportável. O roadmap de tecnologia pode auxiliar na estruturação, comunicação, planos de negócios da visão de futuro de uma organização. Os principais objetivos deste roadmap foram analisar os mercados, produtos e tecnologias associadas ao sistema de armazenamento móvel transportável no Brasil e identificar ações de P&D de curto e longo prazo. Nas fases de elaboração, especialistas foram consultados, tendo como resultado possíveis parcerias, aplicações e tecnologias de curto, médio e longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE

Technology Roadmap; Armazenadores de Energia Elétrica Transportáveis; Distribuição de Energia Elétrica; Pesquisa e Desenvolvimento

1.0 - INTRODUÇÃO

O *Technology Roadmap* (TRM) é uma metodologia de gerenciamento usada para dar suporte no planejamento estratégico tecnológico de uma empresa. Nesse sentido, é utilizado para auxiliar na estruturação, desdobramento, comunicação e estabelecimento da visão de futuro da organização e na sua integração com os planos de mercado, produto e tecnologia (1).

Pode-se dizer que o TRM fornece um método gráfico para se estabelecer uma relação entre as necessidades futuras de mercado, a tecnologia atual da empresa, a tendência da tecnologia no mundo e os programas de pesquisa e desenvolvimento. Desta maneira, a empresa poderá tomar decisões que otimizam os investimentos de capital em P&D, ao mesmo tempo que estão alinhados com a estratégia da empresa. O presente artigo traz análises resultantes de etapa sobre rota tecnológica ligado ao Projeto de P&D 2866-0454/2016, intitulado "Sistemas de Armazenamento Transportável para Suporte a Contingências Programadas em SEs" que tem por empresas proponentes a COPEL Distribuição S.A. e a Copel Geração e Transmissão S.A., e como executoras a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD).

O propósito em desenvolver o TRM para um Sistema de Armazenamento Transportável foi o de obter uma visão geral sobre as tecnologias de armazenamento de energia, suas aplicações potenciais, direcionadores de mercado e necessidades de pesquisa, com base nas visões conjuntas dos setores da indústria e de pesquisa. Os objetivos por sua vez, englobam:

- Analisar o trinômio mercado, produto e tecnologia sob a perspectiva de sistemas de armazenamento de energia transportável;
- Identificar ações de pesquisa, desenvolvimento e aplicação para o horizonte de 2020 até 2035, considerando os aspectos do mercado brasileiro de energia.
- Direcionar aplicações para Copel Distribuidora.
- Direcionar aplicações para Copel Serviços;
- Compartilhar conhecimentos e uma visão comum entre todos os envolvidos.

Esta seção lista a missão e os objetivos deste documento. Informações sobre a metodologia usada para elaborar o Technology Roadmap podem ser conferidas na seção 2. A seção 3 explica do que se trata o sistema de armazenamento transportável. A seção 4 discute sobre os direcionadores e tendências de mercado, bem como descreve as aplicações potenciais do sistema de armazenamento transportável. A seção 5 fornece uma visão geral das tecnologias e parceiros para o sistema de armazenamento transportável. Por fim, a seção 6 apresenta o Technology Roadmap do sistema de armazenamento transportável, resultado do esforço integrado descrito nesse documento.

2.0 - METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do TRM do sistema de armazenamento transportável, utilizou-se, para base conceitual, alguns dos principais autores sobre esta temática, baseando-se principalmente nas diretrizes dos autores (2). Nesse sentido, o processo de desenvolvimento do *Roadmap* foi dividido em cinco etapas, conforme ilustrado na FIGURA 1 e descritas em seguida.



FIGURA 1 - Etapas do desenvolvimento do Roadmap.

ETAPA I - Entender Tecnologia: Nesta etapa buscou-se entender melhor a tecnologia para o desenvolvimento do TRM, por meio da identificação de parâmetros críticos da tecnologia e comparação com possíveis tecnologias concorrentes.

ETAPA II - Estudo dos direcionadores e tendências de mercado: Primou-se por identificar os principais direcionadores e tendências de mercado e priorizá-los. Esses direcionadores e tendências incluem desenvolvimentos tecnológicos, preocupações econômicas e conscientização ambiental. Essas informações representam o “por quê?” do desenvolvimento do *Roadmap*.

ETAPA III - Estudo das aplicações potenciais da tecnologia: Buscou-se identificar potenciais aplicações para curto, médio e longo prazo, definidos nesse documento como 0-5 anos, 6-10 anos, e 11-15 anos respectivamente. Essa etapa representa o “o quê?” será oferecido ao mercado para atender as necessidades, alinhado com os direcionadores e tendências identificados anteriormente.

ETAPA IV - Estudo das tecnologias e parceiros: Identificaram-se alternativas e tendências tecnológicas para o caso específico, bem como recursos adicionais (competências, parcerias, etc.). Tais tecnologias representam o “como?” a organização pretende desenvolver e entregar suas soluções.

ETAPA V - Montagem do TRM: Sintetiza todas as informações das etapas passadas e gera o TRM final.

3.0 - COMPREENSÃO DA TECNOLOGIA

A tecnologia estudada trata-se de um sistema transportável de armazenamento de energia a baterias de lítio-íon (T-BESS - *Transportable Battery Energy Storage System*). Esse sistema é utilizado para conexão a subestações ou redes de distribuição de energia elétrica (até 34,5 kV), de forma a atender contingências programadas, demandas sazonais com pico de consumo, integração com usinas fotovoltaicas ou eólicas, clientes com fornecimento de energia

em média tensão (de 1 a 34,5 kV). Esse tipo de conexão permite que seja aumentada a flexibilidade do sistema elétrico e melhorada a confiabilidade da rede.

O T-BESS é um sistema de armazenamento de energia a baterias de lítio-íon composto de 2 subsistemas, designados como de (a) corrente contínua (CC) e de (b) corrente alternada (CA). Em que (a) representa o conjunto de baterias e acessórios que tratam o sistema de gestão de baterias; já (b) é a composição do sistema de recarga, ou seja, todos os equipamentos de chaveamento, barramentos, cabos, conectores, transformadores e sistema de proteção necessários para conectar o T-BESS à subestação ou rede de distribuição da concessionária de energia elétrica.

O diferencial do T-BESS reside fundamentalmente na possibilidade de ser transportado para o atendimento a diferentes pontos do sistema de distribuição de energia elétrica, tornando-o um produto multiuso e adaptável às várias aplicações. Deve-se atentar sobre as questões relacionadas ao superaquecimento e sobrecarga que podem causar graves acidentes.

4.0 - DIRECIONADORES E TENDÊNCIAS DE MERCADO - SISTEMA DE ARMAZENAMENTO TRANSPORTÁVEL

4.1 - Direcionadores e Tendências

Durante o desenvolvimento do *Roadmap*, optou-se por separar os direcionadores e tendências de mercado pensando em uma Distribuidora de Energia Elétrica e uma prestadora de Serviços. Em seguida são apresentados cada um dos direcionadores de acordo com o horizonte de tempo.

Distribuidora de Energia Elétrica: considerando um curto prazo, o T-BESS pode proporcionar maior confiabilidade do sistema, melhorar a utilização dos recursos, aumentar o nível de sustentabilidade; Considerando um médio prazo a distribuído pode se beneficiar através da obtenção da melhoria da qualidade da energia suprida, com a fidelização de consumidores livres e com a descentralização da geração; A longo prazo, ela pode se beneficiar com o crescimento das microrredes e das redes inteligentes.

Prestadora de Serviços: quando é levado em consideração o tempo a médio prazo, as prestadoras de serviço podem se beneficiar através da servitização; já a longo prazo, buscam o aumento de seu portfólio de serviços e a alinhas à novos mercados e negócios.

4.2 - Barreiras/Riscos

De modo geral, as barreiras à disseminação do armazenamento de energia por baterias transportáveis no mercado de energia nacional podem se enquadrar em uma das seguintes categorias:

Regulatórias e normativas: Referem-se primeiramente aos aspectos da regulação do setor elétrico que definem a forma como os ativos de armazenamento serão tratados nos vários segmentos do setor elétrico, em especial na distribuição de energia elétrica, e em um segundo momento às normas de conexão e procedimentos de operação da solução transportável;

Comerciais: Nesta categoria, encontram-se as barreiras relacionadas à plena exploração comercial do sistema de armazenamento transportável por meio de novos atores ou novas unidades de negócio das empresas de energia;

Aquisição e manutenção: Por conta do porte dos sistemas de armazenamento e do nível de tecnologia envolvida, é provável que os equipamentos sejam importados no primeiro momento de desenvolvimento do mercado. Esta possibilidade pode configurar uma dependência forte em uma cadeia de fornecedores de baixa representatividade no Brasil, o que acaba inibindo a disseminação da tecnologia;

Ambientais: Referem-se às questões ambientais envolvidas com o transporte das baterias e do sistema de conversão de energia (PCS), bem como os potenciais riscos no uso das baterias de lítio e os planos para um descarte seguro das baterias ao final da vida útil.

4.3 - Aplicações Sistema de Armazenamento Transportável

As aplicações identificadas nesse capítulo demonstram capacidade de se beneficiarem do recurso de transportabilidade, considerando-se que seus requisitos sejam plenamente atendidos pelas características técnicas. Aplicações específicas foram identificadas na literatura vigente, sendo apresentadas a seguir:

Redução de custos de energia via tarifas TOU (*Time-of-Use*): a concessionária pode se beneficiar ao utilizar a energia armazenada pelo T-BESS, durante o período fora de ponta, no horário de maior carregamento, horário de ponta, fazendo com que haja uma redução dos custos (3).

Redução de picos de demanda (*Peak shaving*): A operação de T-BESS pode ser planejada para reduzir picos de demanda de um alimentador. Essa redução de pico de demanda, contribui para uma operação do sistema de distribuição mais segura e estável, além de reduzir perdas de transmissão de energia (4).

Resiliência e backup de energia (*Resiliency and backup power*): Na ocorrência de falhas no sistema de distribuição, o T-BESS pode ser utilizado como backup de energia de cargas prioritárias. Esta aplicação pode, principalmente, ajudar a reduzir o índice DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), uma das principais preocupações das empresas distribuidoras (5).

Restauração do sistema (*Black start*): É o processo de restaurar uma estação de energia elétrica ou parte de uma rede elétrica para operação, sem depender da rede externa de transmissão de energia elétrica para recuperar-se de um desligamento total ou parcial (6).

Serviços ancilares (*Ancillary Services*): Serviços ancilares são os serviços necessários para apoiar a transmissão de energia elétrica de geradores para consumidores, dadas as obrigações das áreas de controle e as empresas de transmissão dentro dessas áreas de controle para manter operações confiáveis do sistema de transmissão interconectado. Esses serviços geralmente incluem regulação de frequência, reservas rotativas e reservas operacionais (7).

Reserva de energia: Capacidade em atender a uma variação da carga de forma imediata e durante um breve período de tempo, em caso de necessidade de resposta a um evento de inesperado, como uma interrupção de geração não planejada (8).

Arbitragem de energia (*Energy arbitrage*): Armazenamento de energia elétrica quando o preço no mercado spot estiver em níveis baixos, visando injetar essa energia na ponta do consumo quando, em geral, o preço spot é mais elevado (9).

Integração com veículos elétricos: Os sistemas de armazenamento de energia elétrica podem ser utilizados como alternativa a recarga de veículos elétricos, seja como serviços de apoio ou ajudando a evitar os períodos de sobrecarga da rede (10).

5.0 - TECNOLOGIAS E PARCEIROS SISTEMA DE ARMAZENAMENTO TRANSPORTÁVEL

Essa seção sintetiza as informações relacionadas com o estudo de alternativas e tendências tecnológicas para as aplicações identificadas anteriormente, bem como os potenciais parceiros tecnológicos. As tecnologias estão divididas em tecnologia “core” e complementares.

5.1 - Tecnologia Core

O termo “Tecnologia Core” (do inglês, “*Core Technology*”) é referente à tecnologia principal do produto ou do processo, sendo aquela que distingue um produto ou processo de outros produtos e processos, dentro das finalidades específicas de utilização. Nesse sentido, para esse TRM, foi escolhido como tecnologia “core” os sistemas de armazenamento de energia visto que grande parte das aplicações já citadas podem ser exercidas por esse tipo de estrutura. As categorias estudadas são apresentadas a seguir.

Químico: armazena energia em substâncias químicas (gasosa, líquida ou sólida) liberando-a através de reações químicas. As tecnologias de armazenamento a seguir são exemplos que se enquadram nessa categoria: *Ammonia, Drop-in-Fuels, Hydrogen, Methanol, Synthetic Fuels, e Synthetic Natural Gas* (11).

Eletroquímico: engloba principalmente as baterias, onde a energia química está armazenada. As formas de conversão da energia química para a elétrica (ou vice-versa) se dá através das reações eletroquímicas. Desta forma, uma reação eletroquímica trata-se do uso das reações químicas espontâneas para produzir eletricidade e do uso da eletricidade para forçar reações químicas não espontâneas (quando há o carregamento da bateria). As tecnologias de armazenamento a seguir são exemplos que se enquadram nessa categoria: Baterias clássicas (*Lead Acid, Li-Ion, Na-S, etc.*), Baterias de Fluxo (*Vandium Red-Ox, Zn-Br e Zn-Fe*) e Supercapacitores Híbridos (11).

Elétrico: armazena elétrons em capacitores (no campo eletrostático dos eletrodos) e/ou condutores magnéticos (no campo magnético das bobinas). Desta forma, a capacidade de energia é limitada, porém com um rápido tempo de reação. As tecnologias de armazenamento a seguir são exemplos que se enquadram nessa categoria: Supercapacitores e Supercondutores magnéticos (11).

Mecânico: pode ser obtido pela energia potencial da água constituindo um armazenamento hidroelétrico e também pode ser através do volume e pressão de um sistema de ar comprimido. As tecnologias de armazenamento a seguir são exemplos que se enquadram nessa categoria: Ar comprimido, *Flywheels e Pumped Hydro* (11).

Térmico: a energia pode ser armazenada por causa do calor sensível de materiais durante a mudança de temperatura, também pode ser através do calor latente durante a mudança de fase de um material ou pela termoquímica através da liberação de calor numa reação química. As tecnologias de armazenamento a seguir são exemplos que se enquadram nessa categoria: *Sensible Heat Storage, Latent Heat Storage e Thermochemical Storage* (11).

5.2 - Tecnologias Complementares

As tecnologias principais demandam, de certa forma, de outros componentes para a sua integralidade. Dessa forma, definem-se tecnologias complementares como tecnologias que colaboram com a operacionalização da tecnologia “core” do sistema de armazenamento de energia. As seguintes tecnologias complementares são destacadas:

Power Converter System (PCS): O PCS é um sistema de conversão de energia que converte a energia em corrente contínua provida das tecnologias core de um sistema de armazenamento de energia a baterias para corrente alternada, que por sua vez é injetada na rede por meio de um transformador de acoplamento.

Battery Management System (BMS): Dentro do escopo de sistemas de armazenamento de energia que utilizam baterias como tecnologia core, o BMS é o sistema responsável por manter dentro dos limites operacionais cada célula de bateria. Estes sistemas utilizam de algoritmos e estratégias para estimar a vida útil e o estado de carga das células da bateria.

Containerização/Integração: São considerados todos os equipamentos de chaveamento, barramentos, cabos, conectores, transformadores e sistema de proteção, sistema de aterramento, necessários para conectar a bateria à subestação ou rede de distribuição da concessionária de energia elétrica.

Dispositivo de gerenciamento: Tem como objetivo a supervisão, controle e gestão de sistemas elétricos. Pode ser utilizado para fiscalizar e controlar a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. O dispositivo visa analisar todas as informações necessárias para operação do sistema. Cada aplicação necessitará de um dispositivo próprio, de acordo com suas necessidades.

Algoritmos: Desenvolvimento de novos algoritmos visando obter uma solução para um determinado tipo de problema, permitindo a operacionalização do sistema de gerenciamento. Pode ser entendido como uma sequência de raciocínios, instruções ou operações para alcançar um objetivo, sendo necessário que os passos sejam finitos e operados sistematicamente. Cada aplicação necessitará de um algoritmo que atenda às suas necessidades.

Ajuste da proteção: Compreende equipamentos responsáveis pela proteção do sistema visando minimizar a incidência de defeitos. A proteção atua com dois grandes objetivos: 1) evitar que falhas no sistema, como o curto-circuito, possam danificar equipamentos e materiais deste sistema; 2) promover o rápido restabelecimento de energia, evitando danos aos consumidores e proporcionando uma qualidade no fornecimento da energia aos usuários.

5.3 - Parceiros Tecnológicos

Aqui são indicados os possíveis parceiros tecnológicos para viabilizar a solução do sistema transportável de armazenamento de energia para atender as aplicações para as quais foi designada. Optou-se por indicar a relação dos parceiros de maneira genérica sem especificar nomes dos mesmos, visando evitar possíveis limitações. Sendo assim, os itens seguintes representam os parceiros tecnológicos necessários para a solução.

Fornecedores da tecnologia core: consiste nos fabricantes de armazenadores de energia.

Fornecedores dos equipamentos de eletrônica de potência (PCS): são os fabricantes de dispositivos, como inversores e conversores de potência, capacitores e indutores. Normalmente estes fornecedores também são responsáveis pelo desenvolvimento do *software* de controle do sistema de armazenamento de energia para que o mesmo possa atuar nas diferentes aplicações para o qual fora designado;

Fornecedores do Sistema de Gerenciamento de Energia (BMS): responsáveis pelo *software* e controle das baterias no lado de corrente contínua, visando alto desempenho e segurança;

Fornecedores da Solução do Sistema de Armazenamento: são as empresas responsáveis por integrar a tecnologia core com as complementares e *softwares* de gerenciamento e controle da solução. A integração deve prever o projeto dos contêineres onde serão alocados todos os elementos, respeitando as normas brasileiras de projeto, segurança e transporte. Uma empresa integradora pode ser fabricante de uma das tecnologias (core ou complementares);

Fornecedor para a mobilidade e comissionamento da solução: responsáveis pelo fornecimento dos meios de transporte e comissionamento da solução, bem como pelo serviço de locomoção da mesma até os seus locais de necessidade e aplicação;

Fornecedor dos equipamentos de eletrônica de potência: são os fabricantes de dispositivos, como inversores e conversores de potência, capacitores e indutores, bem como equipamentos necessários para a conexão da solução com a rede;

Parceiros estratégicos para inserção do produto no mercado e sua livre comercialização: ANEEL, ONS, concessionárias, comercializadoras de energia elétrica, etc.

6.0 - Roadmap do Sistema de Armazenamento de Energia Transportável

Após toda a construção da metodologia apresentada pela FIGURA 1, o *Roadmap* final do sistema de armazenamento transportável é finalmente apresentado, sintetizando todas as informações discutidas até aqui. Vale destacar que se optou por desenvolver, de forma detalhada, as rotas de 3 aplicações presentes no *Roadmap*: uma de curto, uma de médio e uma de longo prazo. Tal decisão foi tomada devido à similaridade apresentada entre as aplicações em termos de tecnológica e parceiros tecnológicos. Assim apresenta-se a visão do *Roadmap* geral (FIGURA 2) e em seguida cada uma dessas rotas de forma detalhada (FIGURA 3, FIGURA 4 e FIGURA 5).

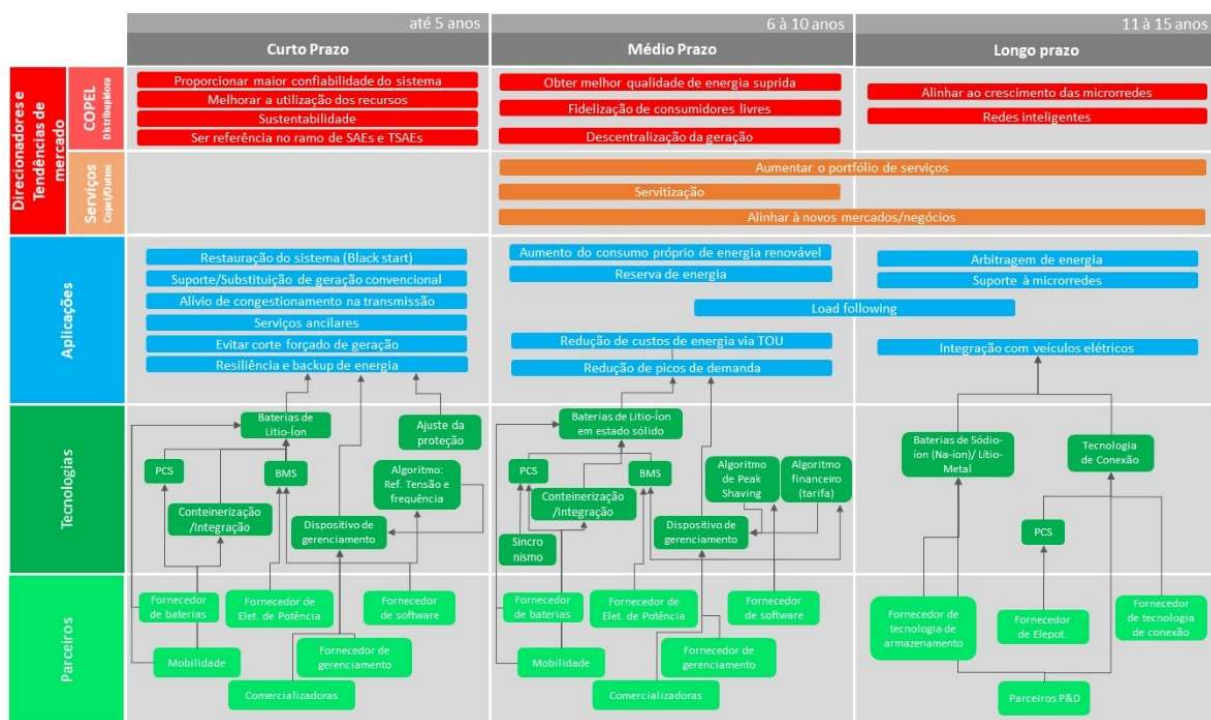


FIGURA 2 - Visão geral do *Roadmap* do sistema de armazenamento de energia transportável.

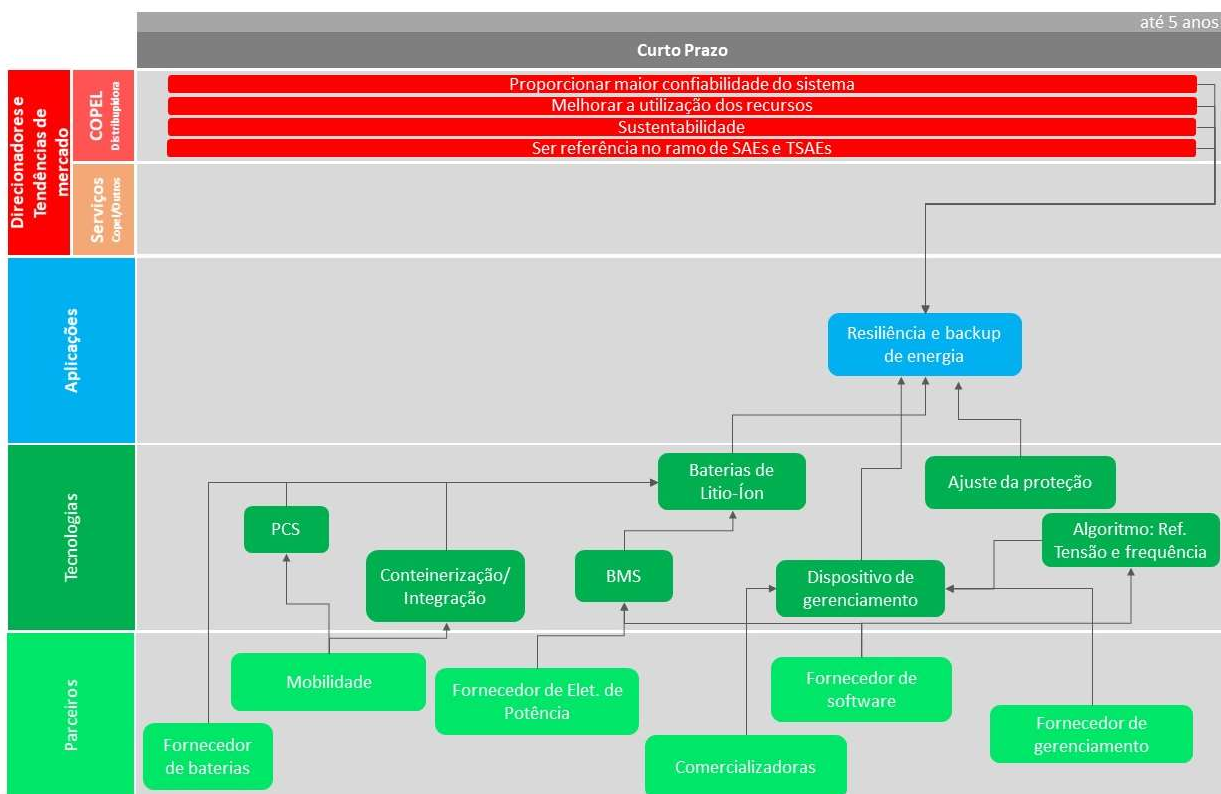


FIGURA 3 - Detalhamento da aplicação de resiliência e backup de energia.

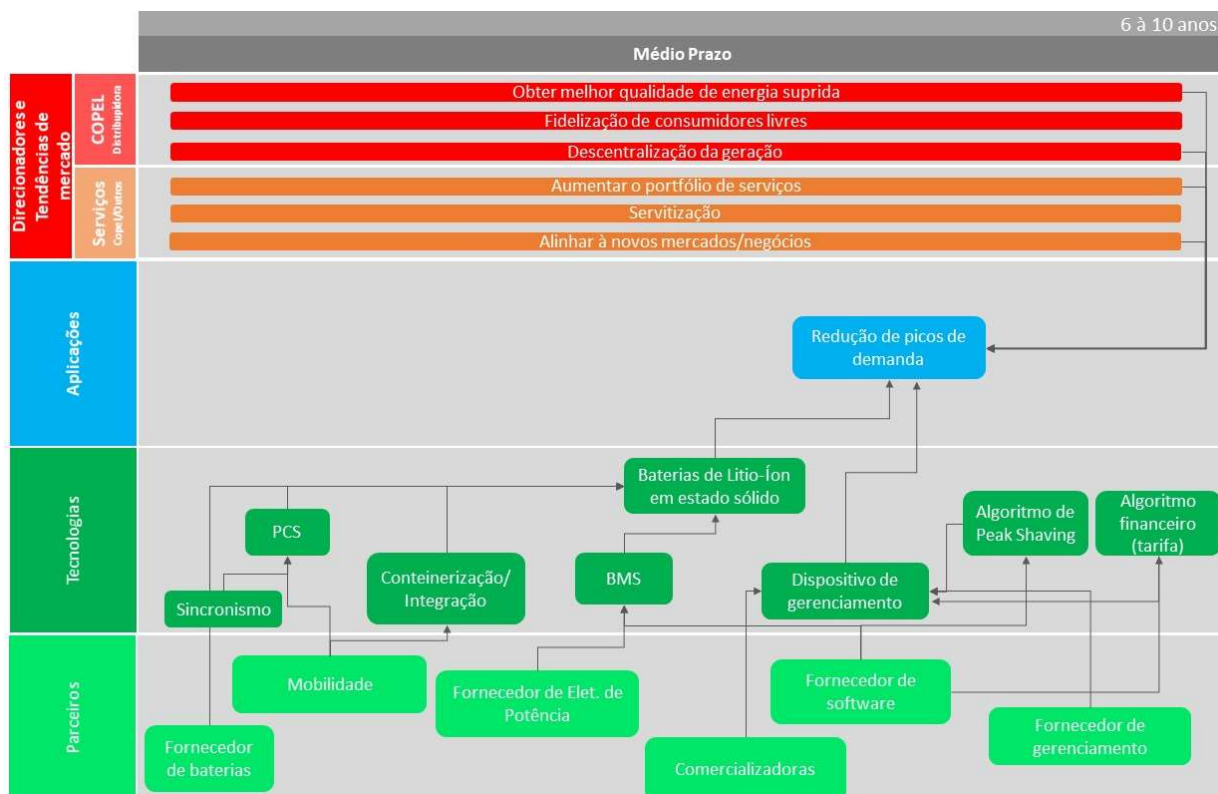


FIGURA 4 - Detalhamento da aplicação de redução de picos de demanda.

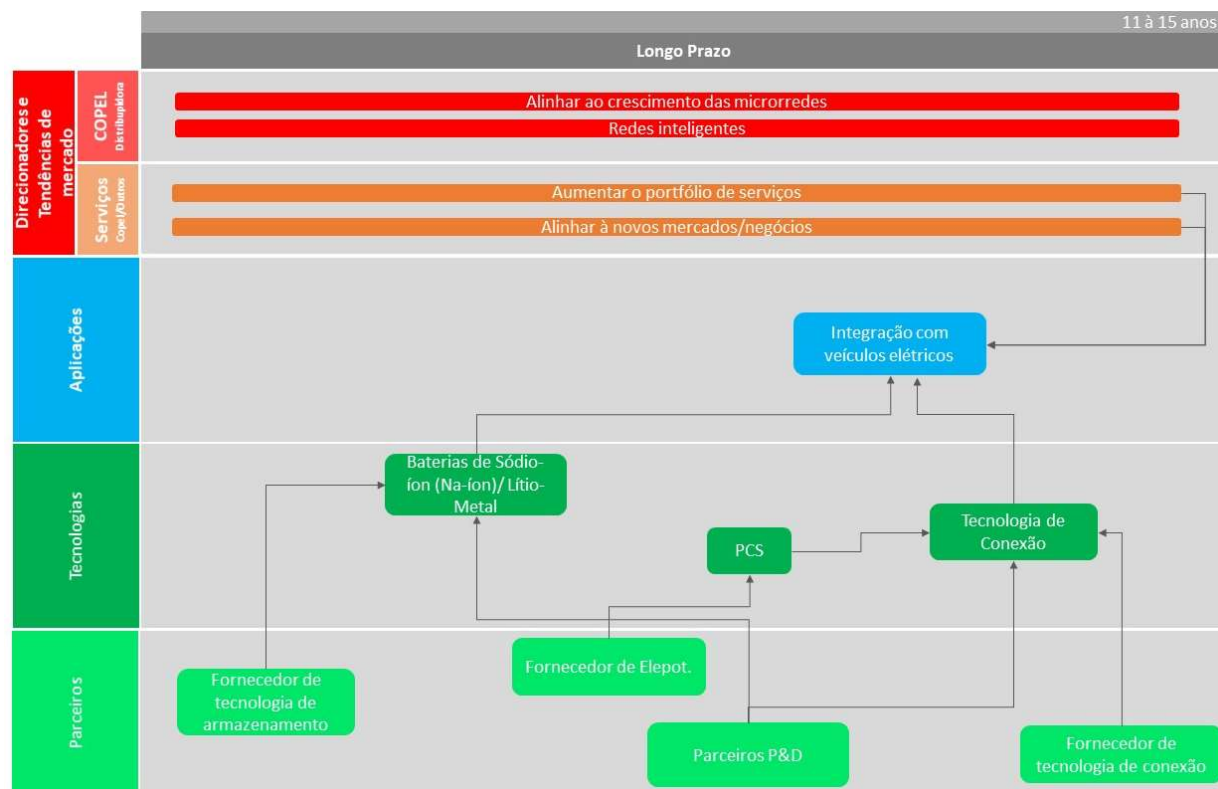


FIGURA 5 - Detalhamento da aplicação de integração com veículos elétricos.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Strategic roadmapping: A workshop-based approach for identifying and exploring strategic issues and opportunities. *EMJ - Engineering Management Journal*, v. 19, n. 1, 2007.
- (2) OLIVEIRA, M. G. *et al. Roadmapping - Uma abordagem estratégica para o gerenciamento da inovação em produtos, serviços e tecnologias*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2012.
- (3) LEE, T. Y. Operating schedule of battery energy storage system in a time-of-use rate industrial user with wind turbine generators: A multipass iteration particle swarm optimization approach. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, v. 22, n. 3, p. 774–782, set. 2007.
- (4) LI, X. *et al.* A Coordinated Peak Shaving Strategy Using Neural Network for Discretely Adjustable Energy-Intensive Load and Battery Energy Storage. *IEEE Access*, v. 8, p. 5331–5338, 2020.
- (5) MOHAN, G. N. V.; BHENDE, C. N.; SRIVASTAVA, A. K. Intelligent Control of Battery Storage for Resiliency Enhancement of Distribution System. *IEEE Systems Journal*, p. 1–11, 15 jun. 2021.
- (6) LI, J. *et al.* Stratified optimization strategy used for restoration with photovoltaic-battery energy storage systems as black-start resources. *IEEE Access*, v. 7, p. 127339–127352, 2019.
- (7) YUAN, Z. *et al.* Real-time Control of Battery Energy Storage Systems to Provide Ancillary Services Considering Voltage-Dependent Capability of DC-AC Converters. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2021.
- (8) PADMANABHAN, N.; BHATTACHARYA, K.; AHMED, M. Battery Energy Storage Systems in Energy and Reserve Markets. p. 1–1, 17 dez. 2020.
- (9) SOUZA, J. V. *et al.* Intelligent management of battery system for energy arbitrage. *2019 IEEE Milan PowerTech, PowerTech 2019*, 1 jun. 2019.
- (10) RICHARD, L.; PETIT, M. Fast Charging Station with Battery Storage System for EV: Optimal Integration into the Grid. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, v. 2018- August, 21 dez. 2018.
- (11) EASE/EERA. *European energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030*. 2013. [S.l.: s.n.], 2012.

DADOS BIOGRÁFICOS



Eduardo Nobuhiro Asada é Professor Associado no Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1997), Mestrado (2000) e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2004). Atua na área de Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição de Energia Elétrica, nos seguintes temas: planejamento da expansão de sistemas de transmissão, modelagem em tempo-real de sistemas de potência e análise de sistemas de distribuição de energia elétrica. Atuou em diversos projetos de P&D junto à ANEEL como pesquisador e coordenador.

(2) JOSÉ CARLOS DE MELO VIEIRA JÚNIOR
José Carlos de Melo Vieira Júnior possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1997), e os títulos de Mestre (1999) e Doutor (2006) em Engenharia Elétrica pela UNICAMP. Entre 1999 e 2003 trabalhou na empresa FIGENER S.A. (São Paulo, SP). Desde outubro de 2016 é professor Associado no Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da EESC/USP. Em 2011 foi Professor Visitante na University of Alberta (Canadá). É bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq, nível 1D. Seus principais interesses são proteção e análise de sistemas de distribuição de energia elétrica.

(3) JONAS VILLELA DE SOUZA
Atualmente é Engenheiro Eletricista no Centro de Automação e Simulação de Sistemas Elétricos na Fundação Parque Tecnológico Itaipu - Brasil. Além disso é aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP). Possui mestrado em Engenharia Elétrica pela EESC/USP e é bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Tocantins. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, abordando principalmente a implementação e utilização de sistemas de armazenamento conectados à rede de Distribuição de

Energia Elétrica e inteligência computacional.

(4) VITOR TORQUATO ARIOLI
Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Ilha Solteira, SP (2007) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Unicamp. É engenheiro do CPqD, onde atua como pesquisador e coordenador técnico de projetos de P&D nos temas de armazenamento de energia, mobilidade elétrica, Smart Grid, microgeração com energia renovável, sistemas fotovoltaicos isolados (off-grid) e eficiência energética. Atuação em projetos de armazenamento de energia estudando novas tecnologias, segunda vida de bateria de veículo elétrico, algoritmos de degradação e célula a combustível. Tem experiência em infraestruturas de energia e laboratório de ensaios e certificação de baterias e conversores de energia.

(5) MAURICIO BICZKOWSKI
Mestrando em Informática - PUCPR
Especialização em Eficiência Energética - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2013)
Graduação em Engenharia Industrial Elétrica - Eletrotécnica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2007)
Atualmente atua como Engenheiro de Manutenção, Automação, Proteção e Controle na Copel Distribuição.

(6) RONALDO ANTONIO RONCOLATTO
Graduado em Engenharia Elétrica pela Unicamp (1981) Com pós-graduação em Administração de Empresas pela EAESP/FGV, MBA em Gerência de Projetos e Especialização em Planejamento Energético. Ingressou na CPFL em 1982 e fez carreira na área de Engenharia de Distribuição, onde exerceu o cargo de Gerente de Engenharia de Manutenção e Normas e Padrões. Atualmente é Pesquisador Sênior na Área de Sistemas de Energia do CPqD e consultor nas áreas de distribuição de energia elétrica, geração fotovoltaica, armazenamento de energia e integração de projetos.

(7) PEDRO HENRIQUE AQUINO BARRA
Pedro Henrique Aquino Barra é graduado em Engenharia Elétrica (2015) e mestre em Engenharia Elétrica (2017), sendo ambos os títulos obtidos pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente desenvolve o seu doutorado na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

(8) ANTÔNIO EDUARDO CEOLIN MOMESSO
Antonio Eduardo Ceolin Momesso, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso (2015) e mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2017). Atualmente é aluno de doutorado e pesquisador na Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, junto ao Laboratório de Análise de Sistemas de Energia Elétrica.

(9) MARINA SILVA CAMILLO DE CARVALHO
Possui graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso (2015) com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência (SEP), Mestrado em engenharia elétrica pela Universidade de São Paulo (2017) e Especialização em engenharia de segurança do trabalho pela Escola de Extensão da Unicamp (2018). Atualmente é doutoranda em engenharia elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo. Tem experiência nos seguintes temas: Qualidade de Energia Elétrica, Eficiência Elétrica e Energética, Controle de Conversores de Potência, Geração Distribuída, Detecção de Ilhamento, Fontes Alternativas de Energia e Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica.

(10) THALES AUGUSTO FAGUNDES
Graduado em Engenharia Elétrica - ênfase em Sistemas de Energia e Automação pela Escola De Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo. Possui certificado de inglês acadêmico realizado no instituto de línguas da University of New South Wales (UNSW), na Austrália, durante o segundo semestre de 2013. Realizou, durante o ano de 2014, graduação sanduíche pela UNSW na área de Engenharia Elétrica e Energias Renováveis, pelo programa Ciências Sem Fronteiras. Possui mestrado pela Universidade de São e atualmente, está no programa de Doutorado na área de Engenharia Elétrica.

(11) FELIPE MARKSON DOS SANTOS MONTEIRO
É Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Amazonas (2016), Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia pela Universidade de São Paulo (2019). Atualmente trabalha em sua tese de Doutorado em Engenharia Elétrica e é aluno de MBA em Gestão de Projetos, ambos pela Universidade de São Paulo (2022).

(12) MÁRIO OLESKOVICZ
Mário Oleskovicz possui graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, em 1995, obtendo os títulos de mestre e de doutor em engenharia elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil, em 1997 e 2001, respectivamente. Atualmente é Professor Associado, Referência MS-5.1, da Universidade de São Paulo, em regime de Dedicação Integral à Docência e à Pesquisa (RDIDP). Tem

atuado na área de engenharia elétrica, em sistemas elétricos de potência (geração, transmissão, distribuição e microrredes), com ênfase nas subáreas de qualidade da energia elétrica e proteção digital.