

# A Vida Útil de Relés Digitais: Uma Abordagem Baseada em Dados

Derrick Haas, Matt Leoni, Karl Zimmerman, Adrian Genz e Travis Mooney  
*Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

Apresentado na  
72nd Annual Conference for Protective Relay Engineers  
College Station, Texas, EUA  
25 a 28 de março de 2019

Traduzido para o português em junho de 2019

# A Vida Útil de Relés Digitais: Uma Abordagem Baseada em Dados

Derrick Haas, Matt Leoni, Karl Zimmerman, Adrian Genz e Travis Mooney,  
*Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.*

**Sumário**—A confiança nos relés de proteção digitais tem aumentando constantemente nas últimas quatro décadas desde sua invenção. Como a vida útil desses dispositivos ultrapassa várias décadas, as questões sobre quando e como substituir estrategicamente esses relés estão aumentando. Este artigo técnico define termos associados à confiabilidade de relés de proteção, fornece dados de confiabilidade do ciclo de vida observado em campo e sugere estratégias de substituição.

## I. INTRODUÇÃO

À medida que a tecnologia digital já se aproxima de quatro décadas e as empresas possuem dispositivos digitais em serviço com várias décadas de existência, as seguintes questões começam a surgir:

- Qual é a vida útil de um relé de proteção digital?
- Qual estratégia de substituição deve ser adotada?

Este artigo responde às questões, analisando os dados coletados em campo de uma população de relés que estavam em serviço por 19 a 25 anos. Também avalia os efeitos do envelhecimento em uma amostra desses relés

Conclui-se que a aderência aos processos de projeto e fabricação de alta qualidade, uso de componentes de alta qualidade e políticas robustas para ações de reparo e comunicação aos usuários, garantem que os relés operem de forma confiável além de sua vida útil declarada.

### A. Definições

Para promover um entendimento comum, propõe-se as seguintes definições:

**Confiabilidade:** a probabilidade de que um produto ou sistema irá executar sua função especificada, durante um período especificado, em um ambiente definido.

**Defeito latente:** um defeito que não poderia ter sido descoberto por testes ou inspeção, antes de um produto ser vendido ou colocado em serviço.

**Taxa de falha:** o número médio de falhas ao longo de um período especificado, expresso em falhas por ano.

**Vida útil:** o tempo de vida operacional pretendido de um dispositivo.

**Fim da vida útil:** o período após a vida útil em que o dispositivo apresenta uma taxa de falha insustentável ou apresenta uma falha irreversível.

### B. Ciclo de Vida da Confiabilidade

Defeitos latentes de várias fontes são às vezes introduzidos nos equipamentos. Como os defeitos se tornam falhas, a população afetada deve ser reparada ou substituída. Os usuários finais também devem resolver outras fontes de falhas, tais como

mau uso produtos e erros de instalação. A combinação desses esforços resulta em uma taxa de falha exponencialmente decrescente.

A Figura 1 representa o ciclo de vida de confiabilidade observado em campo para 12.761 relés de proteção digitais de um mesmo modelo aplicados em sistemas de transmissão entre 1992 e 1999.

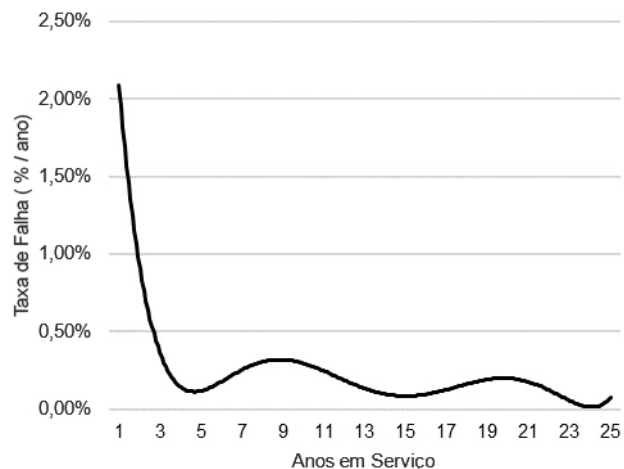


Figura 1. Taxa de falha observada para um antigo relé de transmissão fabricados entre 1992 e 1999 baseado em dados de campo.

Os defeitos latentes podem resultar em uma taxa de falha maior a qualquer momento durante a vida útil de um produto. Por exemplo, alguns dos relés na Figura 1 experimentaram um modo comum de falha após servir de forma confiável por cinco anos. A comunicação aberta entre os usuários finais e o fabricante, juntamente com políticas robustas de manutenção, foram vitais para restaurar e melhorar a confiabilidade do produto.

O relé associado à Figura 1 foi projetado para uma vida útil de 20 anos. Após 25 anos de serviço, os dados de retorno provenientes de campo indicam que o relé ainda não chegou ao fim de sua vida útil e o fabricante ainda pode consertar os relés. No entanto, o fabricante não tem meios para identificar quando os relés são retirados de serviço, o que pode distorcer os dados de confiabilidade.

## II. CONTEXTO GERAL E CONSIDERAÇÕES PARA SUBSTITUIÇÃO DE RELÉS

Este artigo enfoca a vida útil de um relé de proteção. No entanto, há uma variedade de outras razões para substituir os relés, incluindo muitos listados em [1]. É útil reconhecer a

importância de outras questões e considerações que afetam por quê e quando os usuários finais decidem substituir um relé de proteção.

A Tabela I fornece um resumo das motivações e considerações para decidir quando substituir ou atualizar os relés de proteção.

TABELA I  
CONSIDERAÇÕES E MOTIVAÇÕES PARA SUBSTITUIÇÃO DE RELÉS

Motivação	Explicação
Nova tecnologia	Proteção mais rápida reduz danos a equipamentos e melhora a estabilidade do sistema. Uma comunicação nova e mais rápida melhora o desempenho da proteção, controle e automação. Sequencial de eventos (SER), oscilografia e recursos de monitoramento em alta resolução, melhoram o desempenho e a análise do sistema.
Segurança	Proteção mais rápida reduz a energia incidente (risco de arco elétrico) em painéis [2] [3], e a detecção de condutor ao solo melhora a segurança dos sistemas de distribuição [4] [5].
Conformidade	Regulamentações e normas podem exigir substituições de relés [6] [7]. As empresas de distribuição podem requerer adesão a normas de interconexão [8] [9].
Obsolescência	Garantir cadeias de suprimentos e a disponibilidade consistente de materiais é crucial para que um fabricante produza, suporte e conserte um relé. Os fabricantes podem substituir os modelos antigos por novos modelos semelhantes para obter substancial economia com redução de custos e tempo.
Novos equipamentos primários	Quando o equipamento primário do sistema de potência (geradores, transformadores, etc) é modernizado ou expandido, a proteção normalmente é modernizada para corresponder e melhorar ao estado da arte.
Orçamento para substituição	As concessionárias que operam em um modelo de custo de serviços, se favorecem nas atualizações de tarifas sobre os gastos com operação e manutenção [10]. Isso pode tornar os projetos de grande escala (substituição de painéis completos ou de casas de controle) mais atrativos financeiramente do que para cada caso de falhas de relés com substituições individuais com verbas de manutenção.
Treinamento e processos	É necessário um rigoroso programa de treinamento tanto em novas tecnologias como nas antigas, de forma a manter a competência e o conhecimento especializado da equipe. O pessoal treinado que executa um processo de substituição bem definido otimizará os resultados.

### III. PERSPECTIVA DO FABRICANTE

Há muitos aspectos para garantir, manter e melhorar a confiabilidade. Garantir uma operação confiável durante a vida útil de um relé de proteção começa com meticulosos princípios de projeto, seleção de materiais de alta qualidade provenientes de excelentes fornecedores e processos de fabricação de alta qualidade. A manutenção e a melhoria da confiabilidade do dispositivo em serviço exigem uma comunicação formal a respeito das tendências de confiabilidade entre o fabricante e os usuários finais, bem como das políticas de garantia e de reparos que promovem o retorno do produto.

#### A. Dados Precisos de Devolução de Produtos

Dados precisos de retorno de produtos são essenciais para quantificar a confiabilidade e desenvolver uma estratégia para manter e substituir os relés.

Manter registros de remessas de produtos por modelo e número de série e registrar todas as ações de serviços, permite que os fabricantes e usuários finais calculem e analisem as métricas de confiabilidade observadas. Faz sentido para os fabricantes oferecerem políticas de reparo e retorno amigáveis, de forma a incentivar os usuários finais a devolverem todos os relés com falha, independentemente de a falha estar coberta ou não por uma garantia. Essa colaboração fornece aos fabricantes uma chance de atualizar as métricas de confiabilidade, identificar a causa raiz das falhas e melhorar o projeto e o processo ou os materiais dos equipamentos atuais e futuros.

Os dados de retorno de relés de 2018 foram analisados para reunir a perspectiva de um fabricante de relés. As taxas de falha dos relés foram calculadas com base no ano de fabricação e no número de relés vendidos naquele ano. A taxa de falha anualizada é plotada pela idade dos relés na Figura 2. Utilizando apenas esses dados, pode-se concluir que o aumento da taxa de falha anualizada para os relés em serviço com mais de 16 anos indica o fim da vida útil. No entanto, defeitos latentes causaram muitas das falhas e foram divulgados através de boletins de serviço e resolvidos pela substituição de componentes defeituosos.

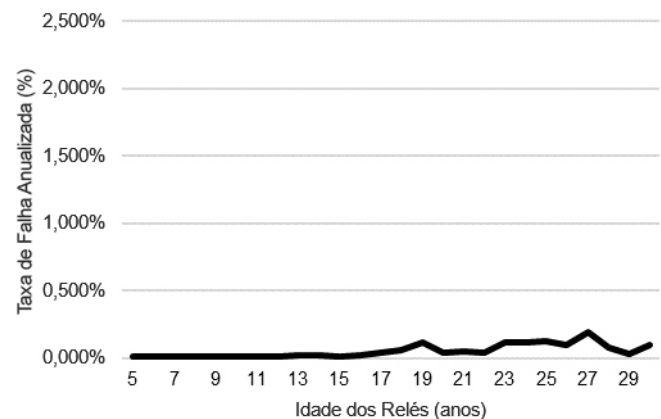


Figura 2. Taxa de falha anualizada por idade para os relés que retornaram ao fabricante em 2018.

Embora essas informações sejam úteis, elas podem apresentar um quadro incompleto, pois os usuários finais podem tirar os relés de serviço sem notificar o fabricante do dispositivo.

Cada vez mais, em parte devido a requisitos regulatórios, os usuários finais estão mantendo dados mais detalhados, inclusive quando um dispositivo é colocado em serviço, testado e removido de serviço e a causa da remoção. O compartilhamento de informações entre os usuários finais e o fabricante pode completar o quadro e ajudar o setor a entender melhor a longevidade dos relés digitais.

### B. Comunicação Entre Fabricantes e Usuários

A comunicação proativa do fabricante a respeito de problemas que possam afetar a confiabilidade do dispositivo, juntamente com programas proativos de manutenção do usuário final, podem melhorar a confiabilidade e segurança a longo prazo e prolongar a vida útil dos relés de proteção digitais.

Além disso, fabricantes e usuários finais se beneficiam da troca de informações com atualizações periódicas de dados de confiabilidade.

A Figura 3 mostra o número de falhas de relés registradas por um usuário final específico (concessionária A), normalizado para a população de relés do ano de fabricação.

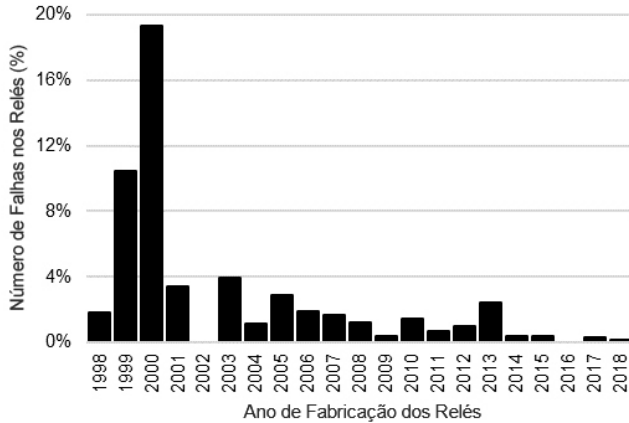


Figura 3. Número de falhas de relés versus o ano de fabricação.

Usando apenas este conjunto de dados, pode-se concluir que os relés de 1999 e 2000 chegaram ao fim de sua vida útil, mas a combinação dos dados com as informações disponíveis do fabricante, fornecem uma explicação mais completa.

A Figura 4 mostra as falhas cumulativas do relé experimentadas pela concessionária A versus o ano de falha do relé, conforme registrado pelo fabricante. Um boletim de serviço foi emitido em 2006 pelo fabricante, que abordou um problema que afetou os relés fabricados em 1999 e 2000.

A concessionária A substituiu de forma proativa a maioria dos relés fabricados em 1999 entre 2007 e 2010. Como havia uma proteção de retaguarda local, eles conscientemente equilibraram o risco, confiabilidade e economia e substituíram os relés restantes quando eles falharam.

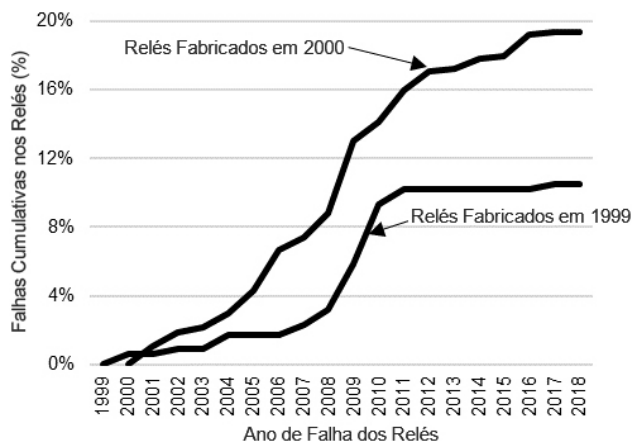


Figura 4. Falhas cumulativas versus ano de falha para relés fabricados em 1999 e 2000.

### C. Análise dos Efeitos de Envelhecimento na Eletrônica

A medição dos efeitos do envelhecimento na eletrônica crítica é necessária para confirmar a vida útil dos relés digitais. Onze relés de onze concessionárias nos Estados Unidos foram examinados e testados. O tempo de vida em serviço variou de 19 a 25 anos. Esses relés foram projetados para uma vida útil mínima de 20 anos usando componentes de alta qualidade e considerando os efeitos do envelhecimento em componentes que são críticos para as funções de proteção e segurança do relé. Os relés foram instalados anteriormente em diferentes subestações de várias regiões dos Estados Unidos. As seguintes funções dos relés foram testadas e verificadas para estarem em conformidade com as especificações:

- Saídas eletromecânicas
- Entradas digitais
- Entradas analógicas de tensão e corrente
- Visor de cristal líquido
- Diodos emissores de luz - LEDs
- Botões de comando
- Fonte
- Diagnósticos dos relés

O desempenho dos seguintes componentes, críticos para as funções de proteção do relé, foram medidos e verificados para atender às especificações:

- Resistores de precisão
- Referências analógicas de precisão
- Cristais e osciladores

A confiabilidade da isolamento de segurança foi verificada submetendo os relés a testes de impulso de alta tensão e testes de *hi-pot*, conforme a norma IEC 60255-27: 2013 - requisitos de segurança para medição de relés e equipamentos de proteção. A integridade da junta de solda dos contatos de saída foi confirmada pela análise de seções transversais usando um microscópio metalúrgico.

Os resultados da avaliação dos 11 relés, combinados com a curva de vida de confiabilidade observada em campo, confirmam que quando os relés são fabricados com materiais e processos de alta qualidade e os efeitos do envelhecimento são considerados durante o projeto do produto, os relés digitais podem operar de forma confiável dentro do que foi especificado durante e além de sua vida útil planejada.

### IV. DADOS REPORTADOS PELA CONCESSIONÁRIA

Três diferentes concessionárias informaram dados sobre quantos relés foram instalados, quantos foram substituídos e quantos ainda estavam em serviço.

A Tabela II resume os dados dessas três concessionárias, denominadas X, Y e Z, mostrando o número de relés fabricados antes de 1999 que ainda estão em serviço.

TABELA II  
DADOS DE INSTALAÇÃO DE RELÉS EM DIFERENTES CONCESSIONÁRIAS

Concessionária	Relés em Serviço com Mais de 20 Anos
X	1.844
Y	194
Z	294

Este estudo de caso mostra que todas as três concessionárias têm confiança em relés com mais de 20 anos. A maior população de relés antigos da concessionária X pode ser atribuída a compras maiores a mais de 20 anos atrás quando comparado com outras concessionárias e sua prévia adaptação em ações de gestão de ativos. Com base nos dados das concessionárias X e Y, cerca de 75% dos relés com mais de 20 anos ainda estão em serviço.

Ações de modernização compreendem uma grande parte de remoções de relés. A concessionária Y estimou que mais de 85% das remoções não foram devidas a falhas, mas sim devido à necessidade de novas tecnologias. Por exemplo, substituíram todos os relés de linhas de transmissão de extra-alta-tensão e está substituindo todos os relés de linhas de transmissão de alta tensão devido à obsolescência de uma infraestrutura de comunicações mais antiga e por já possuir uma maior disponibilidade de fibras óticas. A mesma empresa substituiu os relés de transmissão e distribuição devido aumento dos requisitos de comunicação e para atender os requisitos dos relatórios, em parte exigidos pelas novas regulamentações do setor.

A concessionária Z estimou que 80% a 90% das remoções são devido a modernizações. Um motivo citado é que as proteções de linhas de transmissão estavam sendo modernizadas para aplicarem proteção diferencial devido à maior disponibilidade de fibras óticas.

## V. PERSPECTIVA DA CONCESSIONÁRIA

Existem muitas abordagens sob a ótica de uma concessionária sobre como abordar a vida útil de equipamentos. Resumimos essas abordagens em três categorias gerais.

### A. Substituir Somente Após a Falha do Relé

Essa é a abordagem mais simples no conceito. As concessionárias simplesmente não substituem os relés de proteção até que eles falhem. As concessionárias ainda monitoram e testam periodicamente os relés de acordo com as diretrizes do fabricante e seus procedimentos internos, de acordo com os padrões aplicáveis e os requisitos de conformidade.

Concessionárias que adotam essa filosofia ainda substituem os relés por outras razões (ver Seção II), mas não há um cronograma específico para substituições de relés.

### B. Baseada num Tempo Específico ou Idade do Relé

Com essa abordagem, as concessionárias substituem os relés com base em sua vida útil ou idade, na tentativa de substituir os relés antes que eles falhem.

Uma concessionária relatou que tentaram quantificar a vida útil de várias tecnologias de relés e ajustar uma curva de falha baseada em dados observados com relés de proteção divididos em três categorias: eletromecânica, estado sólido e digital [11].

Um benefício de uma abordagem baseada no tempo é que as concessionárias podem combinar o tempo de substituição com os requisitos do NERC (*North American Electric Reliability Corporation*) em testes periódicos de relés de proteção. Por exemplo, a concessionária B, de acordo com as diretrizes de

[12], adotou um intervalo de testes de manutenção de 12 anos. O seu plano de substituição corresponde ao intervalo de teste e está resumido na Tabela III.

TABELA III  
ABORDAGEM DA CONCESSIONÁRIA B: COMBINAÇÃO DE CRONOGRAMA DE TESTES DE MANUTENÇÃO COM SUBSTITUIÇÃO PLANEJADA

Linha de Tempo	Ação Planejada
Instalação inicial (0 anos)	Realizar testes de comissionamento e colocar em serviço
12 anos	Realizar manutenção periódica de acordo com [12]
24 anos	Substituir/modernizar a proteção ou realizar manutenção periódica de acordo com [12] e colocar o relé numa lista para substituição antes do próximo intervalo de manutenção

Ao combinar o tempo de substituição do relé com os intervalos de manutenção necessários, a concessionária evita a manutenção de um relé perto do final de sua vida útil. Isso traz benefícios para os orçamentos de operação e manutenção.

### C. Abordagens Mais Sofisticadas

Várias abordagens mais sofisticadas baseadas em dados foram compartilhadas [11] [13]. Para essas abordagens gerais, as concessionárias usam uma variedade de fatores, incluindo a idade do relé, para gerar um fator de desempenho para quantificar a necessidade relativa de substituir ou não um relé específico. Por exemplo, uma abordagem é combinar e ponderar uma “pontuação de criticidade” com uma estimativa numérica da saúde geral do relé de proteção chamado “pontuação de saúde”, de forma a fornecer uma avaliação quantitativa do risco para um determinado relé [11].

## VI. CONCLUSÕES

Com base em dados, os relés digitais fabricados com materiais de alta qualidade e usando processos de alta qualidade, podem operar de forma confiável dentro de suas especificações durante e após sua vida útil planejada de 20 anos.

A medição dos efeitos do envelhecimento na eletrônica crítica, confirmou que os relés em serviço por mais de 20 anos não mostraram sinais de desgaste.

As concessionárias estão mantendo os relés em funcionamento além da garantia do fabricante e além das expectativas de vida útil.

Os fabricantes devem coletar e manter dados sobre os relés, incluindo data de fabricação, atividades de reparos e devolução e comunicarem efetivamente com os usuários finais, incluindo o compartilhamento de atividades de serviços e o fornecimento de dados confiáveis.

Os usuários finais devem manter os dados dos relés, incluindo a data de instalação, atividades de manutenção, data e o motivo de remoções.

Os fabricantes devem ter um processo proativo e robusto para comunicar os boletins de serviço aos usuários finais. Já os usuários finais devem ter um processo robusto para avaliar e tomar as respectivas ações em relação aos boletins de serviço.

Os fabricantes e os usuários finais devem se associar para tomar a melhor decisão baseada em dados sobre a vida útil dos relés digitais.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] IEEE PSRC Working Group I22, “End-of-Useful Life Assessment of P&C Devices,” PES-TR46, May 2015. Available: [pes-psrc.org/kb/published/reports/I22-UsefulLife-Final-May2015a.pdf](http://pes-psrc.org/kb/published/reports/I22-UsefulLife-Final-May2015a.pdf).
- [2] B. Hughes, V. Skendzic, D. Das, and J. Carver, “High-Current Qualification Testing of an Arc-Flash Detection System,” proceedings of the 9th Annual Clemson University Power Systems Conference, Clemson, SC, March 2010.
- [3] J. Buff and K. Zimmerman, “Application of Existing Technologies to Reduce Arc-Flash Hazards,” proceedings of the 33rd Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2006.
- [4] D. Hou, “High-Impedance Fault Detection—Field Tests and Dependability Analysis,” proceedings of the 36th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2009.
- [5] W. O’Brien, E. Udren, K. Garg, D. Haes, and B. Sridharan, “Catching Falling Conductors in Midair – Detecting and Tripping Broken Distribution Circuit Conductors at Protection Speeds,” proceedings of the 69th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2016.
- [6] NERC Standard PRC-023 – Transmission Relay Loadability. Available: [nerc.com](http://nerc.com).
- [7] NERC Standard CIP-007 – Cyber Security – Systems Security Management. Available: [nerc.com](http://nerc.com).
- [8] IEEE 1547, IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources With Associated Electric Power System Interfaces.
- [9] K. Zimmerman, “SEL Recommendations on Periodic Maintenance Testing of Protective Relays,” December 2010. Available: [selinc.com](http://selinc.com).
- [10] Advanced Energy Economy, “Optimizing Capital and Service Expenditures,” a 21st Century Electricity System Issue Brief, June 2018. Available: [info.aee.net/hubfs/PDF/Opex-Capex.pdf](http://info.aee.net/hubfs/PDF/Opex-Capex.pdf).
- [11] A. Feathers, A. Mubarak, A. Nungo, and N. Paz, “Relay Performance Index for a Sustainable Relay Replacement Program,” proceedings of the 41st Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2014.
- [12] NERC Standard PRC-005-2 – Protection System Maintenance. Available: [nerc.com](http://nerc.com).
- [13] Q. Aziz and G. Sonde, “Protection & Controls Analytics for a Reliable Grid,” proceedings of the 69th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2016.

## VIII. BIOGRAFIAS

**Derrick Haas** graduado como bacharel em Engenharia Elétrica pela Texas A&M University. Trabalhou como engenheiro de distribuição para o CenterPoint Energy em Houston, Texas, até 2006 quando foi para a Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Derrick teve vários cargos incluindo engenheiro de aplicação de campo, engenheiro de aplicação sênior, líder de equipe e seu atual cargo é o de gerente técnico regional. É membro sênior do IEEE e está envolvido no IEEE Power System Relaying Committee (PSRC).

**Matt Leoni** recebeu grau de bacharel em sistemas de engenharia naval pela United States Merchant Marine Academy em Kings Point, Nova York, em 1994 e grau de mestre em ciências em engenharia elétrica pela University of Colorado em Boulder, Colorado, em 1996. De 1996 até 2002, trabalhou como engenheiro consultor em proteção de sistemas elétricos de potência com foco em concessionárias e indústrias. Foi para a Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL) em 2002 e atuou em engenharia de aplicação de campo, líder de equipe e gerenciamento de escritórios de engenharia e serviços. Em 2014, foi promovido para diretor regional de vendas e serviços. Tem conduzido inúmeros seminários, workshops e cursos da Universidade SEL em integração e sistemas de proteção. É membro do IEEE Industry Applications Society e engenheiro registrado para atuar nos estados do Colorado e Texas.

**Karl Zimmerman** é engenheiro especialista na Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. baseado em Fairview Heights, Illinois. Seu trabalho inclui fornecer suporte em aplicação e de produtos e também treinamento técnico para usuários de relés de proteção. É membro sênior do IEEE, membro do IEEE Power System Relaying Committee e vice-presidente do subcomitê de proteção de linhas de transmissão. Karl recebeu seu grau de bacharel em engenharia elétrica pela University of Illinois em Urbana-Champaign e possui cerca de 25 anos de experiência na área de sistemas de proteção.

**Adrian Genz** é gerente de engenharia sênior na divisão de Qualidade da Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. (SEL). Iniciou na SEL em 2007 como engenheiro de hardware e passou por posições de projeto e gerenciamento de engenharia. Recebeu seu grau de bacharel em engenharia elétrica pela Utah State em 2004 e o de mestre em ciências de engenharia elétrica pela Brigham Young University em 2006.

**Travis Mooney** é diretor da divisão de Qualidade na Schweitzer Engineering Laboratories (SEL). Iniciou na SEL em 1995 como engenheiro de hardware e ocupou vários cargos de projeto e gerenciamento de engenharia. Recebeu seu grau de bacharel em engenharia elétrica pela Gonzaga University em 1995 e tem atuado na SEL desde então. Ele detém duas patentes, com uma patente pendente em aquisição de dados e técnicas de medição.