

Implantação do Programa de Manutenção Preditiva de Painéis Elétricos Através da Análise Termométrica

Jorge Nei Brito

UFSJ - Universidade Federal de São João del Rei - Praça Frei Orlando, 170 - S.J. del Rei - MG - 36307-352
brito@ufs.edu.br

Paulo César Monteiro Lamim Filho

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas - Caixa Postal 6051 - Campinas - SP - 13083-970
lamim@fem.unicamp.br

Pedro Alcântara S. Alves

Vitek Consultoria Ltda. - Av. do Contorno, 5351 - Sl. 1506 a 1508 - Belo Horizonte - MG - 30110-100
pedro@vitek.com.br

Resumo: Neste trabalho, apresenta-se a implantação do programa de manutenção preditiva de painéis elétricos através da análise termométrica. Realizou-se o levantamento das bases lines de aproximadamente 500 painéis elétricos, subdivididos em oito unidades. Será apresentado o programa preditivo de uma destas unidades, num total de oitenta e sete painéis elétricos. Também será apresentado a classificação das temperaturas, a definição das rotas para coleta das temperaturas, a identificação das falhas e as ações recomendáveis para correção das irregularidades. Durante a implantação do programa de manutenção preditiva, cujo objetivo principal era o fornecimento da "base line" dos painéis de comando elétrico, vários problemas foram detectados. Estes problemas serão apresentados, mostrando a eficiência da análise termométrica. Com a implantação deste programa foi possível minimizar os custos de manutenção elétrica e maximizar a disponibilidade dos painéis de comando elétrico assistidos, evitando-se falhas prematuras e paradas indesejáveis da produção.

Palavras chaves: Termometria, Manutenção Preditiva, Painéis de Comando Elétrico.

1. Introdução

A planta industrial tem um universo de aproximadamente 500 painéis elétricos, subdivididos em oito unidades. Neste trabalho, será apresentado o Plano de Manutenção Preditiva de Painéis Elétricos" da Unidade I, num total de aproximadamente 87 painéis elétricos, subdivididos em 4 grupos, conforme mostrado na Figura 1.

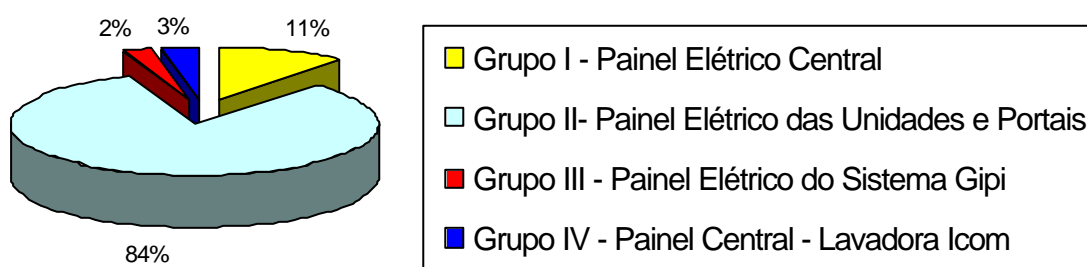


Figura 1 - Distribuição dos painéis elétricos da Unidade A.

Ao se fazer o levantamento de campo destes painéis, observou-se que os mesmos tinham algumas características comuns tais como o tamanho e identificação dos seus componentes. Assim, fez-se a divisão dos mesmos nestes quatro grupos permitindo que o Programa de Manutenção Preditiva seja implantado de uma forma mais simples, principalmente no que se refere à elaboração das rotas para aquisição das temperaturas e análise dos dados coletados.

2. Termometria

A termometria, como a própria palavra nos diz (termo_de calor e_metro de medir, medição), são formas de se medir a temperatura ou o calor gerado pelos corpos. A termometria industrialmente conhecida pode ser dividida em: “convencional” e infravermelha.

A termometria "convencional" utiliza termo elementos, tais como os termopares tipos J, K, R, S, B entre outros. Estes termopares são duas ligas de metais diferentes que com o calor geram uma força eletromotriz e termo resistências que variam a resistência ôhmica com o aumento ou diminuição do calor. A termometria infravermelha usa sensores de temperatura que medem a energia emitida pelo objeto através do espectro eletromagnético infravermelho.

As aplicações, tanto para a termometria convencional como para a infravermelha são ilimitadas. Toda vez que se necessita saber qual a temperatura de um corpo ou que é gerada por ele, será necessário medir através de uma das duas formas.

A termometria convencional é muito utilizada em aplicações onde é necessário imergir o sensor para se conhecer a temperatura (tubos fechados com líquidos, equipamentos fechados, etc.). A termometria infravermelha sempre mede a temperatura superficial do objeto. Em raras exceções, também se mede a temperatura em profundidade (vidro líquido). Ela é muito aplicada onde o sensor não pode ou não deve entrar em contato com o objeto (painéis elétricos energizados, alimentos, plásticos, etc.).

As medições através da termometria foram realizadas com radiômetros. Os radiômetros são sistemas infravermelhos de construção mais simples e preço mais acessível, porém não formam imagens térmicas. Eles medem a temperatura através da radiação infravermelha de uma área definida à frente do aparelho que é dirigida a um detector do tipo termo pilha ou piroelétrico, onde é transformada em sinal elétrico. O valor desta temperatura é apresentado em um display de cristal líquido. Na Figura 2, tem-se um exemplo de medição com o radiômetro.



Figura 2 - Exemplo de medição com radiômetro.

A termometria detecta a energia radiada pelo corpo na faixa infravermelha. Assim, o conhecimento dos conceitos básicos que dizem respeito à emissividade dos corpos térmicos torna-se extremamente importantes e necessários.

Quando a radiação atinge um corpo qualquer, pode ocorrer fenômenos tais como: uma fração "?" da radiação pode ser absorvida; uma fração "?" da radiação pode ser refletida e uma fração "?" da radiação pode ser transmitida. Somando-se os três coeficientes, para um mesmo comprimento de onda, tem-se: $? + ? + ? = 1$. Na Figura 3, tem-se a absorção, reflexão e transmissão da energia incidente em um corpo.

De acordo com a *Lei de Kirchhoff* existe uma igualdade entre a capacidade de um corpo em absorver a energia incidente e sua capacidade de reemitir, em um mesmo comprimento de onda. Chama-se a esta última de "emissividade", a qual pode ser definida como sendo a relação entre a energia irradiada, em um dado comprimento de onda, por um corpo qualquer e um corpo negro à mesma temperatura.

Corpo negro é um objeto que absorve toda a energia radiante que incide sobre ele. Esse corpo possui emissividade igual a "1", e também irradia o máximo de energia possível. Este corpo apresenta refletividade e transparência iguais à zero.

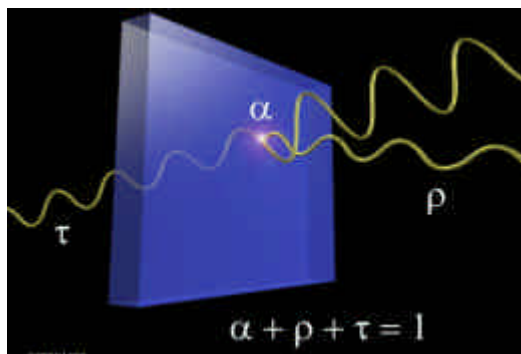


Figura 3 - Absorção, reflexão e transmissão.

3. Limites de temperatura

Uma das variáveis mais importantes na implantação do Programa de Manutenção Preditiva dos painéis elétricos é a Máxima Temperatura Admissível (MTA) de seus componentes, ou seja, a máxima temperatura sob a qual se permite que o componente opere. Seus valores podem ser obtidos a partir das especificações técnicas dos componentes ou junto aos fabricantes. Não sendo possível obter estes valores, recomenda-se a fixação de 90°C como valor de referência para conexões e componentes metálicos e de 70°C para cabos isolados.

Na Tabela 1, tem-se alguns valores para a MTA baseados em normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR 5410, tabelas de fabricantes, referências da IEC (*International Electrical Commission*) e na experiência prática dos autores.

Tabela 1 - Máxima Temperatura Admissível (MTA).

COMPONENTE INDUSTRIAL	MTA (°C)
Condutor encapado (Isolação de Cloreto de Polivinila (PVC))	70
Condutor encapado (Isolação de Borracha Etileno Propileno (EPR))	90
Condutor encapado (Isolação de Polietileno Reticulado (XLPE))	90
Régua de Bornes	70
Conexões Mediante Parafusos	70
Conexões e Barramentos de Baixa Tensão	90
Conexões Recobertas de Prata ou Níquel	90
Fusível (corpo)	100
Transformadores Secos	Ponto Mais Aquecido
Classe de Isolação 105	65
Classe de Isolação 130	90
Classe de Isolação 155	115
Classe de Isolação 180	140

Com o objetivo de introduzir uma variável que indique a importância da falha no contexto do sistema torna-se necessário incluir na classificação do aquecimento o parâmetro de "Críticidade" dos componentes dos painéis elétricos. Essa criticidade pode ser classificada em três classes: **1, 2, e 3.**

☞ **Classe 1:** quando sua falha afeta o fornecimento de energia de toda a unidade e paradas de custo muito elevado.

- ✗ **Classe 2:** quando sua falha causa paradas à produção, porém restritas a uma parte da unidade.
- ✗ **Classe 3:** quando sua falha pode ser facilmente contornada através de manobras ou redundâncias, sem interromper a produção.

Na Tabela 2, tem-se a classificação da criticidade do problema detectado para os painéis dos quatro grupos da Unidade A. O grau de criticidade, quando correlacionado com a classificação do aquecimento dos componentes dos painéis, gera, para os responsáveis pelas decisões de manutenção, uma indicação de "Alto", "Médio" ou "Baixo" Risco ao Sistema Produtivo.

Tabela 2 - Classificação da abrangência do problema detectado.

PAINEL	CRITICIDADE
Grupo 1	1
Grupo 2	2
Grupo 3	2
Grupo 4	1

2.1 Classificação das temperaturas

Inicialmente, fez-se a coleta de cinco temperaturas, em momentos distintos, e posteriormente tirou-se a média das mesmas. A temperatura média será considerada como temperatura de trabalho e servirá como ponto de partida para a classificação dos limites de temperaturas.

Na Tabela 3, tem-se a coleta da temperatura da chave geral, do grupo de disjuntores de alta tensão, trafo de alta tensão e trafo de baixa tensão. Na Tabela 4, tem-se a coleta da temperatura dos contactores, régua de bornes e do grupo de disjuntores de baixa tensão. Para todos os componentes foram coletadas as temperaturas, tanto para o corpo quanto para a conexão, com exceção dos trafos em que foi coletada a temperatura somente no corpo.

Tabela 3 - Temperatura da Chave Geral, Disjuntores de Alta Tensão e Trafo (°C).

Chave Geral		Disjuntores de Alta Tensão		Trafo de Alta	Trafo de Baixa
Corpo	Conexão	Corpo	Conexão	Corpo	Corpo
54	55	44	44	54	50
48	46	41	41	52	52
43	45	44	48	57	51
45	50	45	46	58	56
47	48	42	43	55	54
Média		Média		Média	
47,4	48,8	43,2	44,4	55,2	52,6

Tabela 4 - Temperatura dos Contactores, Régua de Bornes e Disjuntores de Baixa Tensão (°C).

Contactores		Régua de Bornes	Disjuntores de Baixa Tensão	
Corpo	Conexão	Corpo	Corpo	Conexão
53	54	48	48	48
52	55	51	45	46
53	50	47	52	52
49	49	50	50	50
46	47	52	54	54
Média		Média	Média	
50,6	51,0	49,6	49,8	50

4. Ações recomendáveis

Após a identificação da falha estabeleceu-se as ações descritas na Tabela 5, para correção das irregularidades.

Tabela 5 - Ações para correção das irregularidades.

Classificação	Comentários
Rotina	Reparar de conformidade com as datas do plano regular de manutenção. Pequena possibilidade de falha ou danos físicos no componente.
Intermediária	Reparar quando possível. Verifique a possibilidade de danos físicos no componente.
Séria	Reparar o mais rápido possível. Se necessário troque o componente e inspecione os adjacentes a procura de danos físicos. Há possibilidades de falha no componente.
Emergencial	Reparar imediatamente. Troque o componente, inspecione os adjacentes e troque-os se necessário. É grande a possibilidade de falha no componente.

Estas Prioridades de Intervenção devem ser entendidas como *recomendações*, baseadas na temperatura máxima recomendada, temperaturas de referência de componentes semelhantes, e/ou fases do circuito inspecionado. As recomendações servem como guia e pode ser modificadas ou alteradas de conformidade com a criticidade do equipamento, plano de manutenção ou entendimento prático e técnico do pessoal especializado da empresa.

Na Tabela 6, tem-se os critérios de prioridades a serem tomados de acordo com delta de temperatura encontrado na medição.

Tabela 6 - Critérios de Prioridades.

CLASSIFICAÇÃO	Delta de Baixa Tensão	Delta de Alta Tensão	Cabos de Alta Tensão	Conector de Alta Tensão	Isolação Padrão
Rotina	10,0 ?C	10,0 ?C	68,3 ?C	79,5 ?C	43,3 ?C
Intermediária	16,6 ?C	20,0 ?C	76,7 ?C	87,8 ?C	48,9 ?C
Séria	23,3 ?C	30,0 ?C	85,0 ?C	96,1 ?C	54,4 ?C
Emergencial	30,0 ?C	40,0 ?C	98,9 ?C	110,0 ?C	60,0 ?C

Segundo a *Computational Systems Incorporated* - CSI, delta de temperatura refere-se a diferença entre a temperatura máxima corrigida do componente subtraída da temperatura de um componente similar de referência. Temperatura máxima refere-se ao valor absoluto da temperatura máxima corrigida aceitável para o componente. Temperatura Máxima Corrigida é calculada em função da temperatura absoluta medida do componente, tensão nominal, temperatura ambiente e temperatura de *back ground*.

5. Resultados

Como resultado da aplicação da termometria apresenta-se a inspeção realizada na unidade A. Na Figura 4, tem-se uma das falhas encontradas, temperatura de referência. Na Tabela 7, tem-se a descrição do problema.



Figura 4 - Componente Defeituoso.

Tabela 7 - Descrição da Falha Encontrada - CAF 251054356.

Item	Comentário
✂ Localização da Falha	CAF: 2510543561/ Operação - Várias Painel Elétrico Unidade 2921 - Lavadora Enco. Disjuntores IA2, IA3, IA4, IA5 e IA8.
✂ Descrição da Falha ✂ Data/Hora	Conexões Com Perfil Térmico Anormal 09 - Outubro - 2002 às 15:30
✂ Temperaturas	Temp. Medida: 84,8 ?C Temp. de Referência: 47,3 ?C Temp. de Background (Fundo do Painel): 45,0 ?C Temp. Ambiente: 30,0 ?C Delta Temp. (Temp. Med. - Temp. Ref.): 37,5 ?C
✂ Recomendações ✂ Prioridade EMERGENCIAL	Reparar imediatamente. Inspeção os contatos, limpe, repare e reapertar as conexões. Inspeção os disjuntores adjacentes. Solicite Investigação junto à Equipe de Manutenção.

Na Figura 5, tem-se outra falha encontrada, temperatura de referência. Na Tabela 8, tem-se a descrição do problema.



Figura 5 - Componente Defeituoso - CAF 2610253001

Tabela 8 - Descrição da Falha Encontrada - CAF 2610253001.

Item	Comentário	
☞ Localização da Falha	CAF: 2610253001/ Operação – 310 Painel Elétrico UTE 2921 – Sistema de Ventilação Conexões dos Fusíveis 1 e 2 da esquerda para a direita.	
☞ Descrição da Falha ☞ Data/Hora	Conexões Com Perfil Termico Anormal 10 - Outubro - 2002 às 09:30	
☞ Temperaturas	Temp. Medida: Temp. de Referência: Temp. de Background (Fundo do Painel): Temp.Ambiente: Delta Temp. (Temp. Med. – Temp. Ref.):	111,7 ?C 52,9 ?C 40,0 ?C 27,4 ?C 58,8 ?C
☞ Recomendações ☞ Prioridade EMERGENCIAL	Reparar imediatamente. Inspecione os contatos, limpe, repare e reapertar as conexões. Inspecione os componentes adjacentes. Troque o cabo de ligação que sai da conexão do fusível. Solicite Investigação junto à Equipe de Manutenção.	

Na Figura 6, tem-se a falha encontrada, temperatura de referência. Na Tabela 9, tem-se a descrição do problema.



Figura 6 - Componente defeituoso - CAF 971500789.

Tabela 9 - Descrição da falha encontrada - CAF 971500789.

Item	Comentário	
☞ Localização da Falha	CAF: 971500789/ Operação - 20 Painel Elétrico Unidade 2921 - Mandrilhadora Grob Caixa Transformador número 1097006 - TC 3001	
☞ Descrição da Falha ☞ Data/Hora	Corpo Com Perfil Termico Anormal 03 - Outubro - 2002 às 16:30	
☞ Temperaturas	Temp. Medida: Temp. de Referência: Temp. de Background (Fundo do Painel): Temp.Ambiente: Delta Temp. (Temp. Med. - Temp. Ref.):	60,6 ?C 45,7 ?C 40,0 ?C 28,0 ?C 14,9 ?C
☞ Recomendações ☞ Prioridade ROTINA	Verificar a causa do aquecimento desigual nas bobinas do transformador. Solicite Investigação junto à Equipe de Manutenção.	

Finalmente, na Figura 7, tem-se um exemplo de uma conexão em que não foram feitos os devidos apertos.

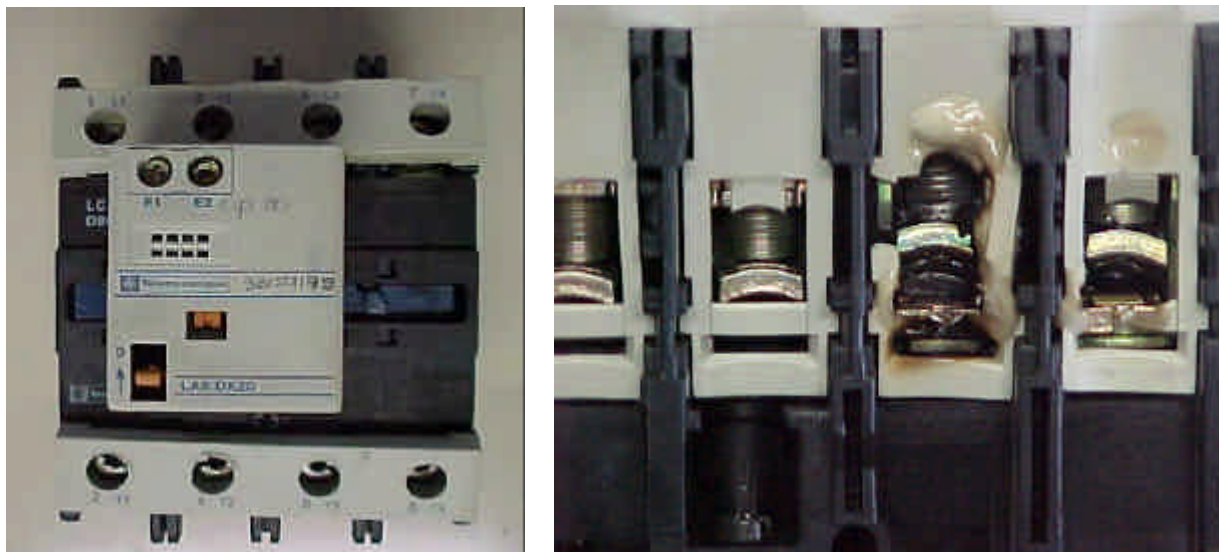


Figura 7 - Exemplo de conexões imperfeitas.

5. Conclusões

Pode-se constatar, a partir dos resultados apresentados, que a aplicação da Termometria apresentou resultados satisfatórios e alta confiabilidade em sua utilização, podendo-se atingir o diagnóstico do componente elétrico defeituoso. É importante destacar a importância da capacitação dos termometristas e da equipe de manutenção responsável pelas correções das anomalias.

6. Bibliografia

- Grinzato E., 1997, **Stato dell' Arte sulle tecniche termografiche per il controllo non distruttivo e principali applicazioni**. Conferenza Nazionale PND-MD [Padua, Italy, September 1997], Vol. 1. Brescia, Italy: Associazione Italiana Prove non Distruttive [Italian Society for NonDestructive Testing].
- Lamim Filho, P. C. M., Brito, J. N., Baccharini, L. M. R., Álvares, P. A. S. e Braga, L., 2000, **Plano de manutenção preditiva para o maquinário da planta unidade Motor Fire**, Seminário de Confiabilidade, Tecém - Tecnologia Empresarial Ltda., pp. 1-10.
- Lamim Filho, P. C. M., 2001, **Programa de manutenção preditiva da planta unidade Motor Fire Unidade 7514**, Relatório de Estágio Supervisionado, UFSJ, 110p.
- Lisbôa, F., 2003, **Termômetros infravermelhos sem contato expandem seu uso na indústria**. Copyright 2003, Raytek do Brasil, uma subsidiária da Raytek Corporation.
- NBR 5410, 1997, **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**, Novembro 1997.
- Rosina, E. and E. Grinzato, 2001, **Infrared and Thermal Testing for Conservation of Historic Buildings**. Materials Evaluation. Vol. 59, No. 8. Columbus, OH USA: American Society for Nondestructive Testing Journal.
- Santos, W. F., 2003, **Termometria infravermelha (Parte I): avanços tecnológicos expandem as aplicações dos pirômetros infravermelhos na indústria siderúrgica**. Copyright 2003, Departamento de Engenharia de Aplicações da Raytek do Brasil, uma subsidiária da Raytek Corporation.
- Santos, W. F., 2003, **Termometria infravermelha (Parte II): avanços tecnológicos expandem as aplicações dos pirômetros infravermelhos na indústria siderúrgica**. Copyright 2003, Departamento de Engenharia de Aplicações da Raytek do Brasil, uma subsidiária da Raytek Corporation.
- Veratti, A. B., 1992, **Termografia: princípios, aplicações e qualidade**. Copyright 1992, ICON Tecnologia e Serviços Ltda.
- Veratti, A. B., 2003, **Termômetros infravermelhos portáteis: ontem, hoje e amanhã**. Copyright 2003, ICON Tecnologia e Serviços Ltda.
- Verdini, E. e Veratti, A. B., 2000, **Termografia Aplicada em Produção de Petróleo**, Revista Eletricidade Moderna, N^o 316, Julho 2000.