

## **INTERVENÇÃO EM SUBESTAÇÃO DE ALTA TENSÃO (88kV) COM DESLIGAMENTO DE TRECHO EM LINHA VIVA SEM PARADA DO SISTEMA DE SANEAMENTO**

### **Etelmir Arraez Lopes Junior**

Iniciou a carreira com manutenção como eletricista em instalações industriais, seguiu como técnico em automação em equipamentos industriais, especializou-se em equipamentos médicos e atuou serviço técnico em equipamentos de hemodiálise e tratamento de água em hospital referência, como instrutor formou centenas de eletricistas e técnicos em eletroeletrônica, teve experiências com logística e comércio, é engenheiro de manutenção preditiva na Sabesp, pós-graduado em administração e cursa pós-graduação em gestão ambiental.

**Endereço:** Rua José Rafaeli, 284, MME - Socorro - São Paulo – SP – CEP 04763-280 Telefone: +55(11) 5683-3000 – e-mail: [earraez@sabesp.com.br](mailto:earraez@sabesp.com.br)

### **RESUMO**

A subestação elétrica que fornece energia na tensão de 88kV, para as Estações Elevatórias de Água Bruta Guarapiranga e Tratada Socorro, vinha apresentando, em diversas inspeções termográficas realizadas, pontos de aquecimentos nas chaves seccionadoras, porém sua parada para manutenção foi sendo adiada, isso deveu-se principalmente as particularidades das ligações elétricas dos transformadores e das dificuldades de uma parada programada, dada a importância do sistema Guarapiranga para o abastecimento da cidade.

Com a chegada da copa do mundo, demandou-se maior atenção para a manutenção da disponibilidade da infraestrutura da cidade no período do evento, aumentando assim a pressão para intervenção, porém, à medida que o sistema Cantareira recuava, outros sistemas, principalmente o Guarapiranga, avançava no abastecimento de água conforme as chuvas foram minguando, aumentando ainda mais essa pressão.

Sem alternativas para realizar uma parada com a subestação desenergizada, optou-se por realizar o serviço mantendo o fornecimento de energia para as estações elevatórias, porém nos trechos defeituosos, as intervenções deveriam ser desligadas em linha viva, ou seja, a desconexão seria feita por empresa especializada em desligar o circuito energizado, tornando então disponível o trecho para que as equipes pudessem reparar.

Com a intervenção, foi possível medir a condição das chaves, estimando a evolução do defeito e com isso, apurar as perdas físicas e financeiras e confrontar os tempos e custos do serviço com a importância da estação para o abastecimento de água e para o faturamento da companhia.

**PALAVRA-CHAVE:** manutenção em subestação energizada, manutenção sem interrupção de energia, manutenção com linha viva.

### **INTRODUÇÃO**

Saneamento e energia são complementares, sem a eletricidade não há como mover as máquinas, que bombeiam a água. Estima-se que 90% do uso da eletricidade no saneamento sejam para bombeamento e configura a terceira maior despesa das empresas.

Manter as instalações elétricas em bom estado de funcionamento é de vital importância para que o abastecimento de água seja disponível e confiável.

O sistema Guarapiranga, que com o recuo do sistema Cantareira, foi avançando e tomando importância no contexto da região metropolitana, tem seu processo iniciado na Estação Elevatória de Água de mesmo nome, cujo fornecimento de energia é por meio de uma subestação de alta tensão de 88kV.

Ao longo dos últimos seis anos, não foi possível realizar paradas programadas na subestação para manutenção e ao longo das últimas inspeções de termografia, foram encontrados pontos de aquecimentos que se tornaram recorrentes.

Com a chegada da Copa do Mundo da FIFA, a concessionária de energia, sugeriu que fossem feitas manutenções nos sistemas de energia para evitar faltas ao longo do evento. Com essa iniciativa, surgiu a necessidade de intervir na subestação para sanar os pontos de aquecimentos, porém a possibilidade de parada era inexistente.

A saída encontrada foi realizar a intervenção sem a interrupção do fornecimento de energia, por meio de desligamento dos trechos a serem reparados, com a linha energizada, ou seja, desligamento em linha viva. Como a tensão de trabalho da subestação é de 88kV, foi preciso contratar um serviço especializado para desligar o trecho e reparar os pontos de aquecimento.

Depois de procurar no mercado e fazer diversos orçamentos, a empresa que melhor apresentou a proposta foi a CPFL Serviços, cuja especialidade é manter as instalações da própria CPFL energia e demais clientes que venham a contratar seus serviços.

Nos dias 20/01/2015 e 22/02/2015 foram feitos os reparos nas chaves seccionadoras da subestação, cujos pólos apresentavam pontos quentes.

Esse trabalho visa apresentar os resultados do trabalho executado, seus custos, e compará-los com os valores das perdas de físicas e financeiras dos defeitos existentes, bem como comparar com a importância da confiabilidade e disponibilidade da subestação para o abastecimento de água.

## OBJETIVO

Apresentar o contexto da intervenção na subestação com desligamento em “linha viva”, bem como o resultado das medições antes e depois da intervenção e comparar com os custos das perdas e a importância da estação no abastecimento de água e no faturamento da companhia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais em estudo serão as chaves seccionadoras da subestação e o uso da energia, bem como suas perdas físicas e financeiras, levando em conta a operação pela linha 1 e linha 2. Na figura 1, tem-se um diagrama simplificado da subestação de energia.

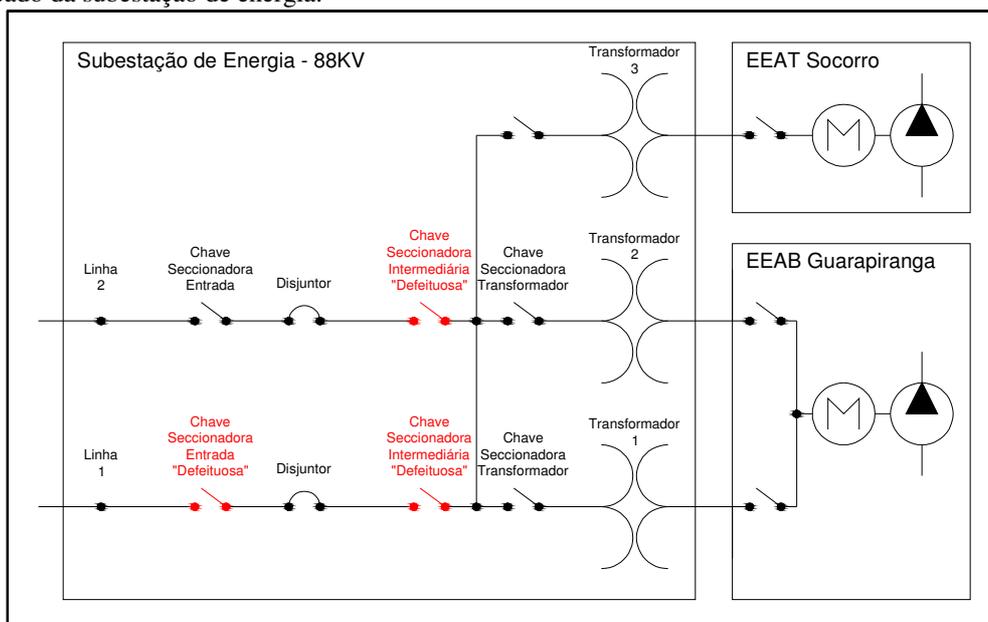
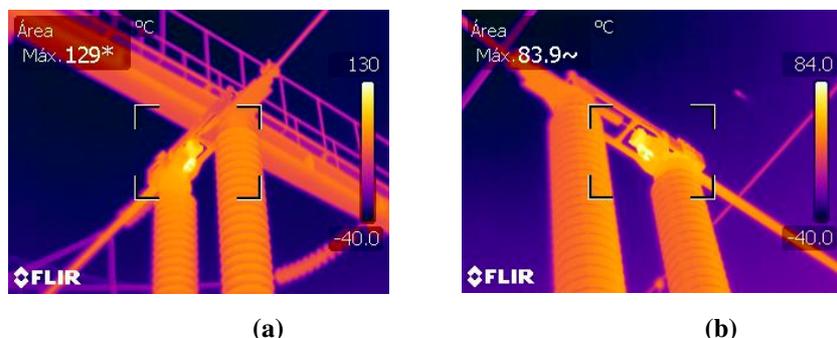


Figura 1: Diagrama simplificado da subestação

Os elementos em vermelho, representam as chaves seccionadoras que apresentavam aquecimentos, que foram encontrados por meio das inspeções preditivas de termografias. Inspeções essas que são realizadas a cada 4 meses, de fato, esses aquecimentos eram recorrentes.

As inspeções termográficas, que detectaram os pontos de aquecimento, são realizadas com uma câmera que captura a energia térmica emitida na forma de onda infravermelhas e as convertem em imagem térmica que podem ser visualizadas. Nas figuras 2 e 3, tem-se os termogramas das chaves seccionadoras da linha 1.



**Figura 2: Termografias das chaves da linha 1 – a: entrada e b: intermediária**

Pela imagem, nota-se os pontos de aquecimento que estão muito acima dos 40°C que é o limite de emissão térmica desse elemento, estando a operar em plena carga, ou seja, com a máxima corrente fluindo pelo elemento.

No caso em questão, as chaves suportam 1200A, porém usa-se apenas 10% de sua capacidade, em torno de 120A.

Esse baixo valor de corrente e aquecimento elevado, indicam que a chave apresenta defeito de condução elétrica.

As perdas de energia nesse ponto estão muito acima do aceitável.

Devido a existência da derivação da ligação do transformador 3, conforme figura 1, transformador esse que alimenta a estação elevatória de água tratada (EEAT) Socorro, não era possível trabalhar nos trechos das chaves intermediárias sem a parada do bombeamento de água, no caso da chave seccionadora de entrada, era preciso o desligamento pela concessionária de energia. A única opção encontrada, depois de diversas reuniões para tentar resolver o problema, foi o desligamento em linha viva, mantendo, assim, a energia para bombeamento da água. Foi então contratada a empresa CPFL, para realizar o serviço, que pode ser visualizado nas imagens abaixo da figura 3.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 3: Desligamento em linha viva: a: andaime instalado sobre um dos pontos, b: desligamento do ponto, c: medindo a resistência da chave e d: intervenção nos contatos**

## RESULTADOS

Com a parada, foi possível medir a resistência das chaves e dessa forma estimar as perdas físicas e financeiras e compara-las com os custos do serviço e com o adiamento da intervenção. Na tabela 1, tem-se os valores medidos antes e depois da intervenção.

Linha	Chave	Polo	Valor Admissível	Medido Antes[ $\mu\Omega$ ]	Medido Depois[ $\mu\Omega$ ]
1	Entrada	Vermelho	$\leq 200\mu\Omega$	1940	200
		Azul		1680	168
		Branco		2190	199
	Intermediária	Vermelho		16880	198
		Azul		24280	185
		Branco		1490	195
2	Intermediária	Vermelho		8000	133
		Azul		7000	153
		Branco		10000	127

**Tabela 1: Medições de resistências das chaves**

Com base nos valores medidos e com as datas das últimas intervenções, pode-se de forma teórica, estimar as perdas ao longo dos anos. Nas documentações encontradas, a última intervenção foi realizada no ano de 2008. Leva-se em conta que os 6 anos seguintes nada foi feito, sendo então resolvido agora no início de 2015.

Para calcular as perdas físicas ao longo do período em que as chaves ficaram sem intervenção, adotar-se-á a linearização, conforme equação 1, conhecida como equação da reta. Com os valores das medições de seis anos após a última intervenção, ter-se-á a equação de cada polo conforme tabela 2.

$$y = ax + b$$

Equação (1)

Linha	Chave	Polo	Equação da evolução da resistência
1	Entrada	Vermelho	$R(t) = 290 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$
		Azul	$R(t) = 247 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$
		Branco	$R(t) = 332 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$
	Intermediária	Vermelho	$R(t) = 2780 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$
		Azul	$R(t) = 4013 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$
		Branco	$R(t) = 215 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$
2	Intermediária	Vermelho	$R(t) = 1300 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$
		Azul	$R(t) = 1133 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$
		Branco	$R(t) = 1633 \cdot 10^{-6} t + 200 \cdot 10^{-6}$

**Tabela 2: equações dos polos das chaves**

Calculando o valor da resistência a cada ano, e com base na equação da lei de joule (equação 2), calcularemos as perdas anual e depois a perda acumulada no período. Adotou-se a corrente de 120A, e uma taxa de operação para cada linha de 0,5 ao ano.

$$P = I^2 * R \tag{Equação (2)}$$

Onde:

- P: Potência em Watts;
- I: corrente em amperes;
- R: resistência em ohms;

Na equação da energia consumida no ano, adotou-se uma operação da subestação de 1460 horas por ano, sendo que cada linha, operou por um período adotado de ½ ano (730 horas), conforme equação 2.

$$E = P * T \tag{Equação (3)}$$

Onde:

- E: energia em J;
- P: potência em W;
- T: período em horas;

Para efeito de exemplo de cálculo, usar-se-á a equação da evolução da resistência do polo azul da chave intermediária da linha 1, no terceiro ano de evolução, conforme tabela 2, substituindo R na equação 2, porém será excluído o valor mínimo da resistência da chave (200μΩ) já que esse valor é o admissível, considerando-se apenas o acréscimo marginal da resistência, suas perdas físicas e financeiras, tem-se então:

$$P(t) = I^2 * (4013 \cdot 10^{-6} \cdot t + 200 \cdot 10^{-6})$$

$$P(3) = I^2 * (4013 \cdot 10^{-6} \cdot 3)$$

$$P(3) = I^2 * (12039 \cdot 10^{-6})$$

Adotando a corrente média medida, cujo valor foi de 120A, tem-se que a potência da chave no 3º ano:

$$P(3) = 120^2 * 12039 \cdot 10^{-6} = 173,36W$$

Para cálculo da energia dissipada na operação dessa chave em meio ano, tem-se usando a equação 3:

$$E(3) = P * \text{período} = 173,36W * 182 \text{dias}$$

Como 1W=1J/s e 182 dias equivalem a 15724800 segundos, obtém-se a seguinte energia dissipada pelo polo ao longo do 3º ano na operação da subestação:

$$E(3) = 173,36 \frac{J}{s} * 15724800s = 2771338752J$$

Sabendo-se que 1kWh equivale a 3,6MJ, obtém-se em KWh a seguinte energia dissipada pelo polo da chave no 3º ano, ou também conhecido como perda física:

$$E(3)_{kWh} = \frac{2726076488J}{3600000J} kWh \approx 757kWh$$

Adotando o valor médio de R\$ 0,07/kWh, obtém-se a perda financeira no 3º ano no polo em questão de abaixo:

$$Custo(3)_{R\$} = 757kWh \cdot 0,070 \frac{R\$}{kWh} \approx R\$52,99$$

Usando a mesma metodologia de cálculo, anterior, calculou-se a perda energética em cada polo de cada chave, ano a ano, ao longo de 6 anos. Na tabela 3, logo abaixo, cabe salientar que a perda no período zero (t=0), é considerada a perda admissível, já que reduzir a resistência do polo da chave abaixo de 200μΩ é praticamente bem difícil.

Linha	Chave	Polo	Período em anos						
			0	1	2	3	4	5	6
1	Entrada	Vermelho	13	31	49	67	86	104	122
		Azul	13	28	44	59	75	91	106
		Branco	13	34	54	75	96	117	138
	Intermediária	Vermelho	13	188	363	539	714	889	1.065

		Azul	13	266	519	772	1.025	1.278	1.531
		Branco	13	26	40	53	67	80	94
2	Intermediária	Vermelho	13	95	177	259	341	423	505
		Azul	13	84	156	227	298	370	441
		Branco	13	116	219	322	425	528	631

**Tabela 3: perda física de energia em kWh em cada polo por ano**

Na tabela abaixo (4), obtém-se as perdas físicas em kWh, note, que operando as duas linhas ao longo do ano, metade do tempo cada uma ter-se-á a perda total no período de 16613kWh, descontando a perda admissível, o valor da perda adicional pela não intervenção será de 15815kWh.

Perdas	Linha	Período em anos							Total
		0	1	2	3	4	5	6	
Física [kWh]	1	76	573	1.069	1.566	2.063	2.560	3.057	10.963
	2	38	294	551	807	1.064	1.320	1.577	5.650
Subtotal [kWh]	Subestação	114	867	1.620	2.373	3.127	3.880	4.633	<b>16.613</b>

**Tabela 4: Perdas de energia em kWh**

Do ponto de vista financeiro, com o custo do kWh em torno de R\$0,07, obtém as seguintes perdas financeiras, conforme tabela 5, abaixo, o valor total foi de R\$ 1162,93 no período, já o valor com desconto da perda admissível é de R\$ 1107,31.

Perdas	Linha	Período em anos							Total
		0	1	2	3	4	5	6	
Financeiras [R\$]	1	5,30	40,08	74,85	109,63	144,41	179,18	213,96	767,41
	2	2,65	20,60	38,55	56,50	74,46	92,41	110,36	395,53
Subtotal [R\$]	Subestação	7,95	60,68	113,40	166,13	218,86	271,59	324,32	<b>R\$ 1.162,93</b>

**Tabela 5: perdas financeiras em R\$**

Ao compararmos as perdas físicas com o consumo da energia é possível verificar os dados conforme a tabela abaixo (6), no pior caso a perda chega a 3,3 milésimos de percentual:

Perdas físicas x consumo	Período em anos							Total
	0	1	2	3	4	5	6	
Perdas Físicas [kWh]	114	867	1620	2373	3127	3880	4633	16.613
Consumo Anual [kwh]	140.915.465	140.915.465	140.915.465	140.915.465	140.915.465	140.915.465	140.915.465	986.408.255
% das perdas/consumo	0,0001%	0,0006%	0,0011%	0,0017%	0,0022%	0,0028%	0,0033%	0,0017%

**Tabela 6: percentual de perda x consumo de energia**

Na tabela 7, pode-se observar o percentual de perda financeira com base do custo da energia para o bombeamento, nesse caso a pior situação foi próxima as perdas físicas, em torno de 3,2 milésimos de percentual.

Perdas financeiras x consumo	Período em anos							Total
	0	1	2	3	4	5	6	
Perdas Físicas [R\$]	8	61	113	166	219	272	324	1.163
Consumo Anual [R\$]	10.222.136	10.222.136	10.222.136	10.222.136	10.222.136	10.222.136	10.222.136	71.554.952
% das perdas/consumo	0,0001%	0,0006%	0,0011%	0,0016%	0,0021%	0,0027%	0,0032%	0,0016%

**Tabela 7: perdas financeiras x gastos**

Saindo da abordagem da perda física e financeira dos defeitos, mas observando-se a posição do atendimento à população e ao faturamento global, nota-se uma valorização diferente quanto a uma parada em potencial. Salienta-se nas demonstrações a seguir, adotou valores aproximados e arredondados, para facilitar o

entendimento, porém compreensão mais profunda, recomenda-se ampliar e aprofundar os estudos e informações.

No período de um ano, estima-se, com valores aproximados e, com prudência contábil, que a subestação, fornece energia para bombeamento de 500 milhões de m<sup>3</sup> de água bruta, adotando uma perda de 20% (100 milhões de m<sup>3</sup>), ter-se-á um potencial de 400 milhões de m<sup>3</sup> para o abastecimento.

Adotando um valor de R\$ 3,98/m<sup>3</sup>, tem-se que o potencial de faturamento bruto seja de R\$ 1.592.800,00. Com um custo anual da energia na estação em torno de R\$ 11.600.000, tem-se que o percentual do valor da conta de energia no faturamento bruto que essa estação encabeça é da 0,69%.

Nos estudos da parada, foram abordadas duas situações, a primeira seria a parada para realização de serviço com mão-de-obra própria, porém com parada completa da subestação, a segunda com mão de obra-de-obra especializada em desligamento com linha viva sem necessidade de parada para desligamento completo.

Situação	Desligamento	Desligamento para preparação	Desligamento para manutenção [h]	Total em horas [h]	Perda Faturamento
Mão-de-obra própria	Desligamento total	3 horas	20	23	R\$ 4.182.009,00
Mão-de-obra especializada	Sem desligamento	3 horas	0	3	R\$ 545.479,00

**Tabela 8: comparação da perda de faturamento com dois tipos de parada**

Consideraremos os custos com o serviço de manutenção, com a empresa contratada, em torno de R\$ 27.000,00 (vinte e sete mil reais), adicionaremos a mesma quantia inserindo os custos com mão de obra própria para a viabilização do serviço (apoio), ou seja, um total de R\$ 54.000,00. Aparentemente parece um valor elevado, mas no contexto da estação, para a finalidade final que é o saneamento, esse valor comparado ao valor que a companhia deixou de faturar com o bombeamento, caso parasse por mais tempo. Conforme a tabela 8, o valor que foi evitado de faturar foi de R\$ 3.636.530,00, cujo percentual do custo do serviço sobre esse valor foi de apenas 1,48%.

## CONCLUSÃO

A conclusão que se chega é que os serviços de manutenção, se fosse considerado apenas os parâmetros das perdas físicas e financeiras de energia, não seriam viáveis, porém ao avaliar o faturamento final da prestação de serviço com o tratamento de água, a manutenção ganha valor, pois seu papel é manter a confiabilidade de disponibilidade da infraestrutura e dos equipamentos, com isso seu custo torna-se praticamente baixíssimo em contrapartida ao ganho que deixaria de ser realizado com a parada total da subestação e em caso de possíveis falha das instalações e equipamentos.

## RECOMENDAÇÕES

Como recomendação para as próximas intervenções, sugere-se que sejam trocados os contatos, por novos ou recondicionados, realizando a compra anteriormente, assim garante uma maior longevidade na estação e melhora a qualidade final da intervenção.

Quanto aos custos, também há necessidade de aprimorar as estimativas de valores, que nesse caso, as aproximações foram mais para efeito comparativo.

Cabe também estudar essa possibilidade em outros casos da empresa, sempre levando em conta a disponibilidade do abastecimento e o potencial de faturamento com paradas sem desligamento total.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bartkowiak, Robert A. Circuitos Elétricos, 2ª edição revisada, pg 49, São Paulo: Makron Books, 1999.
2. Nery, Roberto, Instalações elétricas: princípios e aplicações / Norberto Nery, pg 39, 2ª edição, São Paulo: Érica, 2012.
3. Barros, Benjamim Ferreira de – Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado de energia elétrica, pg 38, 1ª edição, São Paulo: Érica, 2010.
4. Goldemberg, José; Lucon,Oswaldo, Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento, Pg 29 a 55, 3 ed- São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2102.