

## Termografia em redes de distribuição de energia elétrica

André Luiz Gorchinski (UTFPR-PG) [andre.gorchinski@gmail.com](mailto:andre.gorchinski@gmail.com)

Heverton Marcello Schenigoski Amarante (CESCAGE) [hevertonamarante@copel.com](mailto:hevertonamarante@copel.com)

João Luiz kovalski (UTFPR-PG) [kovalski@utfpr.edu.br](mailto:kovalski@utfpr.edu.br)

Eloiza Apº Ávila de Matos (UTFPR-PG) [elomatos@utfpr.edu.br](mailto:elomatos@utfpr.edu.br)

Anntonio Carlos de Francisco (UTFPR-PG) [acfrancisco@utfpr.edu.br](mailto:acfrancisco@utfpr.edu.br)

### Resumo:

O presente artigo busca uma abordagem sobre a importância da termografia nas inspeções em redes de distribuição de energia elétrica. Pelo fato da temperatura ser a principal variável detectável no processo de falha na área elétrica devido à relação corrente/resistência; provocados por conexões frouxas, corroídas, oxidadas ou por falhas do componente e materiais, ela causa fadiga no material até o total rompimento do condutor ou até mesmo avarias em equipamentos especiais de rede. Neste estudo foram analisados alimentadores de 13,8 kV da subestação abrigada Uvaranas, onde as anomalias encontradas pela inspeção instrumentalizada foram imperceptíveis na inspeção visual, sendo; que a não aplicação da termografia iria incidir na perda de confiabilidade e qualidade da distribuição de energia elétrica. Devido à sensibilidade da câmera e a habilidade do inspetor de redes, as imagens termográficas obtidas dos pontos quentes detectados tiveram suas manutenções programadas e os possíveis defeitos foram sanados sem que houvesse falha no fornecimento de energia elétrica

**Palavras chave:** Termografia, Inspeção Instrumentalizada, Manutenção preventiva.

## Termography in the distribution grid of electricity

### Abstract

This paper presents an approach on the importance of the thermography inspections in the electric distribution grid. As the temperature is the main detectable parameter of fault in the grid due to the ratio current/ resistance caused by untightened connections, rusted or defective components, it may causes material fatigue or even disruption in cables or special equipments like voltage regulators and automatic reclosers. It was analyzed 13,8 kV feeders from Uvaranas substation, the detected overheating points in the feeders were imperceptible in the visual inspection and the non-application of the termography would cause loss of reliability and quality in the electricity distribution. Due to the camera's sensitivity and the inspector experience, the hot spots were fixed and possible defects were avoided without accidental interruption in electricity supply.

**Key-words:** Thermography, Instrumentalized Inspection, Preventive Maintenance.

### 1. Introdução

A energia elétrica é usada como um fluxo contínuo, não pode ter seu armazenamento em grandes quantidades e não é possível fazer uma verificação na qualidade antes do uso. Assim dizemos que esta fonte é um exemplo de aplicação da filosofia *Just in Time*, onde o produto é entregue na linha de distribuição no ponto e também no momento em que é utilizado. Para isso é necessário um controle efetivo, uma alta confiabilidade do sistema, para a entrega deste produto dentro das especificações, de forma ininterrupta. Atualmente o sistema de distribuição da concessionária paranaense Copel possui 184.983 km de linhas e redes até 230 kV - o suficiente para dar quatro voltas e meia em torno da Terra pela linha do equador e 357

subestações (100% automatizadas). O fato da energia elétrica, ser gerada a quilômetros de distância do ponto de uso, e por isso, precisar atravessar longas linhas de transmissão, passar por inúmeros transformadores e também por equipamentos de propriedade dos clientes, faz com que assegurar a qualidade de energia entregue aos consumidores não seja uma tarefa fácil.

No Brasil 90% das redes de distribuição de média tensão são construídas com condutores nus, sendo que para chegarem até o consumidor devem percorrer trechos rurais, urbanos, onde o relevo e a vegetação dificultam a localização de defeitos em inspeções programadas ou emergenciais. Nestas estruturas os condutores são fixados em isoladores tipo pino, pilar de porcelana ou polimérico, instalados em cruzetas de concreto, madeira, e mais recentemente, polimérico ou compósito. Sendo que os materiais de isolamento elétrico estão passíveis a sofrer alterações com processos de degradação, envelhecimento, poluição e perfuração elétrica devido à ação de descargas atmosféricas, ocasionando a interrupção do fornecimento de energia, causados pela ocorrência de curto-circuito no ponto do defeito, com a consequente atuação de algum dispositivo de proteção de sobrecorrente; resultando na interrupção do fornecimento de energia e consequente prejuízo à sociedade e a concessionária.

A solução do problema está em investimentos pela concessionária para aumentar a confiabilidade do sistema e na realização de manutenções preventivas e preditivas com eficácia.

Dentre o gerenciamento de manutenção, uma técnica eficaz, que vem se consolidando é a manutenção preditiva. Os métodos de monitoramento preditivo são baseados em condições, pode-se citar entre eles a análise de vibração, ultrassom, ferrografia, tribologia, monitoria de processo, inspeção visual, inspeção instrumental, termografia, e outras técnicas não destrutivas (ALMEIDA, 2011). Essas técnicas combinadas fornecem dados quantitativos para o monitoramento e análise de sistemas críticos. Dessa forma, traz consigo a redução de ações corretivas e diminuição de intervalos de quebra, reduz ainda, procedimentos de manutenção preventiva. A resultante é maximização do rendimento e eficácia do processo.

A manutenção pode ser dividida em duas categorias: reativa e proativa. A reativa esta pautada na reparação ou reconstrução de um equipamento ou máquina; a proativa pauta-se no conceito de prevenção, de modo que sua evolução vem impetrando a ideia de preditiva (FARIA, 2011).

Segundo Almeida (2011), “a manutenção preditiva é uma filosofia ou atitude que usa a condição operacional real do equipamento e sistemas da planta industrial para otimizar a operação total da planta industrial”.

Alguns autores consideram a preditiva como um programa de manutenção preventiva acionado por condições. Que por sua vez se baseia no monitoramento das condições do sistema, ao invés de se estabelecer em estatísticas de quebra para ações preventivas.

Nos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica as interrupções e perdas de energia são cada vez menos aceitáveis. O monitoramento preditivo, além de eliminar as perdas, também reduzem as falhas e os prejuízos delas decorrentes. Outrossim é diminuição dos custos da manutenção corretiva, contribuindo para o prolongamento da eficiência operacional dos sistemas.

Atualmente, na área elétrica, existem equipamentos disponíveis comercialmente, podendo-se citar a rádio frequência, ultrassom, termovisores e isolômetros utilizados na inspeção instrumental das redes de distribuição. O grande problema verificado é que parte destes equipamentos foi desenvolvida com outras finalidades, principalmente para a aplicação em indústria, sendo então adaptados para o uso pelas concessionárias de energia. Tem-se percebido que estes equipamentos podem apresentar eficiência, porém sendo esta dependente

da sensibilidade do operador que executa o serviço de inspeção. Diferentes observadores produzem diagnósticos totalmente diferentes, elevando o erro no procedimento e tornando os resultados não confiáveis no que tange a localização de falhas\defeitos no sistema elétrico.

Os indicativos que serão mostrados neste trabalho apontam a necessidade de estudos direcionados à adaptação de metodologias e procedimentos para identificação de problemas que comprometam a sistema elétrico de potência (SEP), a programação e realização de inspeções visuais sendo realizadas com equipes treinadas em localização de falhas no SEP com utilização de equipamentos termográficos, aumentando a eficiência independentemente da sensibilidade de quem os utiliza.

## 2. Termografia

O A importância da energia elétrica para o crescimento industrial, social e econômico revela a exigência do mercado consumidor por uma recepção de fornecimento de energia elétrica de boa qualidade, refletindo na melhoria de técnicas que venha a detectar, com antecedência, um provável ponto de falha, proporcionando que evitem desligamentos no sistema. A evolução dos sistemas de distribuição, com o crescimento e sofisticação das cargas instaladas, fez com que as concessionárias de energia elétrica adequassem suas estruturas para manter seu desempenho compatível com as necessidades crescentes dos consumidores, ultrapassando os padrões estabelecidos pelas portarias da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a agência que regulamenta o fornecimento de energia elétrica.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), normatiza índices mínimos de confiabilidade, baseados em valores individuais de cada consumidor. São eles DIC (duração de interrupção por unidade consumidora), FIC (frequência de interrupção por unidade consumidora) e DMIC (duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora). A concessionária de energia que excede os valores limites para os índices regulados, arca com multas e ressarcimentos aos consumidores e a agência reguladora.

Com base nos conceitos de produção e distribuição de energia elétrica com níveis adequados de continuidade, as inspeções termográficas tem o papel fundamental de evitar que a ocorrência de defeitos em equipamentos ocasione uma falha elétrica.

De acordo com o *International Electrotechnical Commission* (IEC), a falha é o evento onde a função requerida é interrompida, excedendo os limites aceitáveis, enquanto a falta é o estado de um item caracterizado pela impossibilidade de desempenhar uma requerida função, excluindo as situações de parada por manutenção preventiva (ou ações programadas) e paradas por falta de recursos externos. A falta é, portanto, um estado consequente.

Nas técnicas relacionadas à manutenção preditiva, está à inspeção visual, o mais antigo método monitoramento utilizado, de simples realização e de baixo custo operacional. Apesar de suas vantagens, existem diversos fenômenos que ocorrem em um ambiente que produzem fenômenos fora do campo de visão e que não são percebidos durante a inspeção visual, fenômenos que podem indicar defeitos em fases iniciais ou prestes a causar interrupção no fornecimento de energia e/ou perigos a vidas.

Sua confiabilidade depende da habilidade e experiência do inspetor, que deve saber como procurar por falhas críticas e reconhecer áreas onde a falha pode ocorrer. A inspeção visual em equipamentos de alta tensão pode ser realizada diretamente (olho nu), remotamente (câmeras de vídeo) ou através de binóculos, mas o “instrumento óptico” básico é o olho humano.

Por outro lado, inspeções instrumentalizadas utilizando tecnologias como a Termografia Infravermelha e a Detecção de Corona por Ultravioleta, ampliam o nosso espectro de visão, nos auxiliando a detectar falhas invisíveis.

A termografia infravermelha é a ciência de aquisição e análise de informações térmicas, a partir de dispositivos de obtenção de imagens térmicas sem contato (ITC, 2007).

O Infravermelho é uma frequência eletromagnética naturalmente emitida por qualquer corpo com intensidade proporcional a sua Temperatura (ENGELETRICA, 2013).

Há três fatores extremamente relevantes que tornam a termografia útil na gestão de manutenção, mais especificamente na manutenção preditiva, são eles:

- a. Não necessita de contato – Utiliza sensor remoto mantendo o usuário longe do perigo, outrossim não afeta ou interfere o alvo de forma alguma;
- b. Tem duas dimensões – Pode medir a temperatura em dois pontos ou em uma centena de pontos na mesma imagem, comparando-as;
- c. É realizada em tempo real – Permite capturar mudanças rápidas nos padrões térmicos, sem alterar as formas que esses padrões mudam.

As inspeções termográficas possuem tanto caráter qualitativo quanto quantitativo. A análise qualitativa revela, dentro de padrões térmicos, a existência, localização e posição de anomalias térmicas. Já a análise quantitativa utiliza a medição de temperaturas como critério para determinar a seriedade de uma anomalia, estabelecendo prioridades para uma manutenção sobre condição (ITC, 2007).

Algumas falhas que ocorrem nos circuitos aéreos de distribuição possuem características básicas de elevação anormal de temperatura de trabalho provocada pelo aumento da resistência de contato, esse fenômeno possibilita a utilização na inspeção do equipamento de termografia que realiza com precisão o apontamento dos pontos sobreaquecidos, quantificando esse aumento irregular de temperatura. Este mau contato elétrico produz um aquecimento que pode ser rápido ou lento, mas sempre progressivo, até a degradação total do componente ou rompimento da conexão, ocasionando a interrupção de fornecimento.

A manutenção preditiva é um dos métodos mais inovadores da gestão da manutenção, pois possibilita fazer o monitoramento e o acompanhamento de desempenho do equipamento através de instrumentos que fornecem dados quantitativos dos componentes.

Segundo Oliveira e Yokota (1985) a inspeções para detecção de pontos quentes podem ter caráter tanto corretivo quanto à qualidade de energia fornecida, como preventivo quanto à continuidade de fornecimento, visto poderem acusar, antecipadamente, possíveis pontos de falhas do sistema.

A utilização de câmeras termográficas possibilita a detecção de deficiências em isoladores, conexões, emendas, derivações, conexões de chaves fusíveis, facas, transformadores, para-raios, etc., sendo imperceptíveis aos métodos convencionais de inspeção e permite a correção em tempo hábil dos equipamentos sobre aquecidos antes que provoquem interrupções no fornecimento ou causem acidentes devidos ao rompimento de condutores sobre pessoas, residências, automóveis, etc.

É importante ressaltar que a termografia é realizada com os equipamentos e sistemas em pleno funcionamento, de preferência nos períodos de maior demanda, quando os pontos deficientes tornam-se mais evidentes, possibilitando a formação do perfil térmico dos equipamentos e componentes nas condições normais de funcionamento no momento da inspeção.

### 3. Materiais e Métodos

Os dados do estudo foram coletados por equipes treinadas, seguindo os procedimentos adotados pela empresa; registrados nos manuais de instrução técnica (MIT) 160915; referente à inspeção instrumentalizada e o MIT 160919; inspeção visual. Sendo que o planejamento, supervisão e controle das manutenções de redes de distribuição estão descritos no MIT 160902.

Foram escolhidos para análise alguns alimentadores da subestação abrigada Uvaranas 138 kV em Ponta Grossa, pois é a subestação responsável por atender diversos alimentadores urbanos de 13,8 kV, possuindo extrema importância para a região central do município, devendo assim ter muita confiabilidade e qualidade no fornecimento de energia.

Na tabela 1, consta a simulação da demanda ativa e reativa das redes estudadas.

<i>Alimentador</i>	<i>Demanda Ativa (kW)</i>	<i>Demanda Reativa (kVAr)</i>
Colares	2907	1058
Palladium	3641	1292
Marista	3050	1043
Florença	2088	766
Regente	3568	1400
Hipódromo	2582	1097
Universidade	2970	1103
Vilela	3670	992

Fonte: Companhia Paranaense de Energia (2012)

Tabela 1- Demandas dos alimentadores da subestação Uvaranas

Estes alimentadores possuem redes aéreas de alta tensão com cabos compactos e protegidos, transformadores de distribuição, redes de baixa tensão, cruzamentos aéreos, chaves fusíveis, seccionadoras e chaves automatizadas.

Esta subestação possui 8 alimentadores de 13,8 kV; denominados Marista, Universidade, Vilela, Colares, Florença, Regente, Hipódromo e Palladium, os quais possuem cronogramas de inspeções realizadas conforme tabela 2.

Alimentador	Data da inspeção Visual	Periodicidade (meses)	Data da inspeção Termográfica	Periodicidade (meses)
Colares	04/06/2012	12	28/08/2012	6
Marista	23/08/2012	12	08/08/2012	6
Florença	11/06/2012	12	06/06/2012	6
Regente	14/09/2012	12	13/09/2012	6
Hipódromo	03/09/2012	12	16/08/2012	6

Fonte: Companhia Paranaense de Energia (2012)

Tabela 2 - Cronograma de inspeções de 2012

Para este trabalho foram utilizadas imagens das seguintes câmeras termográficas:

Câmera da empresa Flir modelo A320 que pode ser vista na figura 1 acoplada ao veículo.



Figura 1 – Câmera Flir A320

Alguns detalhes técnicos sobre a câmera estão relacionados abaixo:

- a) Sensibilidade térmica: 70 mk em 30° C,
- b) A câmera mede 170 x 70 x 70mm e pesa 0,7 Kg,
- c) Excelente qualidade de imagem,
- d) Faixa espectral 7.5 a 13.0  $\mu\text{m}$ ,
- e) Resolução: 320 x 240 pixels,
- f) Faixas de temperatura:  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+120^{\circ}\text{C}$
- g) Precisão (% de leitura):  $\bullet \pm 2^{\circ}\text{C}$  ou  $\bullet \pm 2\%$ .

Câmera da empresa ULIR modelo TI 384 que pode ser vista na figura 2.



Figura 2: Ulirvision TI 384

Alguns detalhes técnicos sobre a câmera estão relacionados abaixo:

- a) Câmera de alta sensibilidade térmica e portátil,
- b) Excelente imagem térmica e medição de temperatura de alta precisão,
- c) Tamanho 330mm x 95mm x 86mm e pesa 650g,
- d) Sensibilidade térmica:  $<65\text{mk}$  em 30 °C,
- e) Faixa espectral: 8 - 14 $\mu\text{m}$ ,

- f) Resolução: 384 x 288 pixels,
- g) Faixa de temperatura: -20°C a 120°C / 0°C a 350°C,
- h) Reconhecimento Automático de ponto Quente / Frio / Médio.

#### 4. Resultados

O Foram coletados dados das inspeções, comparados resultados e comprovado que as anomalias encontradas com a utilização da termografia não foram localizadas na inspeção visual, sendo os defeitos encontrados; descritos abaixo:

- a) Alimentador Marista  
Aquecimentos nos bornes dos transformadores, as anomalias mostradas na figura 3 foram repassadas para manutenção e foram trocados os barramentos e conexões em um desligamento programado, antes da ocorrência de falha no sistema de distribuição.

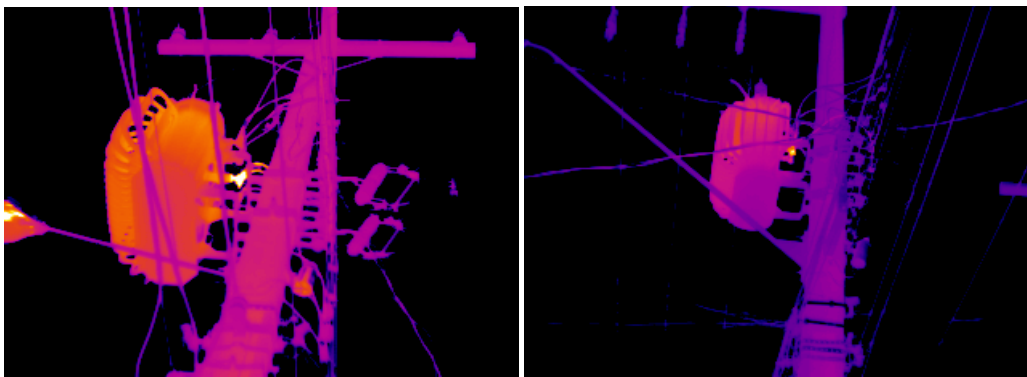


Figura 3: Aquecimento de conexão de bornes.

- b) Alimentador Colares.  
Na figura 4, temos o aquecimento de uma fase de alta tensão com cabos protegidos, onde dificilmente seria encontrado devido possuir uma capa envolvendo o mesmo. Foram refeitas as conexões sem interrupção do fornecimento de energia, com utilização de equipe de linha viva.

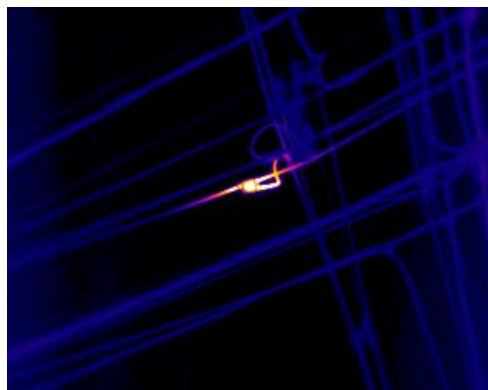


Figura 4: Aquecimento na conexão de Alta tensão

Na figura 5 aparece um ponto de aquecimento na conexão de baixa tensão, a mesma foi refeita em um desligamento programado, antecipando uma falha na distribuição de energia elétrica.



Figura 5: Aquecimento no jumper de baixa tensão.

c) Alimentador Florença

Foi detectado aquecimento no borne de neutro do transformador como mostra a figura 6, o mesmo também foi submetido à manutenção e o ponto quente sanado.

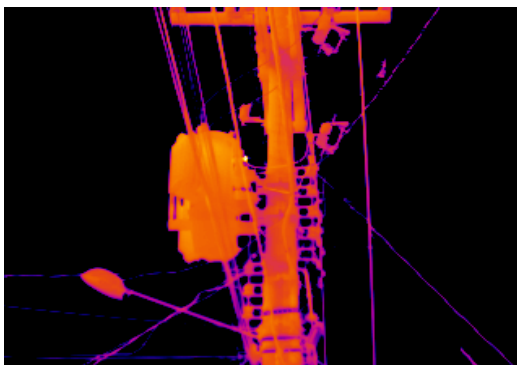


Figura 6: Aquecimento no borne de neutro.

d) Alimentador Hipódromo

A figura 7 mostra o aquecimento na conexão da fase C no borne do transformador, através da identificação desta anomalia térmica foi executada manutenção programada para troca de barramento.

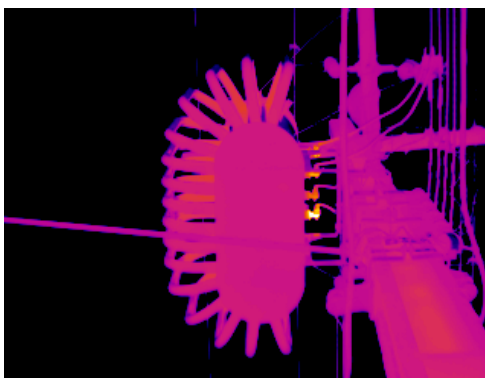


Figura 7: Aquecimento da fase C no borne.

e) Alimentador Regente

Nesta figura 8, temos o aquecimento no barramento do neutro, o qual teve programação para manutenção executada.





Figura 8: Aquecimento do barramento de neutro.

O aquecimento na chave esta na figura 9, sendo na fase B, onde um futuro problema foi solucionado devido a inspeção termográfica, uma programação para manutenção desta chave foi realizada.



Figura 9: Aquecimento no fechamento na chave da fase B.

## 5. Conclusões

A utilização de câmeras termográficas na inspeção para a identificação de anomalias térmicas, nas redes de distribuição de energia elétrica, é de extrema importância, uma vez que todo ponto de aquecimento encontrado, diversos defeitos decorrentes são evitados. É essencial para uma correta aplicação desta técnica, profissionais com: treinamento, habilidades e conhecimentos para que seja possível interpretar as imagens térmicas e identificar a emissão de calor nas conexões e equipamentos das redes de distribuição de energia.

Nos casos de anomalias relatadas nesse artigo, a probabilidade de serem localizados, apenas, por uma inspeção visual é extremamente baixa, já que não foram detectados em inspeção visual precedente. A ampliação das inspeções instrumentalizadas trás maior confiabilidade e qualidade na distribuição de energia, comparado às inspeções visuais.

## Referências

ABREU, A. M.; SOARES, I. M.; SOUZA, S.T.O. Termografia em manutenção preditiva: conceitos e aplicabilidades em máquinas e equipamentos industriais, 2011.

ALMEIDA, MARCIO TADEU. Manutenção preditiva: benefícios e lucratividade, 2008.

BRANCO FILHO, GIL. A Organização, o planejamento e o controle da manutenção. 1º ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - <[www.copel.com](http://www.copel.com)> Acesso em: 01 setembro de 2013.

**ENGELETRICA.** Termografia. Disponível em: <[http://www.engeletrica.com.br/eng\\_termografia.htm](http://www.engeletrica.com.br/eng_termografia.htm)>. Acesso em: 01 setembro 2013.

**FARIA, I. B.** Seleção de um redutor de engrenagem para um agitador e planejamento das ações de manutenção. Disponível em: <[http://run.unl.pt/bitstream/10362/2511/1/Faria\\_2009.pdf](http://run.unl.pt/bitstream/10362/2511/1/Faria_2009.pdf)>. Acesso em: 12 agosto 2013.

**FLIR** – <[www.flir.com](http://www.flir.com)> Acesso em: 01 setembro de 2013.

**ITC - INFRARED TRAINING CENTER.** TERMOGRAFIA – Manual do Curso, 2007.

**MAMEDE FILHO, J.** Manual de Equipamentos Elétricos. Vol 1. 2. ed. Rio de Janeiro, LTC- Livros Técnicos e Científicos, 1994.

**MONTICELLI, A.; GARCIA, A.** Introdução a Sistemas Elétricos de Potência. São Paulo, Editora da Unicamp, 1999.

**SOUZA, VALDIR CARDOSO.** Organização e gerencia da manutenção. 2º ed. Cidade: All Print, 2007.

**ULIR VISION-** <[www.ulirvision.com](http://www.ulirvision.com)> Acesso em: 01 setembro de 2013.