



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

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO -III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS AVANÇADAS DE FOTOGRAFIA DIGITAL EM INSPEÇÃO
DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A LONGA DISTÂNCIA.**

**Antonio Elias de Almeida Nogueira (*)
CHESF**

**Paulo Ivo de Sá Araújo
CHESF**

RESUMO

Diante de um cenário atual em que os custos por indisponibilidades operacionais do Sistema Elétrico estão mais presentes, em cifras cada vez maiores, este trabalho visa demonstrar, inclusive através de um caso-base, a potencialidade da utilização de fotografias digitais obtidas a longas distâncias, em inspeção de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Por ser uma técnica simples, prática, segura e com um relativo custo operacional baixo, observa-se sua enorme utilidade para a otimização das ações da manutenção, minimizando os possíveis riscos de colapsos associados às falhas parcialmente ocultas que poderiam ser evitáveis se fossem melhor diagnosticadas e/ou monitoradas.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de Transmissão, Inspeção, Fotografia Digital.

1.0 - INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por energia elétrica no mundo, principalmente nos países em pleno desenvolvimento, ao longo dos últimos anos vem havendo no Brasil uma verdadeira explosão de consumo. Associado a esse fenômeno, surgiram também inúmeros acontecimentos relevantes. Destacamos a ampla abertura do mercado de negociação de energia elétrica, passando pela criação de novas empresas no setor elétrico, além das privatizações de empresas concessionárias estatais. Estes fatos demonstram o tamanho da revolução que vem acontecendo nessa indústria até então estagnada.

Em função desses acontecimentos, observava-se que havia também um certo descompasso entre o desenvolvimento econômico intenso e o estado de conservação das instalações elétricas, muitas destas fragilizadas e até mesmo sucateadas. Assim, de forma a acompanhar e suprir as necessidades deste novo cenário, houve a necessidade urgente do Governo estabelecer diretrizes e metas de investimento e operação para a atualização e reforço dessas instalações. Foram assim criadas diversas empresas e órgãos para a fiscalização e regulamentação. Podemos destacar a criação da ANEEL, agência reguladora representante do Governo que tem por função, em linhas gerais, estabelecer estas novas diretrizes e metas para o Setor Elétrico Nacional em parceria com o órgão de operação ONS, Operador Nacional do Sistema, de forma a garantirem a plena disponibilização de energia elétrica com a melhor qualidade possível.

Para que esta plena disponibilização de energia elétrica seja possível, as empresas do Setor Elétrico Nacional, tanto as de capital privado bem como as estatais, devem garantir que seus ativos estejam também em plenas condições de funcionamento. Assim, salienta-se que é de fundamental importância possuírem o devido conhecimento do estado de funcionamento destes, incluindo-se todos os equipamentos de subestações, linhas de transmissão, entre outros.

No âmbito da engenharia de manutenção, especialmente focada nos seus ativos Linhas de Transmissão (LT's), a CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco) sempre prezou por mantê-los no mais alto nível de satisfação operacional e de conservação. Para isso, constantemente investe em capacitação de pessoal, aquisição de ferramentas e na busca e desenvolvimento de novas tecnologias que lhe auxiliem no dia a dia da manutenção, muitas destas, inclusive, pioneiras.

Assim, de modo a manter este espírito de pioneirismo pela busca e desenvolvimento de novas tecnologias, além de usufruir de suas vantagens, a CHESF propõe o uso inédito e diferenciado da tecnologia da fotografia utilizando equipamentos de mercado.

O principal objetivo da aplicação da técnica de uso de fotografia digital, especialmente focada em longo alcance, é o de dar maior agilidade e confiabilidade ao ato de inspeção preventiva e diagnóstica em linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Esta metodologia promove a identificação acurada da situação física dos componentes evidenciando os defeitos presentes, bem como apontando os pontos que potencialmente venham a se transformar em defeitos futuros. Sua aplicação visa principalmente “enxergar” melhor, de forma a prevenir colapsos com indisponibilidades operacionais, acionando a manutenção para a devida ação corretiva.

2.0 - METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida pela CHESF, através de sua divisão normativa de manutenção, para o uso da tecnologia da fotografia digital de longo alcance aplicada às LT's, é bastante simples e objetiva. Consiste basicamente na realização de duas macroetapas: a primeira denominada “Captura de imagens” e a segunda, “Manipulação”. Ambas são responsáveis pela obtenção dos objetivos finais de uma missão de inspeção preventiva ou diagnóstica, pois combinadas revelam imagens detalhadas, com alto padrão informativo.

2.1 Captura de Imagens

Sendo essa a primeira etapa da metodologia, sua execução é de extrema importância para a obtenção de um bom resultado final. Uma boa execução da captura de imagem significa ter em mãos matéria prima de boa qualidade para ser utilizada na etapa de manipulação.

É nesse primeiro momento onde são empregados os equipamentos óptico-eletrônicos de fotografia digital, que incluem câmera digital profissional, com alta resolução de imagem, combinada com o uso de lentes de longo alcance. Também enfatiza-se a fundamental importância da participação do homem de manutenção na operação desses equipamentos, incluindo-se a sua prévia capacitação básica de como operá-los de modo a obter os melhores resultados.

A seguir, detalha-se um pouco cada elemento participante dessa etapa, equipamentos óptico-eletrônicos e mão de obra.

2.1.1. Máquina Fotográfica Digital

Sendo esse o “coração” dos equipamentos utilizados na metodologia, a máquina fotográfica digital é o elemento que captura e guarda a imagem de interesse. Com ela é possível registrar fidedignamente os componentes e situações necessárias de uma missão de inspeção, com a vantagem de ser confiável e duradouro.

A máquina fotográfica digital utilizada para o desenvolvimento da metodologia foi uma Canon® EOS Rebel XSi profissional, da linha SLR, com resolução efetiva de seu sensor CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) próxima dos 12.2 Mpixels (Figura 1). Este equipamento utiliza cartões de memória do tipo Compact FlashT® para o armazenamento das imagens obtidas, tanto no formato mais comum, padrão JPEG, quanto em seu padrão específico RAW.



FIGURA 1 – Máquina Fotográfica Digital, linha SLR – Canon®.

2.1.2. Lente Fotográfica

O grande diferencial do conjunto de equipamentos proposto pelo método em relação às máquinas fotográficas digitais portáteis comuns, está no fato de se poder utilizar conjunto de lentes de longo alcance integradas ao corpo da máquina fotográfica digital. Elas possibilitam a obtenção de imagens nítidas e estabilizadas, pois dispõem internamente de um sistema de estabilização de imagens, sendo possível focar o alvo a mão livre, dispensando o uso, inclusive, de tripés de apoio. Logo, mostra-se como uma grande vantagem, pois em alguns casos no ambiente das faixas de servidão das LT's nem sempre é possível encontrar terreno plano, seco e limpo para sua fixação.

Para a metodologia foi utilizado um conjunto de lentes fotográficas denominado Lente Zoom Telefoto® EF Autofoco 100-400mm, também da linha profissional da Canon®. Quando utilizadas em conjunto com a máquina fotográfica citada anteriormente, equivalem a uma lente de 160-640mm, apresentando um fator multiplicador de 1,6 vezes. Com este conjunto de lentes é possível se obter uma aproximação de imagem em cerca de 12,8 vezes em relação a uma mesma visada a olho nú. Ou seja, tem-se uma imagem projetada para a câmera digital de até 1m x 1,5m com resolução de 72 dpi (*dot per inch* – pontos por polegada), equivalente a uma mesma resolução de tela de computador do tipo PC. A seguir, exemplificamos na Figura 2 o tipo da lente utilizada.



FIGURA 2 – Lente Zoom Telefoto – Canon®.

2.1.3. Mão-de-Obra

Como já citado, o homem de manutenção é peça fundamental para que se obtenha os bons resultados finais esperados. É através deste profissional que a integração desses equipamentos se torna possível. Para tanto é necessário o mínimo de conhecimento acerca da utilização deles. Sendo assim, a CHESF vem desenvolvendo instruções normativas com o propósito de orientar o usuário. Elas instruem desde a montagem dos equipamentos, sua utilização, incluindo aspectos de comportamento em campo, indo até mesmo aos aspectos de manutenção e cuidados com os equipamentos. Também exemplifica alguns casos-base e dicas.

2.2 Manipulação

É através desta etapa que o profissional de manutenção executa o tratamento da imagem capturada pelo conjunto máquina-lentes obtendo o produto final para sua análise diagnóstica.

Em suma, consiste primeiramente na leitura do cartão de memória com a transferência dos arquivos para um PC comum com a devida catalogação para que em seguida, conforme o objeto de estudo, se faça a edição de imagens, através de software específico. O software utilizado pela CHESF para esta edição é o PhotoShop® CS3. Com ele é possível tratar a imagem “bruta”, corrigindo efeitos indesejáveis de luz incidente, cores, entre outras características.

Após uma série de experimentos realizados sobre amostras de diversas imagens brutas, essencialmente se trabalha sobre três características básicas da imagem: cores, contraste e densidade. Como exemplo, em casos onde se necessite uma melhor visualização da cor predominante em pontos de oxidação, graduam-se os canais de cores do padrão RGB (*Red, Green e Blue*). Dependendo do tom, se mais amarelado ou não, pode-se estimar o grau de comprometimento de uma determinada peça ou componente.

Já o contraste e a densidade melhoram o aspecto da quantidade de luz incidente. Caso se deseje aumentar ou diminuir a quantidade de luz da imagem como um todo utiliza-se o recurso da curva filtro de densidade. Já quando

se deseja tornar mais claros os pontos claros ou tornar mais escuros os pontos escuros usa-se o recurso da curva filtro de contraste. Em experiências anteriores, ambos são mais requeridos quando se deseja enfatizar determinado elemento que possa ficar oculto devido, por exemplo, aos efeitos de contra luz do Sol, ou seja, quando a olho nú um observador está olhando um objeto e por trás deste haja luz excessiva.

Através do software de edição também é possível redimensionar, focar ou mesmo indicar elementos informativos sobre a imagem, de maneira que ao final obtemos um produto “lapidado” com condições de ser arquivado.

Considerado como já exposto no item 2.1.2., quando se extrai uma “porção” da imagem capturada pela máquina fotográfica, cujas dimensões são de 1m x 1,5m, a 72 dpi, pode-se produzir fotos para arquivamento (fotos lapidadas), de 10cm x 15cm (equivalente às dimensões de um cartão postal) com a mesma resolução de 72 dpi. Isso equivale a dizer que houve uma aplicação de zoom digital em 10 vezes, pois manteve-se a mesma resolução e focou-se em uma determinada parte da imagem bruta antes coletada, mantendo ainda uma excelente qualidade de imagem.

O principal local de armazenamento dessas imagens na CHESF é o software do sistema integrado de gestão de ativos – SIGA EquipMaint-i® . Através dele, toda a empresa, a qualquer hora, pode acessar o banco de imagens vinculado aos milhares de subcomponentes dos ativos de LT’s cadastrados no sistema. Desta forma, tem-se a guarda de imagens de defeitos, ou mesmo da situação operativa mais recente de um determinado ponto capturado quando de uma inspeção recente, sendo bastante útil nas decisões gerenciais.

Também é possível monitorar a evolução de potenciais defeitos através da catalogação de fotos sequenciadas obtidas de tempos em tempos em inspeções programadas. Dependendo do estado evolutivo apresentado durante essas fotos sequenciadas, dar-se início ou não às intervenções. Ou seja, pode-se inclusive com isso introduzir o conceito de intervenções de reparação baseadas sobre o risco aparente. Seria uma prévia de alimentação de dados para um futuro programa de RCM (*Reability Centred Maintenance* – Manutenção Centrada na Confiabilidade).

3.0 - CASO-BASE – APLICAÇÃO DE FOTOGRAFIA DIGITAL DE LONGO ALCANCE EM INSPEÇÃO ANALÍTICA DE ESFERAS DE SINALIZAÇÃO EM CABOS PÁRA-RAIOS

De forma a aplicar a metodologia de uso da fotografia digital de longo alcance, relata-se neste item um caso-base recente em que o uso dessa tecnologia foi fundamental para a detecção de defeitos que até então estavam ocultos aos olhos de inspetores experientes.

Apesar de estarem utilizando binóculos de longo alcance e, inclusive, terem sobrevoado de helicóptero até bem próximo dos pontos onde ficam instaladas as esferas de sinalização nos cabos pára-raios, não foi possível enxergar nitidamente os riscos de defeitos em potencial que ali existiam.

Esta inspeção ocorreu na LT de 230 kV, circuito duplo, que interliga a subestação de Rio Largo (Alagoas) até o consumidor industrial Braskem, cuja extensão é de aproximadamente 23km, sobre áreas agrícolas e urbanas.

Mais precisamente, o estudo aplicado ocorreu no vão de frente da estrutura 23/1 (km 23) que é considerado o mais crítico desta LT, cujo comprimento é cerca de 750m localizado totalmente sobre a lagoa urbana do Mundaú, na região metropolitana de Maceió-AL, cujas torres possuem altura útil na ordem de pouco mais de 80m ao nível do solo.

Além disso, a atmosfera local é muito agressiva, uma vez que sofre a incidência da névoa salina proveniente da proximidade com o mar (maresia) e daquela produzida pela própria Braskem, indústria que produz cloro-soda e está bem próxima a este local. É tanto que tais estruturas de aço são tratadas com pintura anti-corrosiva e os cabos condutores e os pára-raios são “engraxados” de modo que não sejam atacados quimicamente.

A problemática existente era a de inspecionar as condições superficiais dos cabos pára-raios, principalmente observando as condições de seus tentos próximos às esferas de sinalização. Para esta missão, o ideal seria ir diretamente ao cabo, mas impossível dadas as condições do local e a existência do enorme risco de ruptura por sobrecarga mecânica e fadiga de material. Para se ter uma noção exata do local, bem como de suas características bem particulares, observe a Figura 3.



FIGURA 3 – Vão da Estrutura 23/1 da LT Rio Largo – Braskem, 230 kV.

Em função dessa urgente necessidade, preliminarmente a equipe de inspeção local executou escaladas ao topo das estruturas que suspendem este vão, e do alto, através de visualização por binóculos, tentaram visualizar os pontos de interesse.

Após uma série de tentativas, o que se visualizava não era o suficiente para se diagnosticar de forma confiável o estado dos tentos dos cabos pára-raios, principalmente quando se focava as regiões onde estão engastados os grampos de fixação das esferas (região de maior criticidade).

Além disso, o pouco que se visualizava, tanto pela visada diretamente da torre, quanto pelo acesso próximo via helicóptero, não era de fato registrado. Ou seja, não se dispunha de imagens nítidas que pudessem ser avaliadas e discutidas em conjunto com um grupo maior de especialistas da manutenção local.

Quando se tentava capturar alguma foto utilizando máquinas fotográficas comuns, não se conseguia visualizar claramente as regiões críticas devido às distâncias, aos problemas de ofuscamento, em virtude do efeito de contra luz do Sol, e à trepidação. O que se conseguia eram imagens borradas, com os detalhes de interesse escurecidos e distantes, o que impedia aproveitá-las para um diagnóstico.

Em virtude de todas essas dificuldades locais relatadas, dos riscos envolvidos e urgência por resultados confiáveis e seguros a cerca das condições materiais e operativas, a CHESF, através de sua divisão normativa de manutenção, introduziu o uso da fotografia digital de longo alcance, aplicando-a nesta oportunidade.

Para isso, tomou-se uma estratégia de aproximação um pouco diferente da comumente utilizada nesta região. Ao invés de se visualizar a região próxima às esferas a partir do topo das estruturas ou mesmo embarcado de um helicóptero, foi utilizada uma aproximação via barco. Foram tiradas fotos sob o vão da LT, em diagonal com o eixo do vão, envolvendo distâncias, entre o barco e as esferas, variando entre 90 e 100m.

No dia desta missão, foi obtida uma série de fotos a punho livre utilizando o conjunto formado pela máquina fotográfica digital e pela lente zoom telefoto, ambos descritos nos itens 2.1.1. e 2.1.2., respectivamente, em diferentes horários de modo a aproveitar melhor a incidência de luz solar disponível.

Como resultado, foram detectados 03 (três) defeitos no entorno das regiões críticas das esferas. Estes que apresentavam um enorme risco em potencial para colapso. Salienta-se que tais defeitos não foram detectados pelas técnicas convencionais de inspeção. Essas imagens foram conseguidas a partir do barco em condição instável devido ao movimento das águas pela ação dos ventos e pequenas ondas provocadas pela maré.

Após executadas as etapas de “Captura de Imagem” e “Manipulação”, pode-se verificar o produto final obtido dos três defeitos localizados após o uso da fotografia digital de longo alcance.

A Figura 4, mostra claramente o defeito de ruptura de dois tentos do cabo pára-raio, logo próximo ao grampo de fixação da esfera de número 02, lado carga.

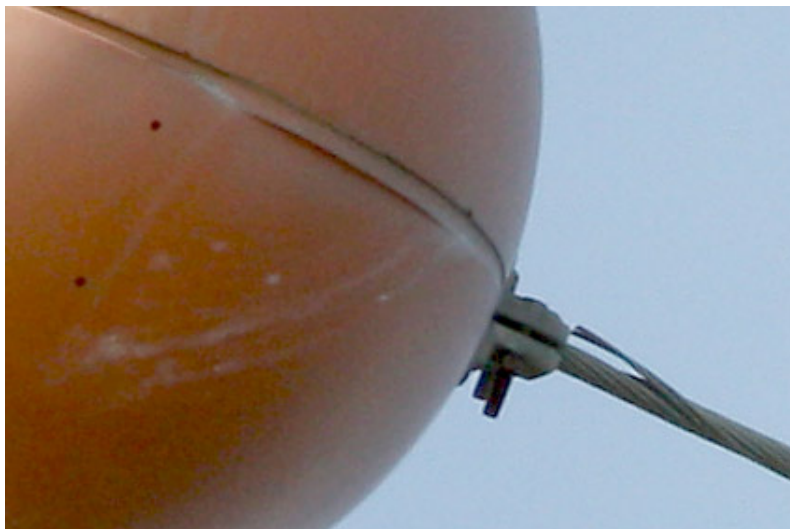


FIGURA 4 – Tentos Partidos do Cabo Pára-Raio da 2ª Esfera de Sinalização da LT Rio Largo – Braskem, 230 kV, Lado CARGA.

Já na Figura 5, o mesmo tipo de defeito, só que visto na outra extremidade da mesma esfera de sinalização anteriormente apresentada. Visualiza-se um tento partido, também bem próximo ao grampo de fixação do lado fonte .



FIGURA 5 – Tento Partido do Cabo Pára-Raio da 2ª Esfera de Sinalização da LT Rio Largo – Braskem, 230 kV, Lado FONTE.

Na Figura 6, visualiza-se também o mesmo tipo de defeito, porém apresentado na 3ª esfera de sinalização. Verifica-se um tento partido, novamente nas proximidades do grampo de fixação do lado fonte .

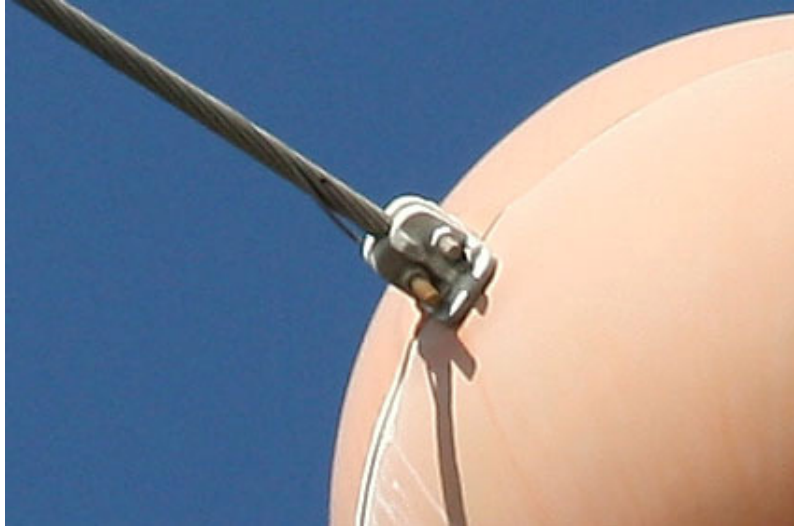


FIGURA 6 – Tento Partido do Cabo Pára-Raio da 3ª Esfera de Sinalização da LT Rio Largo – Braskem, 230 kV, Lado FONTE.

Como resultado das imagens obtidas de uma forma segura, rápida e conclusiva, a equipe de manutenção e operação optaram por intervir em caráter emergencial para que fossem sanados estes defeitos encontrados o mais breve possível. Salienta-se que caso não fossem visualizados estes defeitos, a LT estaria submetida a um risco enorme de falha operacional, que poderia culminar em possíveis prejuízos materiais e com certeza perdas de receita e multas para a CHESF, além de perdas de produção na Braskem. De fato, a metodologia de fotografia digital de longo alcance foi fundamental para o sucesso da missão, agindo preventivamente.

4.0 - CONCLUSÃO

A aplicação da técnica de uso de fotografia digital, especialmente focada em longo alcance, mostra-se como uma importante ferramenta de apoio responsável por dar uma maior agilidade e confiabilidade ao ato de inspeção preventiva e diagnóstica em linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.

Traz consigo inúmeras vantagens, desde possibilitar registros sistemáticos fidedignos e duradouros, promovendo a identificação acurada da situação física de diversos componentes, como também possibilita evidenciar a existência de defeitos quase ocultos, apontando pontos que potencialmente venham a se transformar em falhas futuras por serem difíceis de serem visualizados pelas técnicas atualmente utilizadas.

Outra vantagem está no tempo utilizado da mão-de-obra: enquanto um inspetor levou em média 01 (uma) hora entre vestir seus aparatos de segurança, escalar a estrutura, se posicionar, andar pela estrutura, focar os pontos de interesse, descer e retirar os aparatos, uma outra pessoa a partir do barco coletando as fotos destes mesmos pontos, gastou em média 15 minutos. Ou seja, cerca de $\frac{1}{4}$ do tempo para uma mesma atividade, com a vantagem de não se expor ao risco elétrico e de queda, além da fadiga muscular. Com isso, ganha-se em produtividade e otimiza o uso da mão-de-obra, hoje tão escassa.

Em termos de investimento, outra vantagem. O custo necessário de um kit composto de máquina fotográfica digital, lente zoom telefoto, computador tipo PC e licença de software de processamento de imagens, gira em torno de R\$ 20.000,00 (vinte mil reais). Para se ter uma idéia, caso esta LT Rio Largo – Braskem tivesse pelo menos um de seus cabos pára-raios rompido e caído sobre os cabos condutores, devido aos defeitos anteriormente expostos, haveriam custos de Parcela Variável por Indisponibilidade, custos com deslocamento de equipe de manutenção, custos de materiais para a recomposição, custos por perda de produção, perdas de receita operacional, que certamente seriam muito superiores aos investimentos necessários.

Diante de tantos pontos positivos e resultados satisfatórios, a aplicação das técnicas de fotografia digital em inspeção de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica mostra-se extremamente aderente aos propósitos da política de engenharia de manutenção, que visam manter seus ativos sempre em condições satisfatórias de operação, de modo que estejam sempre disponíveis para suprir as demandas cada vez mais crescentes de energia elétrica a um custo viável e com qualidade.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MANUAL DO USUÁRIO DA CÂMERA CANON EOS REBEL XSi. USA, CANON, 2008.
- (2) MANUAL DO USUÁRIO DA LENTE ZOOM TELEFOTO EF AUTOFOCO 100-400 mm CANON. USA, CANON, 2008.
- (3) CHESF – COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. Inspeção de Linhas de Transmissão e Barramentos de Subestações Energizadas. In: **Instrução de Manutenção**. Recife, 7ª ed., 2005.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Antonio Elias de Almeida Nogueira

Nascido em Recife, PE, em 14 de Setembro de 1978.

Especialista em Gestão da Manutenção (2006) e Graduado (2004) em Engenharia Elétrica, modalidade Eletrotécnica, ambos pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

Empresa: CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, desde 2006.

Atua na Divisão de Manutenção e Análise do Desempenho das Linhas de Transmissão – DODL.