



**XXIII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GET/03  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO - XIV**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET**

**DESAFIOS PARA INSERÇÃO NO MERCADO DE PRODUTO RESULTANTE DE PROJETO DE P&D**

**Claudio A. Hortencio(\*)**  
CPqD  
**Gustavo H. S. Ribas**  
CPqD

**Carlos A. M. do Nascimento**  
CEMIG  
**João G. D de Aguiar**  
CPqD

**Eduardo F. da Costa**  
CPqD  
**Danilo C. Dini**  
CPqD

**Rodrigo Peres**  
CPqD

**RESUMO**

Este trabalho técnico apresenta o desafio para a inserção no mercado do produto resultante da cadeia de desenvolvimento do Projeto de P&D "Sistema Óptico de Monitoramento de Linhas de Transmissão – SOMLT". O SOMLT é um sistema de monitoramento óptico passivo que possibilita a monitoração, em tempo real, da altura do cabo condutor ao solo, nos vãos críticos, permitindo a utilização plena da capacidade de carregamento elétrico da linha dentro dos limites de segurança. São apresentados e discutidos os principais desafios e oportunidades para a inserção no mercado do sistema óptico de monitoramento de linhas de transmissão.

**PALAVRAS-CHAVE**

Monitoramento óptico, Linha de Transmissão, Inserção no Mercado, Pesquisa de Mercado

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Atualmente existem vários tipos de sistemas importados de monitoramento de linhas de transmissão desenvolvidos sob diversas tecnologias no mercado mundial. Dois fatores fundamentais para a expansão dessa tecnologia no Brasil são limitados por: (i) elevado custo de aquisição da tecnologia importada e, (ii) elevado custo de operação dos meios de comunicação necessários para operação desses sistemas de supervisão em tempo real.

A utilização da plena capacidade dinâmica da linha pode significar um aumento em até 15% da capacidade atual de projeto, significando uma otimização da planta existente com elevados benefícios econômicos para a concessionária, o que pode resultar em redução da tarifa ao consumidor final da energia.

Uma das possíveis formas de se monitorar a altura do condutor ao solo da linha é através da força mecânica atuante sobre o condutor, sendo esse o componente que define a sua altura em relação ao solo (flecha do condutor) e conseqüentemente aferir sua capacidade dinâmica de transmissão de energia elétrica. A medição desta força através de uma célula de carga óptica se torna bastante atraente, uma vez que, a CEMIG possui uma rede de cabos OPGW já implantada, com fibras ópticas reservas disponíveis para a transmissão dos sinais ópticos a longas distâncias.

No projeto P&D CEMIG -110 - "Pesquisa Aplicada em Tecnologias de Sensores Ópticos à Fibra" foi desenvolvido um protótipo inédito de sistema de monitoramento de tensão mecânica em condutores de linhas de transmissão usando tecnologia óptica, composto por célula de carga óptica e um sistema de aquisição de dados, via fibra

(\*) R. Dr. Benetton Martins s/n, Parque II do Polo de Alta Tecnologia – CEP 13.086-902 - Campinas, SP, – Brasil  
Tel: (+55 19) 3705-6650 – Email: claudiah@cpqd.com.br

óptica, incluindo um hardware óptico-eletrônico, analisador de espectro óptico e um software (aplicativo utilizando a ferramenta LabView). Este sistema foi instalado em uma linha de transmissão da CEMIG para a avaliação experimental de seu desempenho, tendo sido comprovada a viabilidade desta técnica de medição.

Para aperfeiçoar e comprovar a robustez necessária desse protótipo utilizando tecnologia óptica e a sua integração com o Sistema de Monitoramento de Linhas (SMLT) da CEMIG foi proposto o projeto de P&D CEMIG D264 - Cabeça-de-série: Desenvolvimento Industrial de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real de Linhas Aéreas. (Protótipo célula de carga óptica). No referido projeto foi montado um sistema óptico de monitoramento de linhas completo, incluindo: o interrogador de sensores FBG (Fiber Bragg Grating), a unidade de aquisição de dados e seis células de carga óptica, visando acompanhar o desempenho do sistema durante um período de tempo mais longo, permitindo que a CEMIG e o CPqD pudessem comprovar a robustez do sistema.

Grandes avanços técnicos foram alcançados no projeto CEMIG D264, entretanto para que a CEMIG e o CPqD pudessem transferir o conhecimento para a industrialização e comercialização do protótipo, foi essencial avançar o ciclo evolutivo para o desenvolvimento do produto através de um projeto do tipo "Lote Pioneiro" que teve os seguintes objetivos:

- (i) - Analisar criticamente a adequação do projeto da célula de carga óptica para fabricação industrial;
- (ii) - Fabricar um lote pioneiro a partir do projeto ajustado para produção em escala piloto industrial para comprovar a reprodutibilidade e repetibilidade para validar os métodos e os processos de fabricação;
- (iii) - Elaborar um guia de instruções e recomendações a serem seguidas durante a fabricação com objetivo de subsidiar a empresa parceira na fabricação das células de carga ópticas;
- (iv) - Validar o desempenho do lote pioneiro em testes laboratoriais para comprovar a qualidade da fabricação;
- (v) - Analisar os custos de produção do lote pioneiro e de acordo com a escala de produção;
- (vi) - Realizar um estudo de mercado com objetivo de responder às questões relacionadas ao mercado atual e potencial do produto a ser lançado, para detectar as oportunidades existentes e a potencialidade de sucesso do empreendimento, ou em outras palavras, a viabilidade mercadológica do mesmo.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO DO SENSOR ÓPTICO

A célula de carga óptica descrita neste trabalho tem um caráter inovador por utilizar sensores ópticos ao invés de ponte de Wheatstone, como as células convencionais. Para tal, os sensores ópticos desenvolvidos com grade de Bragg (Fiber Bragg Grating – FBG) foram fixados mecanicamente utilizando parafusos e soldas, em um transdutor de aço em forma de "U" (3). O transdutor transfere a deformação do condutor resultante das condições de operação à FBG, dentro de uma determinada faixa de operação.

O sensor FBG é muito sensível à temperatura e, por isso, foi necessário utilizar duas FBGs, sendo que a primeira mede a força e a segunda mede a temperatura da estrutura do sensor "U". Com estas informações a temperatura é compensada por meio da aplicação de um modelo matemático. A Figura 1 ilustra a célula de carga desenvolvida no P&D-110, P&D-D264 (cabeça-de-série) e aprimorada no P&D-D531 (Lote pioneiro). O posicionamento da FBG sensor de força no corpo "U" da Figura 1 é selecionado de forma a atender a faixa de operação da mesma. Isto é, dependendo da sua posição no "U" tem-se uma faixa de operação para a força mecânica. (Ex. de 0 até 4 Toneladas).



FIGURA 1 - Protótipo da célula de carga óptica SOMLT.

### 3.0 - PROJETO DO SOMLT

O sistema de monitoramento SOMLT dispõe de uma fonte óptica, responsável por enviar uma luz banda larga pela fibra óptica até o sensor óptico de força. Esta luz interage com a FBG, que reflete o comprimento de onda de sintonia até um circulador óptico responsável por redirecionar este sinal para um interrogador de sensores FBG. O sinal analisado pelo interrogador é enviado a um computador que, por meio de um software desenvolvido em LabView®, calcula e armazena os valores da força mecânica exercida pelo condutor. Tanto a fonte óptica quanto o módulo OSA – Optical Spectrum Analyzer estão embutidos no equipamento interrogador. Este esquema de monitoramento está representado na Figura 2. A interligação óptica do conjunto de 10 sensores foi realizada utilizando apenas um link de fibra óptica no OPGW, uma vez que os sensores são multiplexados em comprimento de onda diferentes. A Figura 3 mostra a instalação do sistema de interrogação óptica com o gerenciamento das informações em tempo real na SE Bonsucesso, 138 kV da Cemig D.

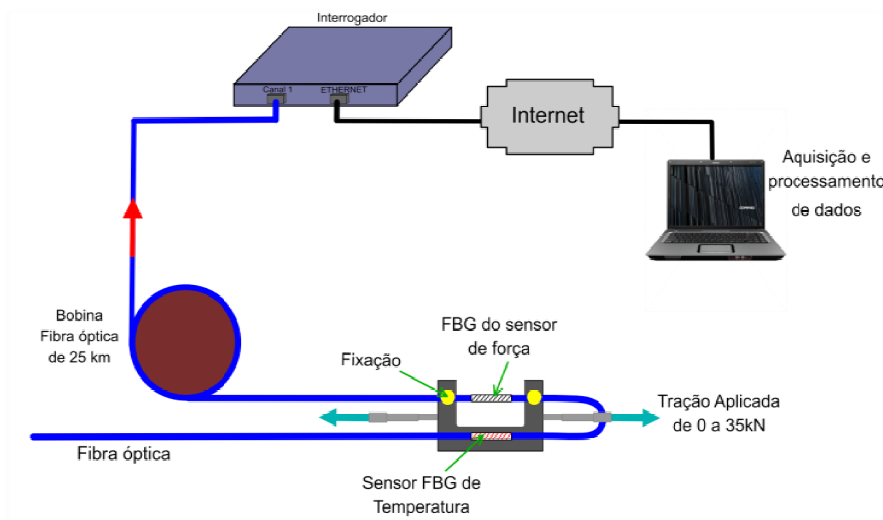


FIGURA 2 - Esquemático do sistema de medição de força do SOMLT.



FIGURA 3 - Sistema de interrogação óptica com o gerenciamento das informações em tempo real.

### 4.0 - TESTES DE CAMPO

As células de força foram instaladas em linhas aéreas na região metropolitana de Belo Horizonte. A Figura 4 mostra uma destas células ópticas instalada em campo.



FIGURA 4 - Detalhe da instalação da célula óptica em estrutura de ancoragem de linha aérea 138kV da Cemig D.

A Figura 6 apresenta resultados das forças exercidas pelos condutores em duas linhas distintas. O comportamento cíclico observado na Figura 6 é decorrente da variação da carga ao longo do dia, de modo que cada ciclo representa um dia. Quando a carga no condutor e/ou a temperatura aumentam, a catenária no cabo aumenta e, conseqüentemente, a força sobre a célula de carga é menor.

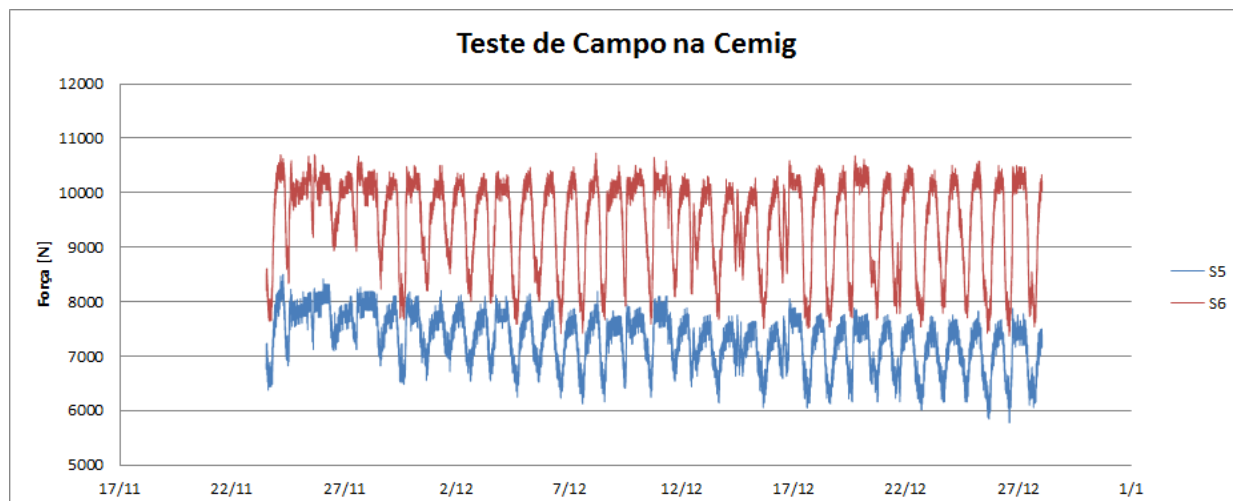


FIGURA 5 - Resultados obtidos em linha em operação real.

Portanto, fica comprovado que a medida de deformação da FBG possibilita inferir a força aplicada à LT e, através de modelos matemáticos, calcular a ampacidade da linha sob monitoramento.

A utilização da plena capacidade dinâmica da linha pode significar um aumento em até 15% da capacidade atual de projeto, significando uma otimização da planta existente com elevados benefícios econômicos para a concessionária, o que pode resultar em redução da tarifa para o consumidor final (1) (2).

## 5.0 - ESTUDO DE MERCADO

Foi realizado um estudo de mercado com objetivo de responder às questões relacionadas ao mercado atual e potencial para o produto a ser lançado. Outro objetivo é detectar as oportunidades existentes e a potencialidade de sucesso do empreendimento, ou em outras palavras, a viabilidade mercadológica do mesmo.

### 5.1 Mercado alvo e demanda

As concessionárias de transmissão de energia elétrica não são remuneradas pela quantidade de energia transmitida e sim por manter a infraestrutura. Outro fator de peso é que as linhas de transmissão normalmente são

superdimensionadas. Desta forma, a capacidade não é tão importante, pois não há lucro no aumento da capacidade. Esse cenário pode mudar caso o governo reveja as regras de concessão.

Desta forma, o mercado alvo para o produto são as concessionárias de distribuição, que operam linhas de alta tensão entre 69kV e 230kV.

No Brasil existem 64 distribuidoras de energia elétrica. Algumas estão sob o controle estatal, outras são de capital fechado e 22 são de capital aberto, com ações negociadas na bolsa de valores. Para este mercado o sistema busca resolver dois problemas:

1. Aumentar a quantidade de energia distribuída por linhas já instaladas;
2. Aumentar a segurança em linhas onde a faixa de servidão foi invadida.

As faixas de segurança de linhas de subtransmissão (LST's) são locais que possuem restrições quanto a sua utilização. Estas restrições se dão por motivos de segurança e para garantir o acesso das equipes de manutenção às torres que sustentam os cabos da LST. A ocupação irregular e invasão das faixas de segurança é um problema que a CEMIG tem enfrentado nos últimos anos cabendo inclusive processos judiciais para demolição de obras edificadas na faixa de segurança. Até o momento não ocorreu nenhum evento de rompimento de cabos nessas faixas irregularmente invadidas. Entretanto, a possibilidade disto ocorrer preocupa fortemente a CEMIG, pois uma queda de cabo condutor de uma LST numa área ocupada por construções de casas pode causar acidentes gravíssimos. O sistema de proteção pode não atuar adequadamente ou ainda em função do religamento automático as consequências poderão ser catastróficas.

Tendo em vista os problemas decorrentes da invasão das faixas de segurança, oriundas da construção de habitações, principalmente nas áreas próximas aos grandes centros urbanos, o monitoramento de rompimento de cabos condutores para LST, torna-se essencial.

No mercado B2B de itens de infraestrutura a demanda do mercado é tipicamente inelástica, onde o consumidor tem perfil altamente técnico e compra de maneira estritamente planejada, de forma a suprir a sua necessidade exata. Essa necessidade é estimada com precisão a partir de projetos de rede, concebidos em função de vendas já realizadas, ou com expectativas de realização bastante objetivas.

## 5.2 Pesquisa de mercado

Foi realizada uma pesquisa de mercado com executivos e gestores de concessionárias de transmissão e distribuição de energia elétrica, que contou com 37 entrevistas envolvendo profissionais de 14 concessionárias. Como resultado desse estudo, foi constatado que a maioria das empresas está disposta a investir no SOMLT e mudar seus processos para reduzir custos, mas:

- A solução precisa mostrar resultados prévios consistentes para que as concessionárias cogitem a sua compra, isto é, é necessário um piloto de longa duração e com dados concretos para servir de "vitrine" para a solução;
- Há um paradigma de monitoramento presencial enraizado nas concessionárias – Se a metodologia atual funciona, para que mudar?
- Concessionárias de transmissão não vêem vantagens enquanto as regras não forem mudadas;
- Normas atuais da ANEEL desestimulam o acréscimo de novas tecnologias em linhas antigas (critérios de reembolso na revisão tarifária não são claros);
- Leilões orientados a preço desestimulam a adoção de tecnologias nas linhas novas;
- A possibilidade de carregar mais as linhas e com isso protelar investimentos não foi um benefício percebido espontaneamente por parte dos entrevistados, muito devidos as normas atuais, que estimulam a construção de novas linhas e não aproveitar o potencial máximo de antigas.

A seguir são apresentadas algumas das declarações realizadas pelos entrevistados:

“Eu sou pago por disponibilidade. Não é interessante, para mim, passar mais carga. Eu não ganho nada com isso. As regras atuais não estimulam um aproveitamento maior das linhas.”

“O modelo regulatório promove o investimento. Postergar o tempo de vida útil de uma instalação que já tem o seu tempo de depreciação avançado não é negócio para a distribuidora, porque você deixa de ser remunerado a partir do momento em que ela está depreciada.”

“A regra incentiva você a refazer ou construir uma nova. Eu sou remunerado pelo ativo. É assim que é composta a tarifa: considerando o investimento que eu fiz nas minhas instalações.”

“Protelar investimentos não é uma coisa que me chama a atenção. Isso só interessa à EPE.”

“Tem que mostrar que os benefícios compensam o gasto que eu vou ter. De preferência, comprovar com um exemplo.”

“O custo adequado desse tipo de solução depende de uma conta que ainda não foi feita. Quanto eu vou economizar em multas? Quanto eu vou ganhar melhorando os índices de DEC e de FEC? Isso vai determinar o quanto eu estou disposto a pagar por essa solução.”

## 6.0 - DESAFIOS PARA A INSERÇÃO NO MERCADO

Resumidamente podemos considerar que são dois os principais desafios para a inserção no mercado de produtos resultantes de projetos de P&D: (i) o modelo da cadeia de desenvolvimento enfoca a visão mercadológica apenas ao final dos projetos e, (ii) a falta de políticas que priorizem os produtos resultantes dos projetos de P&D, quer seja, através de vantagens tributárias ou de um modelo no qual a utilização dos produtos em questão, pelas concessionárias, possam ser classificados como investimentos.

Notadamente podemos considerar que, na maioria dos casos, na cadeia de desenvolvimento dos projetos de P&D ANEEL a visão mercadológica é enfocada ao final do projeto, esta condição pode levar a um atraso muito grande no processo de inserção do produto no mercado ou até mesmo inviabilizar o sucesso do produto.

No caso específico do SOMLT o maior desafio para a sua inserção no mercado é mudar a visão de que um sistema de monitoramento, via de regra, é simplesmente uma ferramenta acessória para a operação que não traz ganho direto na afunção do ativo. No caso específico da implantação do SOMLT a capacidade de carregamento da linha será aumentada (1), ou seja, a capacidade de carregamento da linha é alterada, tal qual como se fosse realizada uma recapacitação.

Segundo Gomes (4), as principais opções para aumento de capacidade de linhas de distribuição de energia elétrica são: (i) Recapacitação através da elevação do limite térmico operativo, (ii) Recondutoramento pela substituição dos condutores, (iii) Elevação da Tensão Operativa da Linha, e (iv) Construção de uma nova linha de distribuição. Ainda segundo Gomes (4), a recapacitação, recondutoramento e elevação da tensão operativa são as opções que concorrem como as mais vantajosas porque proporcionam ganhos de qualidade e modicidade tarifária.

Entretanto consideramos que sistemas de monitoramento de linhas podem ser muito vantajosos tendo em vista que, na maioria das situações, não são necessárias realizações de obras de adequações que demandam alto investimento e prazos de execuções elevados. O maior desafio para a implantação de sistemas de monitoramento em linhas é a dificuldade para classificar como investimento, esta condição desestimula as iniciativas das áreas de engenharia das concessionárias no sentido de considerarem o uso de sistemas de monitoramento como uma das soluções para o aumento de capacidade de linhas de distribuição de energia elétrica. Neste contexto, quando um sistema de monitoramento em tempo real propiciar o aumento da capacidade e confiabilidade operativa de uma linha ou de um ativo deve ser considerado como investimento.

## 7.0 - CONCLUSÃO

Após a execução do estudo de mercado realizado para o SOMLT e analisando o seu contexto sistêmico, podemos destacar os seguintes aspectos que devem ser considerados para potencializar o sucesso de um projeto de P&D ANEEL:

### a. P&D e o mercado:

- P&D não faz engenharia de produto, busca apenas provar que um conceito é válido, sem se preocupar inicialmente em otimizar custos;
- P&D não faz levantamento de requisitos de todo o mercado, foca na concessionária parceira;
- Parceiro industrial só entra no fim. (só entra se tiver mercado, mas como provar que existe mercado se o mercado depende de um piloto e que por sua vez depende do parceiro...).

### b. Inserção no mercado:

- Projetos novos, sem renome, em setor conservador – necessita de um piloto de longa duração;
- Números, números e números, o retorno precisa ser comprovado;
- Regulamento atual da ANEEL não incentiva otimizações e aproveitamento de todo potencial da infraestrutura

- Funcionalidades – integração com SCADAs é obrigatório, empresas não querem “mais um” supervisão.
- Nem todas as linhas de transmissão possuem fibras ópticas, mas isso tende a reduzir com o tempo.
- Foco da modernização das empresas está nas redes de média e baixa tensão.

No caso específico do SOMLT, do ponto de vista mercadológico, a pesquisa de mercado realizada destacou os seguintes pontos:

- A maioria das empresas está disposta a investir e mudar processos para reduzir custos, mas a solução precisa mostrar resultados prévios consistentes para que as empresas cogitem sua compra. Isto é, é necessário um piloto de longa duração e com dados concretos para servir de "vitrine" para a solução;
- Há um paradigma de monitoramento presencial enraizado nas empresas que precisa ser mudado.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) C. A. M. Nascimento, “Aplicação de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real para Aumentar a Capacidade de Transmissão em LTs Aéreas,” – apresentado no XVI SNPTEE, Campinas, Brasil, 2001.
- (2) C. A. M. Nascimento, “Aplicação de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real para Aumentar a Capacidade de Transmissão em LTs Aéreas,” apresentado no XV SENDI, Salvador, Brasil, 2002.
- (3) C. A. M. Nascimento, C. A. Hortêncio, D. C. Dini, F. Borin, J. B. M. A. Neto, J. G. D. Aguiar e R. L. Leite, “Sistema e Dispositivo Óptico para Monitoração Remota da Tensão Mecânica de Esticamento em Condutores de Redes Aéreas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica,” PI0704926-9, 1 de junho, 2007.
- (4) R. O. Gomes, J. E. B. Alvares, A. Zimmermann, S. E. Tokuno, “Análise Técnica, Econômica e Regulatória de Alternativas de Obras para o Aumento da Capacidade de Linhas e Redes de Distribuição de Energia Elétrica – Recapacitação, Recondutoramento e Construção”, apresentado no XXI SENDI, Santos, Brasil, 2014.

## DADOS BIOGRÁFICOS



**Claudio Antônio Hortêncio** nasceu em Caconde, SP em 1961. Possui graduação em Tecnologia em Eletrônica Industrial pela Universidade Salesiana (Campinas, 2001). É Pesquisador de Telecomunicações da Fundação CPqD, desde 1984, atuando no desenvolvimento de dispositivos e acessórios para a rede externa de telecomunicações, tais como: conectores de blindagem e vinculação de cabo telefônicos, conectores de pares, blocos terminais de Distribuidor Geral, rede externa e assinantes, caixa de emendas e acessórios diversos, com participação ativa em fóruns para a especificação de requisitos de produtos e elaboração de normas técnicas. Atualmente é responsável técnico de ensaios em conectores e divisores ópticos e desenvolve trabalhos de pesquisa e coordenação de projetos na área de sensores ópticos.



**Carlos Alexandre Meireles do Nascimento** nasceu em Conselheiro Lafaiete, MG em 1968. Doutor em Engenharia Elétrica pela UFMG (Belo Horizonte, 2009). Atualmente é engenheiro de tecnologia e normalização da Companhia Energética de Minas Gerais S/A atuando pela empresa Cemig D desde (1989). Tem experiência na área de Engenharia de Distribuição e Transmissão de Energia, com ênfase em Novas Tecnologias, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento de ativos de energia, linhas de transmissão, projetos de linhas de transmissão, ampacidade, fibras ópticas, novos tipos de condutores e supercondutores.



**Eduardo Ferreira da Costa** nasceu em Campinas, SP em 1982. Possui mestrado em Engenharia Elétrica pela Unicamp (Campinas, 2009). Desde 2006 trabalha no CPqD, atuando nas áreas de sensoriamento óptico, instrumentação eletrônica e microcontroladores. Tem atuado como pesquisador e coordenador de projetos de P&D para o Setor Elétrico em projetos de soluções de monitoramento e supervisão de sistemas elétricos de potência, linhas de transmissão e distribuição e equipamentos de subestações e usinas hidrelétricas.



**Rodrigo Peres** nasceu em São Paulo, SP em 1983. Possui graduação em Engenharia Física pela UFSCar (São Carlos, 2011). Desde 2012 atua no CPqD em projetos de P&D para o setor elétrico no desenvolvimento de sensores ópticos para o monitoramento e supervisão de linhas de transmissão, subestações e em barragens de usinas hidrelétricas, também é um dos responsáveis pelos ensaios ópticos no laboratório de homologação de cabos ópticos.



**Gustavo Henrique Sberze Ribas** nasceu em Rio de Janeiro, RJ em 1980. Possui graduação em Engenharia de Computação pela Universidade Estadual de Campinas (2004). Atualmente é engenheiro da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Tem experiência nas áreas de Computação, Telecomunicações e Óptica, atuando principalmente nos seguintes temas: Supervisão Óptica, Sensores Ópticos, Telemetria, radiações não ionizantes (RNI), simulações eletromagnéticas, Smart Grid, sistemas embarcados.



**João Guilherme Dias de Aguiar** nasceu em Capivari, SP em 1959. Possui graduação em Engenharia Mecânica e especialização em Materiais e Processos de Fabricação pela Universidade Estadual de Campinas (1982 e 1986) e certificação PMP pelo PMI (2009). Atualmente é pesquisador de telecomunicações da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Projeto de Cabos de Fibras Ópticas, atuando principalmente nos seguintes temas: sensores ópticos; cabos ópticos subterrâneos e aéreos; cabos OPGW, cabos ópticos submarinos; projeto, implantação, aceitação, operação e manutenção de redes ópticas; ensaios ópticos, mecânicos e climáticos em cabos e componentes da rede óptica.



**Danilo Cesar Dini** nasceu em Bueno Brandão, MG em 1956. Possui mestrado em Engenharia Elétrica pela Unicamp (Campinas, 1988). Atualmente é pesquisador no CPqD. Tem experiência na área de Comunicações Ópticas e presta consultoria em caracterização de redes ópticas metropolitanas e de longa distância. Tem atuado em P&D para o Setor Elétrico em projetos de sensores ópticos para o monitoramento e supervisão de linhas de transmissão, subestações e em barragens de usinas hidrelétricas.