



### **Grupo de Estudo de Sistemas de Distribuição-GDI**

#### **Desenvolvimento de ferramenta mecanizada acoplada a um veículo leve urbano, para poda em rede elétrica energizada**

**RAFAEL GOMES BENTO(1); FELIPE DUARTE CHERFAN(2); ANTONIO JOSÉ NAGLE(2); JOSÉ HENRIQUE NAVAS(3); GUILHERME DONATO PAGLIARINI(4); CPFL Energia(1); Instituto i2(2); Tecar(3); CPFL Energia(4);**

#### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a apresentação de um equipamento de poda de árvores próximas à rede elétrica. Composto de segmentos mecânicos articulados e telescópicos com ferramentas de corte em sua extremidade, o equipamento constitui implemento para instalação em veículo de carga, e toda a sua operação é feita via controle remoto, atribuindo maior segurança, ergonomia, eficiência e redução de custo da operação de poda. O trabalho está inserido no Programa de P&D do Setor Elétrico (ANEEL), tendo como participantes as empresas CPFL, o Instituto de Inovação, Tecnologia e Pesquisa Aplicada - i2 e a Tecar Tecnologias em Cargas Eireli.

#### PALAVRAS-CHAVE

Poda, redes de distribuição de energia, árvores, mecanização, segurança

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

A arborização urbana, principalmente nos grandes centros do país, tem sido a causa maior dos desligamentos de energia elétrica, impactando de forma desfavorável o índice FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) das distribuidoras, pois responde por 15%, aproximadamente, das ocorrências. Nos períodos de chuvas e ventos fortes a arborização urbana ultrapassa 70% das causas de interrupção [1, 2]. Como os benefícios da arborização urbana, principalmente em países tropicais, superam quaisquer inconvenientes que possam causar, sua manutenção deve ser tratada como um processo perene e meritório de esforços que o tornem cada vez mais eficiente. No Brasil, pesquisas nesse sentido tem contado com o incentivo da Aneel, que tem apoiado diferentes projetos [3, 4].

Embora a manutenção no sentido mais amplo requeira uma série de ações de diversos órgãos públicos que assegurem ao ambiente urbano uma arborização útil e segura [5], a prática na prevenção dos acidentes que decorrem da interação da arborização com as redes aéreas tem sido a poda periódica dos galhos próximos às linhas.

Em muitas regiões do país, a poda ainda é realizada com auxílio de escadas, cordas e ferramentas passivas, como serrotes e machados, além de um grande número de pessoas. A evolução no processo ocorreu, mais recentemente, com o uso de cestos aéreos e motosserras, trazendo com isto maior produtividade à tarefa.

O estado atual da tecnologia, no entanto, permite o uso de recursos que tornam o processo de poda ainda mais eficiente e sem qualquer exposição de riscos à integridade física dos agentes envolvidos.

Esta é a premissa na qual se baseia o projeto de P&D intitulado "Desenvolvimento de ferramenta para poda mecanizada noturna com a rede elétrica energizada, acoplada a um veículo leve urbano, com fonte de energia híbrida e segurança intrínseca de operação". O projeto teve como meta o desenvolvimento de um equipamento inovador que efetua a poda urbana com maior rapidez, sob o comando de um único operador que efetua manobras remotamente em solo e com absoluta segurança. A Figura 1 ilustra o equipamento desenvolvido.



FIGURA 1 – Equipamento de Poda Mecanizada para uso em veículo urbano de carga

## 2.0 - DESCRIÇÃO TÉCNICA

O equipamento é formado por um braço mecânico multiarticulado atuado por um conjunto servo-hidráulico, que permite movimentações com precisão sem sacrificar a agilidade de movimentação do sistema. Todo o conjunto foi idealizado para uso em veículo urbano de carga, com peso e tamanho que não prejudicassem a mobilidade e capacidade de acesso do veículo.

O braço de poda é equipado com um cabeçote de suporte às ferramentas de corte, localizado na extremidade do equipamento. O cabeçote é formado por tomadas hidráulicas de engate rápido e possui um sistema de encaixe que possibilita a troca de acessórios de poda sem a necessidade de nenhuma ferramenta externa, possibilitando a utilização de até dois acessórios de poda por vez, o que torna possível o corte do galho ao mesmo tempo em que o mesmo é segurado por uma garra. Isso possibilita a poda em situações onde o galho não pode cair no solo ou está sobre os condutores da rede. A Figura 2 ilustra algumas das possíveis ferramentas utilizadas.

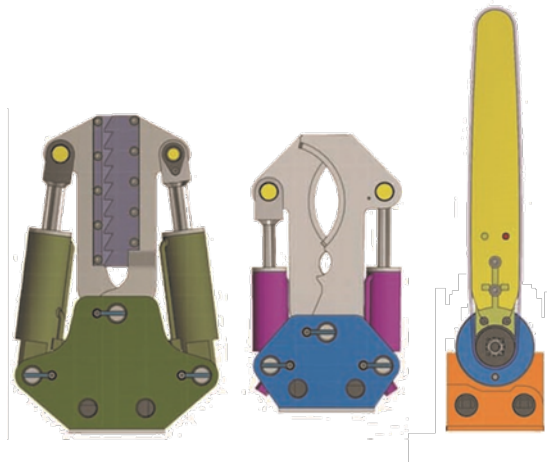


FIGURA 2 – Ferramentas de corte e garra para uso na atividade de poda, sendo (da esquerda para a direita): Alicete hidráulico, garra, motosserra tipo sabre

O equipamento possui duas lanças telescópicas, que permitem ao equipamento atingir 14m de altura e 11m de alcance no sentido horizontal. Essas dimensões, aliado à grande variedade de movimentos (extensão/recolhimento e giro dos segmentos) permite uma grande flexibilidade de uso do equipamento. A arte da Figura 3 mostra a possibilidade de movimentações disponíveis.

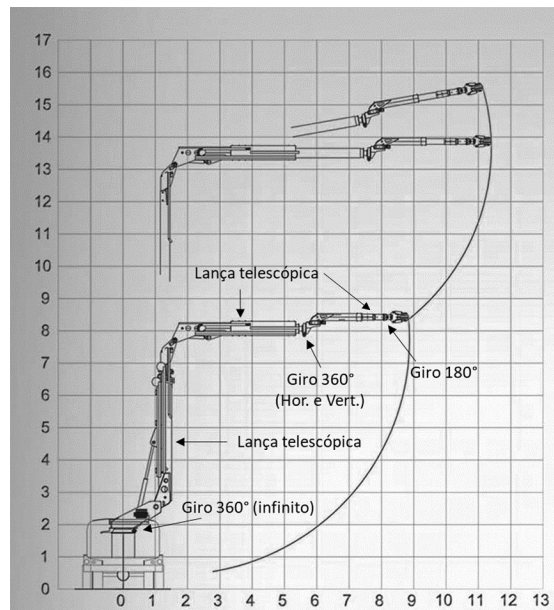


FIGURA 3 – Possibilidades de movimentação do equipamento de poda

O equipamento conta também com um conjunto de câmeras para utilização diurna e noturna. O conjunto de câmeras possui iluminação auxiliada por infravermelho para uso em condições de baixa luminosidade. Essas câmeras possibilitam a melhor visualização dos galhos e obstáculos durante a poda e são uma importante ferramenta para a funcionalidade noturna do equipamento. Devido à propriedade isolante do braço, requerida para atividades próximas às redes de energia, os dados oriundos das câmeras são enviados via rádio para a recepção em um dispositivo localizado no interior da interface de controle utilizada pelo operador.

A operação do equipamento é realizada através de uma interface móvel de controle sem fio (Figura 4), equipada com uma tela sensível ao toque, alavancas, *knobs* e botões de comando, além de rádios receptores para a coleta dos dados de vídeo das câmeras e operações de comando. O controle opera à bateria, com autonomia de 10 horas de uso com opção de recarga rápida de uma hora.



FIGURA 4 – Rádio para controle do equipamento

O operador suporta o rádio através de um cinto que distribui o peso do equipamento através de seu tronco, atribuindo ainda mais conforto à operação. Outro ponto de importante relevância é a existência de um sistema de prevenção de movimentos involuntários. Em caso de acidente com o operador ou mal súbito, esse sistema detecta se o rádio está tombado ou se sofreu queda e coloca o equipamento em um estado de emergência.

O equipamento possui também um conjunto de sistemas de equilíbrio visando a atenuação de vibrações da estrutura mecânica e aumento da estabilidade do conjunto. O controle é realizado através de duas estratégias distintas: (i) uso de um contrapeso controlado, para mitigar a movimentação do centro de gravidade do

equipamento, que se modifica durante a movimentação do braço mecânico e; (ii) atenuar a amplitude de movimentação pendular do braço mecânico durante a transferência da massa de um galho para o equipamento (momento do corte), diminuindo o risco de toque do braço com a rede elétrica energizada durante a operação de poda.

Um importante item de inovação do equipamento é a existência de um sensor de campo elétrico que vetoriza o gradiente de campo e indica a direção e sentido dos condutores elétricos para o operador, através da tela do rádio controle. Tal funcionalidade atribui ainda mais segurança para o equipamento e para a linha de distribuição, e agrega mais um dispositivo de prevenção do toque entre o braço e a rede energizada.

Alguns subsistemas instalados entre segmentos eletricamente isolados do braço necessitam de um meio isolante de tráfego de dados. Visando atender este requisito, e dada a inexistência de itens de mercado que atendessem especificamente essa necessidade, foi desenvolvido um *hardware* dedicado para utilização no equipamento, compondo uma rede de comunicação com fibra ótica. A Figura 5 ilustra a disposição de todos os sensores instalados ao longo da estrutura do equipamento.

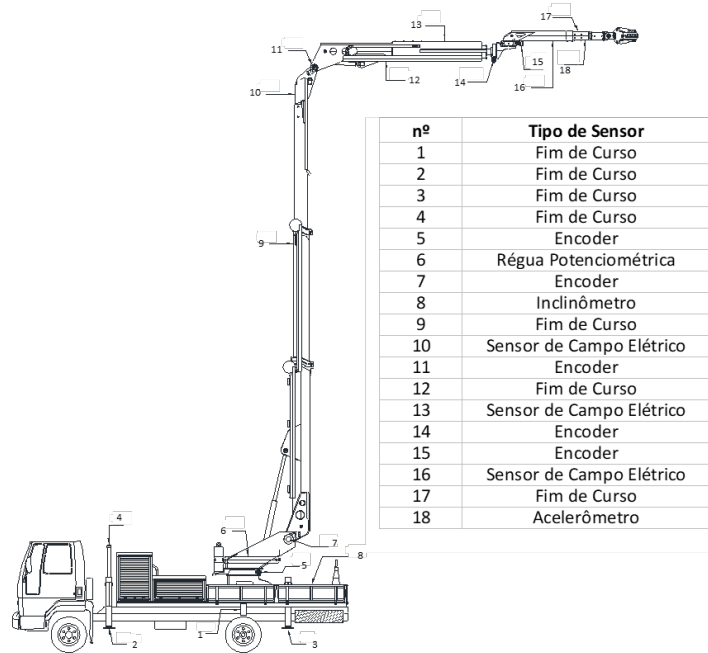


FIGURA 5 – Ilustração dos sensores instalados no equipamento

Outro desafio para que a rede de sensores ao longo do braço (Figura 5) fosse uma solução viável, foi a necessidade de energização dos módulos de rede e sensores, os quais estão instalados entre segmentos isolados eletricamente. Essa característica impossibilita a recarga de baterias através de cabos condutores fixos. Foi então desenvolvido um contato flexível que permite a recarga de baterias instaladas ao longo dos segmentos isolados do braço quando o mesmo é recolhido ao berço (posição inicial), garantindo assim a isolamento elétrica entre os segmentos durante a operação do braço (vide conector na Figura 6).

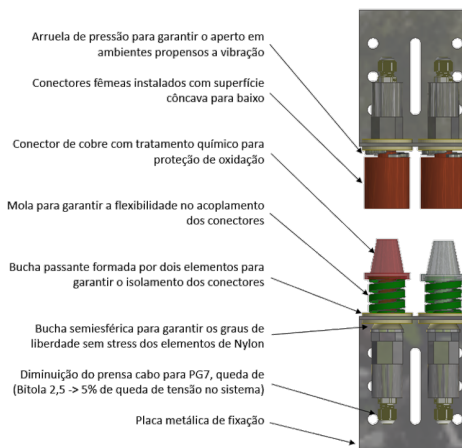


FIGURA 6 – Conector desenvolvido para recarga das baterias de cada segmento isolado do equipamento.

Outra funcionalidade do equipamento desenvolvido é a possibilidade de uso de uma bomba hidráulica movida por um motor elétrico, em redundância ao motor à combustão. Esse sistema híbrido permite a operação do equipamento perto de hospitais ou durante a noite, já que nessas situações existe restrições à emissão de ruídos.

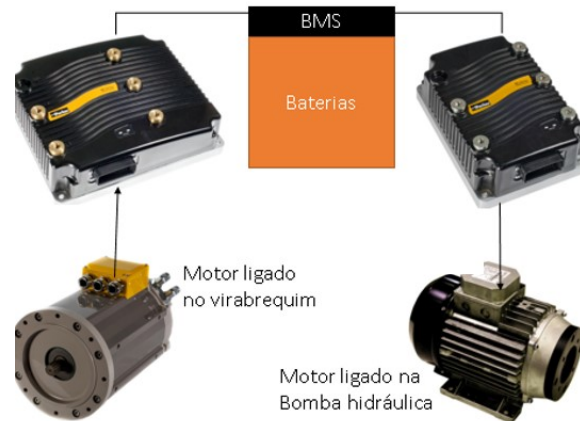


FIGURA 7 – Esquemático simplificado do funcionamento do sistema híbrido.

O equipamento conta ainda com um sistema de interface com o operador que informa o *status* do equipamento a todo momento. Essa interface auxilia o operador na operação de poda, informando quais são as funcionalidades possíveis em cada modo de operação, emitindo *pop-ups* de alertas e erros e informando procedimentos a serem tomados ao longo da operação. O próprio manual do equipamento pode ser encontrado para consulta na interface de operação.



FIGURA 8 – Exemplo de *pop-up* e alertas na tela para auxílio durante a operação.

A manutenção do equipamento é facilitada por um sistema de supervisão que informa em tempo real e de maneira gráfica o *status* de cada subsistema do equipamento, códigos de erro e dados provenientes de cada conjunto de sensores.

## Sistema de diagnóstico de falhas e Status do equipamento

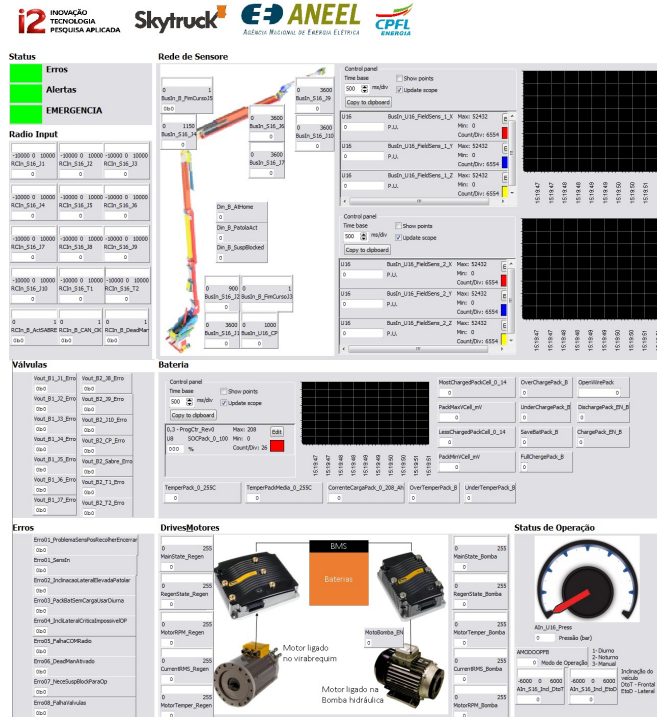


FIGURA 9 – Visão geral do sistema de supervisão do equipamento.

Alguns desses dados são enviados para a internet via tecnologia celular GSM, junto com informações de geolocalização, ficando disponíveis *online* e podendo ser visualizados em um ambiente *WEB* para auxílio ao gerenciamento da operação.

## 3.0 - METODOLOGIA

Após o desenvolvimento e construção do equipamento, o mesmo passou por uma fase de testes controlados realizados pelo Instituto i2 e Tecar em Atibaia-SP. Os testes realizados constituem o teste isolado de cada movimentação, testes das funcionalidades desenvolvidas e da operação de poda em ambiente distante da linha viva de distribuição de energia.

Com o equipamento já em condições de uso e operação segura, deu-se início ao processo de capacitação e treinamento das equipes responsáveis pela operação de poda mecanizada. Os treinamentos foram realizados utilizando o equipamento desenvolvido ainda em ambiente controlado.

Algumas equipes de poda em linha viva da CPFL passaram por treinamento teórico e prático com duração total de aproximadamente 14 horas. O treinamento foi realizado pelo Instituto i2 e Tecar, em Atibaia-SP. Nesse treinamento foram apresentadas as funcionalidades do equipamento, conceitos técnicos básicos e procedimentos de operação e segurança que são peculiares a esse equipamento.

Em seguida, o equipamento foi levado para a cidade de Indaiatuba-SP, onde as equipes puderam realizar a poda em campo, sendo possível a observação da operação com foco em futuras melhorias e aquisição de dados para realização de comparativos de produtividade com a poda manual convencional.



FIGURA 10 – Adesivos adicionados para facilitar a memorização e visualização de cada junta de movimentação

Os comparativos foram realizados com base em registros fotográficos e dados de temporização obtidos na observação sistemática da poda manual e da poda realizada com o equipamento desenvolvido.

#### 4.0 - RESULTADOS

Os dados apresentados a seguir são oriundos da observação de podas de árvores realizadas pelas equipes da Estação Avançada (EA) de Indaiatuba-SP, durante o período de testes do novo equipamento, comparados com resultados de acompanhamento das equipes durante a operação rotineira de poda.

A condição de poda para fins comparativos será dividida nesse artigo em três níveis de dificuldade, sendo elas de nível fácil, médio e difícil, de acordo com a posição do galho na árvore.

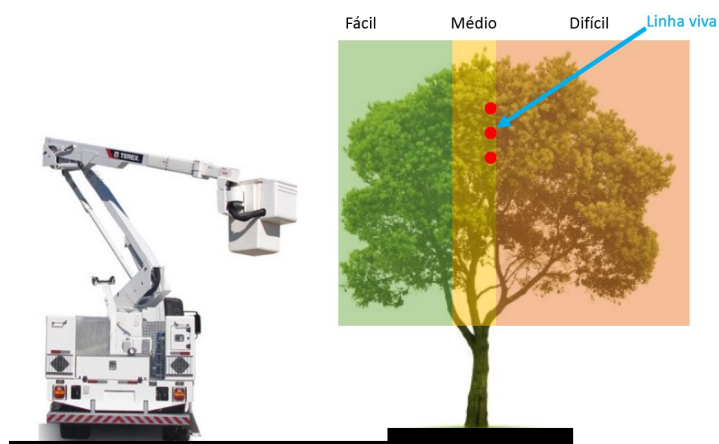


FIGURA 11 – Ilustração dos níveis de dificuldade da poda.

Dadas as operações de poda em que foi utilizado o equipamento mecanizado, pode-se concluir que não houveram situações de nível "Fácil" de dificuldade, já que a todo momento, a vegetação encontrava-se próxima à linha, encobrendo-a completamente.



FIGURA 12 – Cenário utilizado para aquisição de dados Esquerda: Poda (Supressão) manual  
Direita: Poda Mecanizada

As operações de poda com o equipamento em teste foram realizadas seguindo os mesmos procedimentos de segurança adotados na poda manual com cesto aéreo, com o intuito de se aproximar cada vez mais de uma base de comparação semelhante.

Tabela 1 – COMPARATIVO DE TEMPOS ENTRE PODA MECANIZADA E PODA MANUAL

Parâmetro	Equipamento Poda Manual	Equipamento Poda Mecanizada
Tempo médio para corte de galho com dificuldade “Média”	35 segundos	---
Tempo médio para corte de galho com dificuldade “Difícil”	58 segundos	65 segundos
Tempo médio de preparo do equipamento antes da poda	~10 mins	~ 9 mins
Tempo médio para corte do primeiro galho	~2 mins	3,3 mins
Tempo experiência da equipe com a ferramenta	1 a 7 anos	<3 meses
Tempo de treinamento para início do uso da ferramenta	~40 horas	~14 horas

O equipamento de poda mecanizada foi utilizado por diferentes operadores durante os testes em que foram obtidos esses dados. A tendência de melhoria do desempenho a cada galho foi observada independente dos níveis de dificuldade encontrados para a poda de diferentes galhos, evidenciando o aumento real da habilidade do operador durante sua experiência.



FIGURA 13 – Poda mecanizada realizada próxima à linha desenergizada

## 5.0 - CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, dado o curto período de treinamento e experiência de operação com o equipamento desenvolvido, os resultados de produtividade se mostraram promissores.

O aumento na produtividade ocorre conjuntamente com a curva de aprendizado dos operadores, mostrando que a ferramenta ainda está distante do seu ponto máximo de produtividade. Mesmo assim, em algumas situações a poda mecanizada tem apresentado produtividade similar ou maior à encontrada na já consolidada poda manual, com a qual os operadores já tem vasta experiência.

Ressalta-se ainda a necessidade de adaptação do processo de poda, e das próprias ferramentas de poda, para extrair ainda maior eficiência dessa nova tecnologia desenvolvida.

Outro ponto importante a salientar é a necessidade de aprimoramento dos métodos de treinamento utilizando a nova ferramenta desenvolvida, que resultaria em maior velocidade no processo de aprendizado dos operadores.

O equipamento desenvolvido ainda segue em fase de testes e aprimoramento, mas é evidente que a tecnologia desenvolvida apresenta potencial e agrega maior segurança e ergonomia para a atividade e para o operador que realiza essa tarefa diariamente, com grande potencial de redução de custos com o aumento de produtividade.

Os autores agradecem ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico, regulado pela ANEEL, pelo fomento aos recursos utilizados para o desenvolvimento deste projeto.



## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) D. Biondi, "Diagnóstico da arborização de ruas da cidade do Recife." Diss., M.Sc., UFPR, Curitiba, 167, p. 1985
- (2) S.R. Carmelo e R.A.Seitz, "Diagnóstico das interferências de árvores na rede de distribuição aérea de energia elétrica", CITENEL 2007.
- (3) L. C. SIEBERT, et all, Teleoperação de um Sistema Robotizado para Poda de Árvores na Proximidade de Redes Energizadas. Anais do XII SBAI 2015, Natal, RN, 25-28 outubro 2015, pp. 1-6.
- (4) R. A. Roncolato, et all, Robótica Aplicada às Melhorias das Tarefas de Eletricistas. Anais do VI CITENEL, Fortaleza, CE, 2011, 8p.
- (5) N.A. Klechovicz, "Diagnóstico dos acidentes com árvores na cidade de Curitiba - PR." Diss., M.Sc., UFPR, Curitiba, 84 p. 2001.
- (6) F. M. Ferreira, F. R. da Silva, Modelagem de Sistemas Mecânicos Utilizando Procedimentos Modulares, 2006. 151 p, Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Secretaria de Ciência e Tecnologia, Exército Brasileiro - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.
- (7) PARKE (Brasil), Cilindro Hidráulico Série 3L: Catálogo 2102-1 BR, Technical Information, Cachoeirinhas/RS - Brasil, v. 1, n. 1, p. 36, 03/2003.
- (8) DANFOSS (USA), Electrohydraulic Actuators: PVE, Series 4 and PVHC, Technical Information, Ames, USA, v. 1, n. 1, p. 52, 11/2015.
- (9) P.I. Corke, "Robotics, Vision & Control", Springer 2011, ISBN 978-3-642-201431.
- (10) STMICROELECTRONICS GROUP OF COMPANIES. Mems motion sensor: 3-axis -  $\pm 2g/\pm 8g$  smart digital output "piccolo" accelerometer, 4. Ed, USA, Stmicroelectronics Group Of Companies, 2008. 42 p.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rafael Gomes Bento - Analista de Projetos de Inovação na CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz. Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações pelo Centro Universitário Salesiano de São Paulo (2015) e formação técnica em eletroeletrônica pelo Colégio Técnico de Campinas (2008). Atua na prospecção, formatação e gerenciamento de projetos de inovação tecnológica no âmbito do Programa de P&D do Setor de Energia Elétrica, regulado pela ANEEL.



Felipe Duarte Cherfan - Mestrando em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Engenheiro mecatrônico pela Universidade Federal do ABC (UFABC), colou grau em Novembro de 2014. Bacharel em ciência e tecnologia pela Universidade Federal do ABC (UFABC), colou grau em Outubro de 2013.



Antonio José Nagle - Engenheiro pela Escola Politécnica da USP, MBA em Finanças pelo IBMEC/SP, Doutorado em economia pela École des Mines de Paris/França, e formação para conselheiro pelo IBGC-Instituto Brasileiro de Governança Corporativa. Mais de 20 anos de experiência como executivo na área financeira e de negócios desenvolvida em empresas nacionais e estrangeiras dos setores de engenharia, tecnologia, mineração, celulose e papel e florestal.



José Henrique Navas - graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Paulista (2007). Sólida experiência no desenvolvimento de implementos rodoviários, equipamentos hidráulicos em geral, guindastes, cestos aéreos para manutenção de redes elétricas, equipamentos para auto socorro e encarroçamento.



Guilherme Donato Pagliarini - Consultor Ambiental Sênior na CPFL Energia. Suporte em todos os processos que tenham interface direta e indireta com o meio ambiente, norteando as ações da empresa para que estes processos tenham excelência em sustentabilidade ambiental. Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Economia e Meio Ambiente (UNIARA, 2013), Graduação em Engenharia Ambiental (Faculdades COC, 2008), Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho (Anhanguera, 2015).