



**XXII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GTL/04  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - XV**

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MECÂNICOS EM CABOS ÓPTICOS OPGW ATRAVÉS DE ENSAIOS NORMALIZADOS PARA OBTER AMPLA E PRECISA COMPREENSÃO DO COMPORTAMENTO DO MESMO QUANDO INSTALADO EM LINHA DE TRANSMISSÃO**

**Marcos José Mannala (\*)  
LACTEC**

**Carlos E. L. Mattos  
LACTEC**

**Gabriel R. do Amaral  
LACTEC**

**Luiz Siguenobu Obara  
FURUKAWA**

**Mario Masuda  
FURUKAWA**

**Oswaldo H. de Souza Jr.  
COPEL/UTFPR**

**RESUMO**

A conexão de grandes centros por fibras ópticas se tornará ainda mais importante nas próximas décadas. As características mecânicas dos cabos OPGW possibilitam que estes sejam prontamente instalados em linhas de transmissão de energia elétrica, barateando assim a infraestrutura necessária à transmissão de informação. Entretanto, deve-se conhecer o comportamento das características mecânicas dos cabos para que a catenária formada entre os vãos das estruturas mantenham distâncias seguras e previsíveis durante toda a vida útil da linha, o que torna imperativa a realização de ensaios que permitam a determinação precisa e consistente dos parâmetros mecânicos deste tipo de cabo.

**PALAVRAS-CHAVE**

OPGW, linhas de transmissão de alta tensão, cabos ópticos aéreos, tensão-deformação, metodologia de ensaio.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A necessidade de transmissão de informação tem sofrido um incremento significativo nas últimas décadas. Essa necessidade de altas taxas de transmissão de dados aumentará ainda mais nos próximos anos, sobretudo à demanda gerada pelas indústrias de entretenimento e de comunicação. Neste contexto, somente a comunicação óptica pode fornecer as soluções necessárias de transmissão de dados, aliando disponibilidade de banda, altas taxas de transmissão e confiabilidade de transmissão de dados.

Os cabos condutores convencionais destinados às linhas aéreas de transmissão de energia elétrica são constituídos de fios de materiais metálicos, tais como aço galvanizado, alumínio, ligas de alumínio e aço recoberto com alumínio. Dentre esses condutores convencionais, os mais utilizados atualmente são os CA – condutor de alumínio – e os CAA – condutor de alumínio com alma de aço. A experiência adquirida com mais de 50 anos de utilização destes cabos permitiu a padronização e o estabelecimento de normas nacionais e internacionais que regem a fabricação e comercialização dos mesmos.

Da mesma forma, a experiência acumulada com a instalação, operação e manutenção destes cabos permitiu o conhecimento das suas características de desempenho e o desenvolvimento de equações e fórmulas que permitem calculá-las com precisão satisfatória visando sua instalação nas linhas de transmissão. Entre tais características de desempenho, pode-se citar: capacidade de corrente, capacidade de curto-circuito, curva de

tensão-deformação, curva de fluência, módulo de elasticidade, coeficiente de dilatação térmica linear, alongamento, resposta a vibrações eólicas, entre outras.

Os cabos ópticos OPGW – *Optical Ground Wire* – foram desenvolvidos para substituir os cabos para-raios convencionais na função de proteção das linhas de transmissão e, ao mesmo tempo, prover as fibras ópticas para a operação e controle do próprio sistema elétrico, bem como disponibilizá-las para os Sistemas de Telecomunicações, cada vez mais solicitados pelas demandas crescentes de transmissão de dados. Também são utilizados em diversos países mais intensamente em enlaces urbanos. Estes cabos de cobertura possuem fibras ópticas protegidas por tubos metálicos, os quais requerem alta confiabilidade em relação à proteção da linha e à transmissão de dados, com processos de fabricação bem controlados e com tolerâncias mais estreitas em relação aos processos de fabricação dos condutores convencionais.

As características de desempenho dos cabos OPGW têm sido determinadas por meio de ensaios regidos por normas cujas metodologias são baseadas nas normastécnicas NBR 7302:1982 (Condutores elétricos de alumínio tensão-deformação em condutores de alumínio) (1) e NBR 7303:1982 (Condutores elétricos de alumínio - Fluência em condutores de alumínio) (2) de cabos aéreos convencionais. Considerando a variedade de projetos com tecnologias proprietárias, com resultados de alguns ensaios de laboratório divergentes dos esperados pelos fabricantes, além de particularidades nos processos adotados por cada fabricante, tem havido questionamentos de especialistas da área quanto à validade da simples utilização dessas metodologias e equações usadas para condutores convencionais na determinação de características em cabos OPGW.

O desenvolvimento deste trabalho ocorreu em função do projeto de P&D em parceria entre a FURUKAWA INDUSTRIAL S.A PRODUTOS ELÉTRICOS e o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, subsidiada pela Lei nº 10.176, de 11 de janeiro de 2001, com agradecimentos especiais a ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico na concessão da utilização da lei 8.010/90 para a compra de equipamentos.

O objetivo principal deste projeto de P&D é discutir se as metodologias atuais para a execução dos ensaios de tensão-deformação e fluência em cabos OPGW produzem resultados precisos e confiáveis, que possam ser utilizados em projetos de linhas de transmissão e em programas comerciais de cálculo de trações e catenária dos cabos. Os objetivos secundários são o levantamento bibliográfico das normas utilizadas internacionalmente para realizar os ensaios de tensão-deformação em cabos OPGW e a proposição de uma nova metodologia para realizar o ensaio, além do desenvolvimento de um *software* para aquisição dos dados e controle de todos os parâmetros de ensaio. Face ao estágio atual do projeto este trabalho apresenta somente os resultados relativos ao ensaio de tensão-deformação.

## 2.0 - METODOLOGIA, MATERIAL E DISCUSSÃO

### 2.1 Metodologia e Material

Este trabalho foi conduzido por meio de estudos da literatura técnica referente à realização do ensaio de tensão-deformação em cabos condutores e em cabos OPGW, com a confecção de uma bancada de ensaios projetada para este fim no Laboratório de Ensaios em Cabos e Acessórios do LACTEC e a aquisição de novos instrumentos de medição e aquisição de dados, bem como com o desenvolvimento de ferramentas computacionais que permitem estimar com maior precisão as características de desempenho dos cabos OPGW.

Foram realizados estudos comparativos entre os métodos utilizados pela ABNT NBR 7302:1982 (Condutores elétricos de alumínio – Tensão-deformação em condutores de alumínio) (1) e a metodologia proposta pelo LACTEC para, baseando-se na compilação das melhores práticas internacionais, averiguar se os resultados fornecidos por ambos os métodos apresentam dispersão significativa.

### 2.2 Discussão

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais semelhanças e diferenças nos métodos de ensaio propostos pelas normas internacionais IEEE 1138:2009 (3), baseada na norma IEC 61089:1997, e A Method of Stress-Strain Testing on Aluminum Conductor and ACSR (4), da TAA, e pela norma nacional ABNT NBR 14074:2009 (6), baseada na ABNT NBR 7302:1982 – Condutores elétricos de alumínio - Tensão-deformação em condutores de alumínio (1) –, bem como o método de ensaio proposto para a execução dos ensaios de tensão-deformação neste trabalho.

Tabela 1. Comparativo entre normas de tensão-deformação e apresentação e justificativa da metodologia de ensaio adotada.

ENSAIO DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO EM CABOS OPGW					
NORMA	IEEE 1138:2009	ABNT NBR 14074:2009	TAA	Metodologia Proposta	Justificativa
ATENUAÇÃO ÓPTICA	Medir apenas se requisitado pelo comprador	Medir	---	Não medir, conforme requisito do cliente	O ensaio objetiva caracterizar apenas o comportamento mecânico do cabo
TEMPERATURA	20	Temperatura ambiente	---	Temperatura ambiente	Diminuição da variação térmica na amostra, evitando efeitos de dilatação/contração térmica no resultado
TOLERÂNCIA TEMPERATURA	$\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	---	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	
MÉTODO DE ANCORAGEM	De forma que todos os componentes com função estrutural estejam impedidos de se moverem um em relação ao outro nos pontos de fixação. Sugestão: terminações de resina epóxi que envolvam todos os componentes do cabo	Por dois acessórios passantes, iguais aos que serão utilizados na linha de transmissão a que se destina o cabo	De maneira a assegurar o agarramento dos fios durante o ensaio	De forma que todos os componentes que suportam carga estejam impedidos de se moverem um em relação ao outro nos pontos de fixação. Uso de terminações de resina epóxi em formato cônico	Eliminação da possibilidade de deslizamento do cabo e fios pelos acessórios passantes, evitando medições errôneas da deformação
COMPRIMENTO MÍNIMO ENTRE ANCORAGENS	10 metros	8 metros	---	12,9 metros	Obtenção de leitura na faixa de melhor precisão dos instrumentos de medição
MÍNIMO COMPRIMENTO ÚTIL	8 metros	---	12,7 metros	11,0 metros	
PRÉ-CARGA	2% da RMC. Permanência na pré-carga não pode passar de 2 minutos	mín.(8% da RMC; 5 kN)	mín(8% da RMC; 1 000 lbf)	mín(8% da RMC; 5 kN)	Diminuição da catenária inicial do cabo, obtendo leitura mais precisa do comprimento da amostra a ser deformada, e início dos registros dentro da faixa de melhor precisão das células de carga

ENSAIO DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO EM CABOS OPGW					
NORMA	IEEE 1138:2009	ABNT NBR 14074:2009	TAA	Metodologia Proposta	Justificativa
<b>TAXA DE CARREGAMENTO</b>	Taxa necessária para atingir 85% da RMC em 2 minutos	2500 N/min	---	Taxa necessária para atingir 85% da RMC em 2 minutos	Garantia de uniformidade na acomodação mecânica dos fios
<b>TOLERÂNCIA TRAÇÃO</b>	---	1%	---	1%	---
<b>PROCEDIMENTO DE ENSAIO</b>	Conforme IEC 61089:1997	Conforme ABNT NBR 7302:1982	TAA	Conforme ABNT NBR 7302:1982, até pré-carga 3	Etapas subsequentes não influenciam os resultados
<b>REGISTRO DE DADOS</b>	No carregamento e no descarregamento. Intervalo máximo de registro em cada patamar e nas pré-cargas: 5 minutos	No carregamento. Registrar no descarregamento apenas de 70% da RMC à pré-carga. Não registrar de 75% da RMC à ruptura	No carregamento, em 5, 10 e 15 minutos e, a partir daí, de 15 em 15 minutos. No último carregamento, medir até 75% da RMC	No carregamento e no descarregamento	Análise mais detalhada dos resultados e melhor entendimento do comportamento mecânico do cabo
<b>TOLERÂNCIA DEFORMAÇÃO</b>	---	0,001% (10 $\mu\epsilon$ )	---	0,0005% (5 $\mu\epsilon$ )	---
<b>RUPTURA</b>	Romper apenas se combinado entre fornecedor e comprador (taxa de carregamento: 100% da RMC em 5 minutos)	Romper cabo. Anotar carga e localização da ruptura	Levar o cabo a sua RMC real	Não romper	Após a solicitação do cabo a cargas elevadas, o resultado do valor da ruptura pode ter sofrido alteração, não sendo útil como critério de aprovação
<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b>	Curva Virtual Inicial Composta e módulo de elasticidade final (obtido da curva de descarregamento de 85% da RMC à pré-carga)	Curva Virtual Inicial Composta, Curva Composta Final (obtido da curva de descarregamento de 70% da RMC à pré-carga), módulos de elasticidade iniciais médios e módulo de elasticidade final médio, além da carga e local da ruptura e se ocorreram deformações entre o cabo e os acessórios de ancoragem	---	Curva Virtual Inicial Composta, Curva Composta Final (obtido da curva de descarregamento de 70% da RMC à pré-carga), módulos de elasticidade iniciais médios e módulo de elasticidade final médio	---

A Figura 1 evidencia as diferenças entre as curvas de tensão-deformação de diferentes condutores elétricos e de cabos-guarda, quando utilizado o mesmo método de ensaio. Os gráficos apresentados são de tipos distintos de cabo, com diferentes configurações, número e material de fios e com ou sem alma (são cabos OPGW, CA, CAA, CAL e ACCC). Com comportamento tão distinto, é necessário indagar se uma mesma metodologia é adequada para ensaios em diversos tipos de cabos. Cabe ressaltar que os gráficos não estão ordenados de acordo com o tipo de cabo.

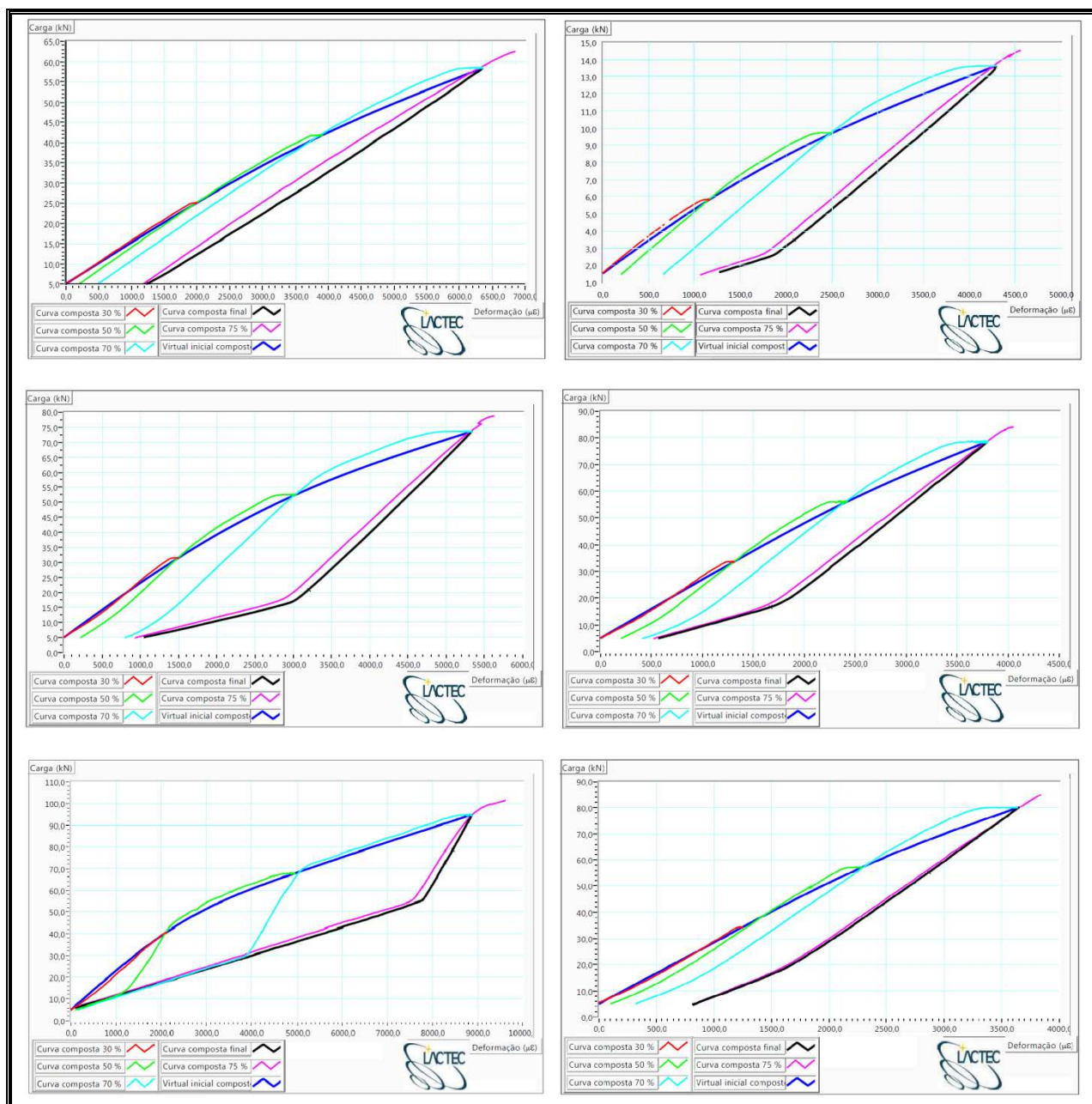


Figura 1. Curva de tensão-deformação de diferentes tipos de cabos.

### 3.0 - RESULTADOS

Resultados comparativos entre o método da NBR 7302:1982 (1) e o método proposto pelo LACTEC para cabos OPGW são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação de resultados fornecidos pelas duas diferentes metodologias de ensaio.

TIPO DE CABO OPGW	MÉTODO	MÓDULOS DE ELASTICIDADE		
		INICIAL INFERIOR	INICIAL SUPERIOR	FINAL
A	NBR7302	142,30	135,08	160,16
A	LACTEC	142,02	129,07	156,74
B	NBR7302	119,06	100,46	134,10
B	LACTEC	119,93	99,18	131,99
C	NBR7302	137,47	121,58	156,11
C	LACTEC	133,13	120,66	154,59

### 4.0 - CONCLUSÕES

Os resultados preliminares desta pesquisa demonstram que as diferenças entre os métodos não são muito significativas. Para o mesmo tipo de cabo OPGW, a maior variação no módulo de elasticidade final foi de 2,14 % e a menor, de 0,97%, o que se encontra dentro das incertezas produzidas pelo preparo das amostras, pelos instrumentos de medição e pelos próprios métodos de ensaio. Isto indica que a metodologia da ABNT NBR 14074:2009 (6) para a execução de ensaio de tensão-deformação em cabos OPGW gera resultados confiáveis para serem utilizados em projetos de linhas de transmissão aéreas, com a ressalva de que um maior número de amostras deve ser ensaiado.

### 5.0 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a continuação do projeto de P&D estão previstos:

-Ensaio de fluência utilizando parâmetros baseando-se nas solicitações mecânicas típicas observadas durante a instalação da linha de transmissão, como, por exemplo, pré-tensionamento do condutor por um período de tempo e de 12, 24 ou até 48 horas antes da instalação das ancoragens definitivas; e

- Estudo similar para o ensaio de tensão-deformação do cabo, utilizando históricos de solicitações mecânicas devido as condições climáticas típicas brasileiras, que não possuem, por exemplo, na sua maioria do territorial neve.

### 6.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7302 (Condutores elétricos de alumínio tensão-deformação em condutores de alumínio). Rio de Janeiro, abril de 1982.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7303 (Condutores elétricos de alumínio - Fluência em condutores de alumínio). Rio de Janeiro, abril de 1982.
- (3) INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 1138. New York, EUA. 2009
- (4) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMITTEE. IEC 61089. Genebra, Suíça, 1997.
- (5) THE ALUMINUM ASSOCIATION. A Method of Stress-Strain Testing on Aluminum Conductor and ACSR. Technical Committee on Electrical Conductors. Washington, DC, EUA, 1999.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14074 (Cabos para-raios com fibras ópticas (OPGW) para linhas aéreas de transmissão - Requisitos e métodos de ensaio). Rio de Janeiro, agosto de 2009.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Marcos José Mannala** nasceu em Curitiba, PR, em 23 de agosto de 1967. Recebeu os títulos de técnico em eletrotécnica pelo CEFET, em 1988, graduado em Engenharia Elétrica pela UFPR, em março de 2001, e Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas com ênfase em sistemas de controle pela PUC-PR, em outubro de 2004. Trabalhou na Companhia Paranaense de Energia – COPEL – como fiscal de obras de LT's e na área de estudo de projetos de LT's. Atualmente, trabalha em pesquisa e ensaios na área de distribuição e transmissão de energia, no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC).

**Carlos Eduardo Lourenço Mattos** nasceu em São Paulo, SP, em 10 de maio de 1967. Graduiu-se em Engenharia Metalúrgica na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) em Ouro Preto, MG, em 1991. Especialista em Engenharia da Qualidade pela American Society for Quality, em 1996, pós-graduado em Comércio Exterior pela Universidade Mackenzie, em 1998, e Gestão de Negócios pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, em 2003, e Mestrando em Mecânica pela UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Trabalhou na Samarco Mineração AS, Nacional de Grafite LTDA, Hitachi Ar Condicionado Brasil S/A, Orica do Brasil e IBQ, atuando nas áreas de Engenharia de Processos, Qualidade, Comércio Exterior e Logística. Atualmente, trabalha em pesquisa e ensaios na área de distribuição e transmissão de energia no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC).

**Gabriel Ruggiero do Amaral** nasceu no Rio de Janeiro, RJ, em 10 de abril de 1989. É graduado em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atualmente, trabalha em pesquisa e ensaios na área de distribuição e transmissão de energia no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC).

**Luiz Siguenobu Obara**, nascido em 30 de junho de 1956 em Lucélia, estado de São Paulo, Brasil. Formado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1982 e pós-graduação em telecomunicações pela Fundação Getúlio Vargas em 2001. De 1988 a 2004 trabalhou na Furukawa Industrial S.A. na área de cabos de energia para redes de transmissão e distribuição e sistemas de telecomunicações. De 2004 a 2010, trabalhou na Procable Energia e Telecomunicações S.A. na área de construções de linhas de transmissão e instalação de cabos OPGW. Atualmente trabalha na Furukawa Industrial SA na área de cabos de energia.

**Mario Masuda** nascido em 25 de junho de 1948 em Tupã estado de São Paulo, Brasil. Formado em Engenharia Elétrica e recebeu o título de mestrado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 1973 e 2006 respectivamente. De 1973 a 1991 trabalhou na Themag Engenharia Ltda na área de Sistema Transmissão de Energia. De 1991 a 1997, trabalhou como autônomo executando projetos, supervisionando obras, ministrando cursos de instalação de fibras óticas em linhas de transmissão (OPGW). De 1997 a 2002, trabalhou na Furukawa Empreendimentos Ltda., também em atividades relacionadas com projetos e instalação de OPGW. De 2002 a 2012 trabalhou como pesquisador do GAGTD, grupo ligado à FDTE. Atualmente presta consultoria à Furukawa Industrial SA em projetos de instalação de cabo OPGW.

**Oswaldo Honorato de Souza Junior** nasceu em Heliadora, MG, em 10 de julho de 1957. Graduiu-se em Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), em Itajubá MG, em 1978. Recebeu os títulos de Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá, em 1994, e Doutor em Engenharia Mecânica pela PUC-PR, em 2010. Trabalhou na companhia Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (ELETRONORTE), no setor de Engenharia de Manutenção, e na Companhia Paranaense de Energia (COPEL), como Pesquisador de P&D desde 1993, e posteriormente no LACTEC também como Pesquisador até 2011. Atualmente trabalha na COPEL na área de Engenharia de Manutenção. Desde 1995, também atua como professor do Departamento de Mecânica da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná).