



# Vida Útil Regulatória x Vida Útil

**Adriana de Castro Passos Martins**  
**CEMIG GT**  
**CE D1 Cigré Brasil**

**GTM – GSE – GMI**



## ❖ Ciclo de Vida

## ❖ Fase Manutenção

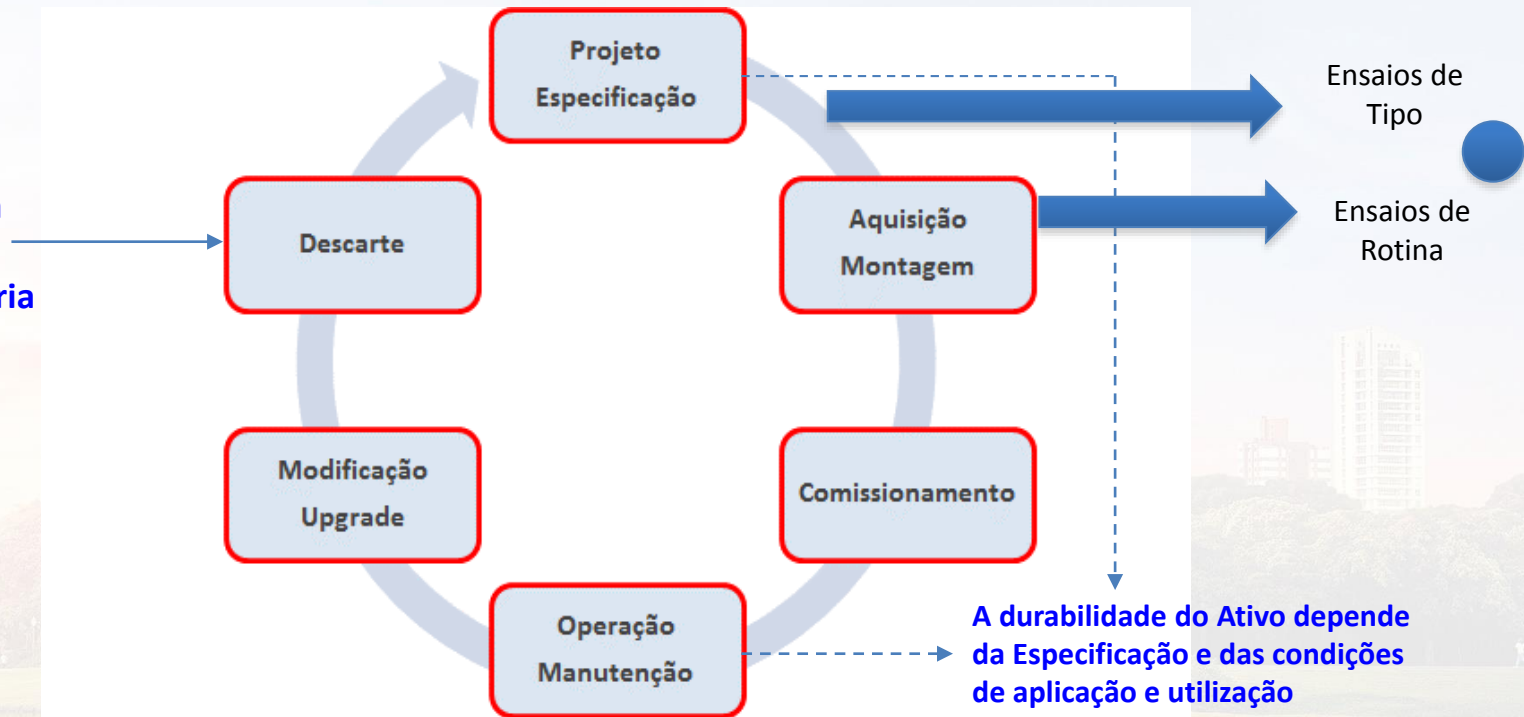
## ❖ Manutenção Preditiva, Monitoramento

## ❖ Ativo Transformador

## ❖ Ações de Manutenção

## ❖ Ciclo de Vida

## ❖ Gestão de Riscos



Gestão de Ativos → Planejar e realizar o ciclo de vida dos ativos.

Tipo de Tensão de Ensaio	Grandeza	Incerteza (%)	
		SMR	SMA
Tensão Contínua (CC)	Valor médio	1	3
Tensão Alternada (CA)	Valor de Pico/ $\sqrt{2}$	1	3
Impulso atmosférico de tensão pleno ou cortado na cauda	Tensão de ensaio ( $U_1$ )	1	3
	Tempo de frente ( $T_1$ )	5	10
	Tempo até o meio valor ( $T_2$ )	5	10
	Tempo de corte ( $T_c$ )	5	10
Impulso atmosférico de tensão cortado na frente	Tensão de ensaio ( $U_1$ )	3	5
	Tempo de corte ( $T_c$ )	5	10
Impulso de manobra	Tensão de ensaio ( $U_1$ )	1	3
	Tempo até o pico ( $T_p$ )	5	10
	Tempo até o meio valor ( $T_2$ )	5	10
Impulso de corrente (exponencial e retangular)	Valor de pico	-	3
	Parâmetros de tempo	-	10

Para os SMR.T: incerteza  $\leq$  a metade da incerteza do SMR mostrada na tabela acima.



Referência: Curso CE D1:  
Técnicas de Medição em  
Ensaio de Alta Tensão  
(MEAT)  
*Orsino Borges de Oliveira  
Filho*





## Vida Útil Regulatória

De acordo com o MCPSE\*1 → *Independente da aplicação e das condições de utilização.*

### *Condições da aplicação*



- Menos severas – ex.: **Linhas de Transmissão** e Transformadores.
- Alta performance – ex.: Reatores, Banco de Capacitores, Motores Síncronos e Geradores.

## Vida Útil Técnica – Vida Útil



De acordo norma NBR 5462\*2, sob dadas condições, Vida Útil Técnica é o intervalo de tempo desde o instante em que um item/equipamento é colocado pela primeira vez em estado de disponibilidade, até o instante em que a intensidade de falha torna-se inaceitável ou até que o item seja considerado irrecuperável depois de uma falha.

\*1 - Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico – MCPSE (ANEEL ).

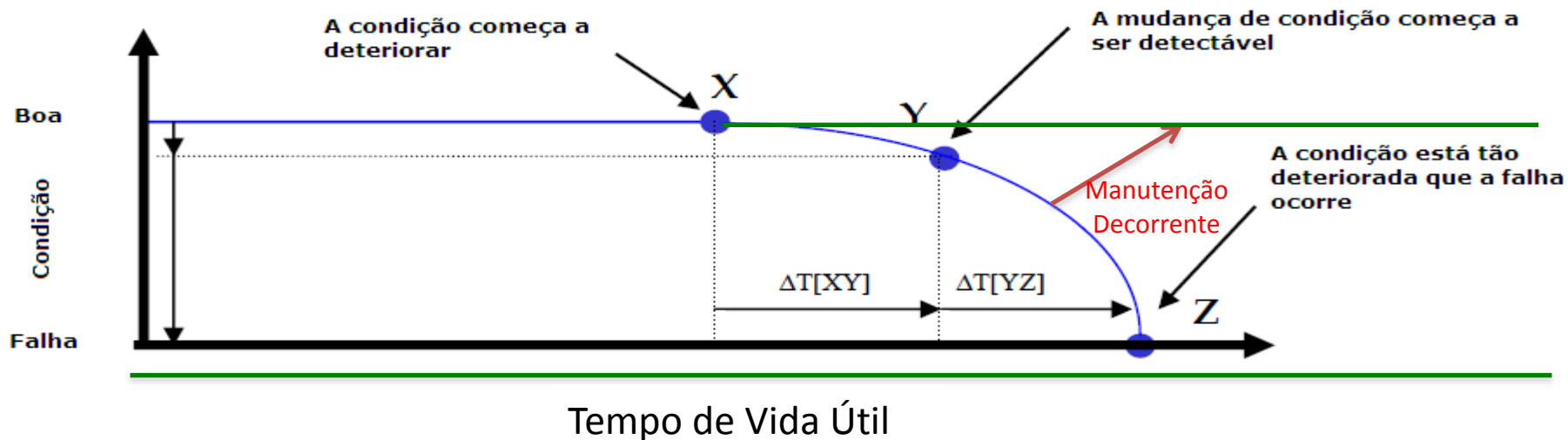
\*2 - NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade.



- Fase Manutenção:
  - Manutenções Preventivas Sistemáticas;
  - Manutenções Preditivas Sistemáticas ou Monitoramento de Condição:
    - Manutenções Decorrentes das Preditivas Sistemáticas ou de Monitoramento: *Manutenções Preventivas Não Sistemáticas.*

## Preditiva Sistemática / Monitoramento

- A implantação de técnicas e planos de monitoramento preditivos pressupõe que é esperado detectar-se, ao longo da vida operativa dos equipamentos, defeitos incipientes que possam passar por preventivas não sistemáticas: decorrentes.



Adaptado de: Cigré Technical Brochure 445: Guide for Transformer Maintenance - Working Group A2.34. 2011



- Planos de Manutenção/ Monitoramento Preditivo – Condição do Equipamento
  - Diagnóstico baseado na série histórica de monitoramento, especificidades de projeto, operação e histórico de manutenção;
  - Escolha do conjunto de ensaios realizado com a melhor relação custo x benefício;
  - Detecção precoce fundamental.

## Levantamento de Grandezas Conforme Recomendações Cigré A2.23 e A2.27

Equipamento	Parte do Equipamento	Grandeza	Unidade	Finalidade	Aplicação	Sistema Origem dos Dados	Linguagem	Protocolo de Comunicação
	Comutador (CDC)	Gases Dissolvidos - Diagnóstico	–	Condição da CDC	Comutadores volume de óleo >150L	SMO	Base de Dados SQL	
	Comutador (CDC)	Gases Dissolvidos - Recomendação	–	Condição da CDC	Comutadores volume de óleo >150L	SMO	Base de Dados SQL	
	Comutador (CDC)	Físico-Químico Óleo - Diagnóstico	–	Condição da CDC	Comutadores volume de óleo >150L	SMO	Base de Dados SQL	
	Comutador (CDC)	Físico-Químico Óleo- Recomendação	–	Condição da CDC	Comutadores volume de óleo >150L	SMO	Base de Dados SQL	
	Tanque Principal	Temperatura Enrolamento Primário - Medição Direta	°C	Temperatura do Enrolamento Primário	Tanque principal	xyz		
Trafos ou Autotrafos trifásicos com CDC	Tanque Principal	Temperatura Enrolamento Secundário - Medição Direta	°C	Temperatura do Enrolamento Secundário	Tanque principal	xyz		
	Tanque Principal	Temperatura Enrolamento Terciário - Medição Direta	°C	Temperatura do Enrolamento Terciário	Tanque principal	xyz		
	Tanque Principal	Temperatura do Núcleo - Medição Direta	°C	Temperatura do Núcleo	Tanque principal	xyz		
	Tanque Principal	Temperatura do Óleo - Hot Spot	°C	Temperatura do Óleo - Topo	Tanque principal	SAGE		
	Tanque Principal	Temperatura de Formação de Bolha	°C		Tanque principal	Calculada		
	Tanque Principal	Temperatura de Formação de Água Livre	°C		Tanque principal	Calculada		
	Tanque Principal	Gases Dissolvidos - Diagnóstico	–	Condição da parte ativa	Condição da parte ativa	SMO		
	Tanque Principal	Gases Dissolvidos - Sensor on-line	ppm	Condição da parte ativa	Condição da parte ativa	xyz		
	Tanque Principal	Gases Dissolvidos - Recomendação	–	Condição da parte ativa	Transformadores em geral	SMO		
	Tanque Principal	Físico-Químico Óleo - Diagnóstico	–	Condição da parte ativa	Transformadores em geral	SMO		
	Tanque Principal	Físico-Químico Óleo- Recomendação	–	Condição da parte ativa	Transformadores em geral	SMO		
	Tanque Principal	Teor de umidade no óleo	ppmH2O	Algoritmo de umidade na isolação sólida	Algoritmo de umidade na isolação sólida	SMO		

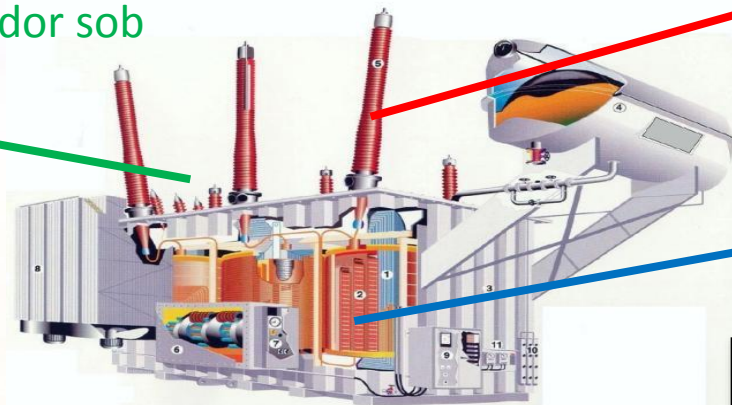
- Monitoramento 'on-line' x 'off-line';
- Falsos alarmes – formação dos especialistas;
- Problemas com sensores, fiação e softwares;
- Sensores tornando-se 'itens de manutenção'.

# Monitoramento de Transformadores

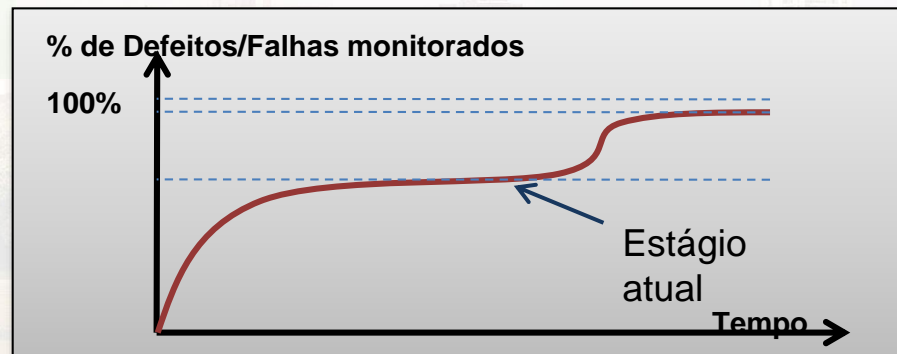
Comutador sob  
Carga

Buchas

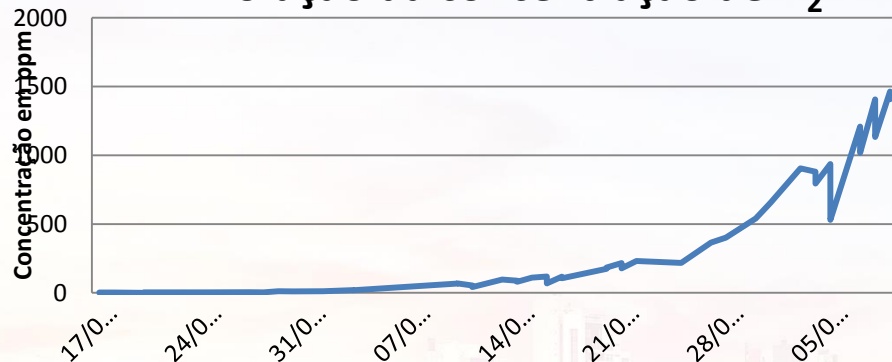
Parte ativa



Análise Cromatográfica de Gases  
Dissolvidos  
Análise Físico-Química do Óleo



## Evolução da concentração de $H_2$



Manutenções Decorrentes



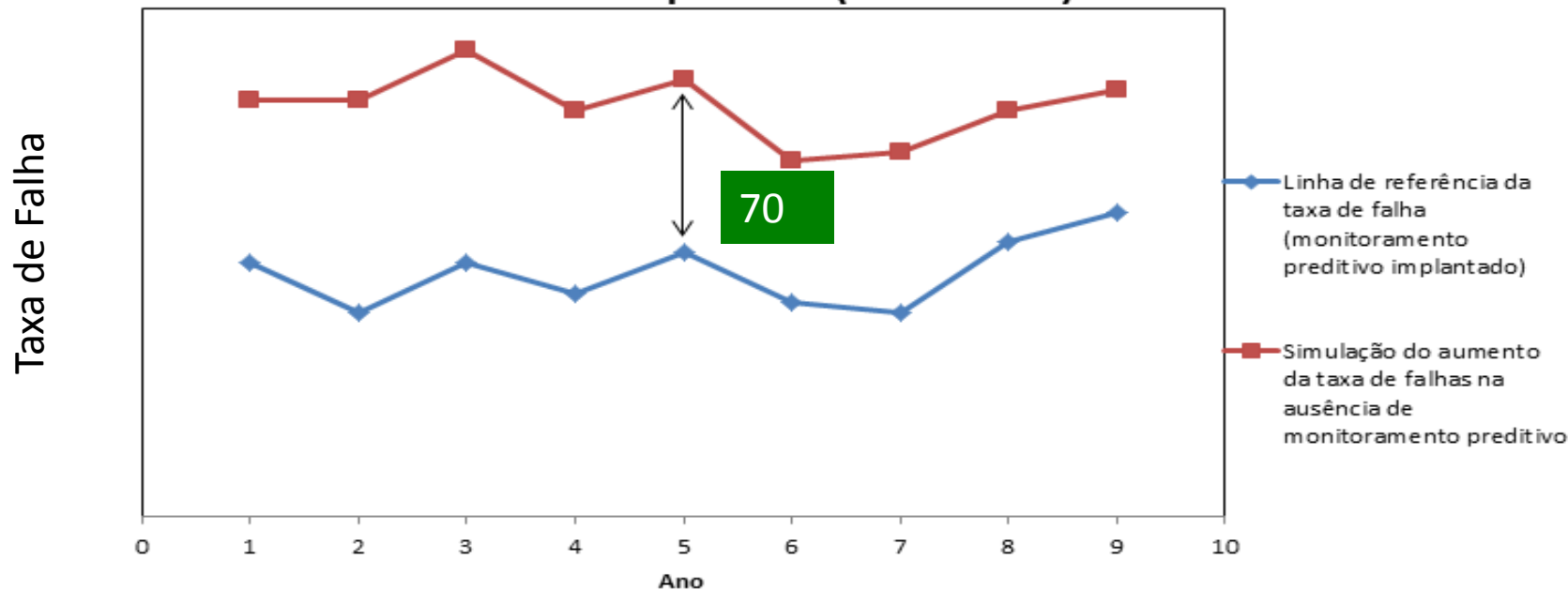
- 1) Ação Preditiva/Preventiva: detecção de anomalia por análise cromatográfica de gases dissolvidos.
- 2) Ação Decorrente: inspeção interna, identificação do problema e reparo em campo, com retorno de transformador e adiamento do reinvestimento.
- 3) Transformador em operação desde 2012.



# Monitoramento de Transformadores

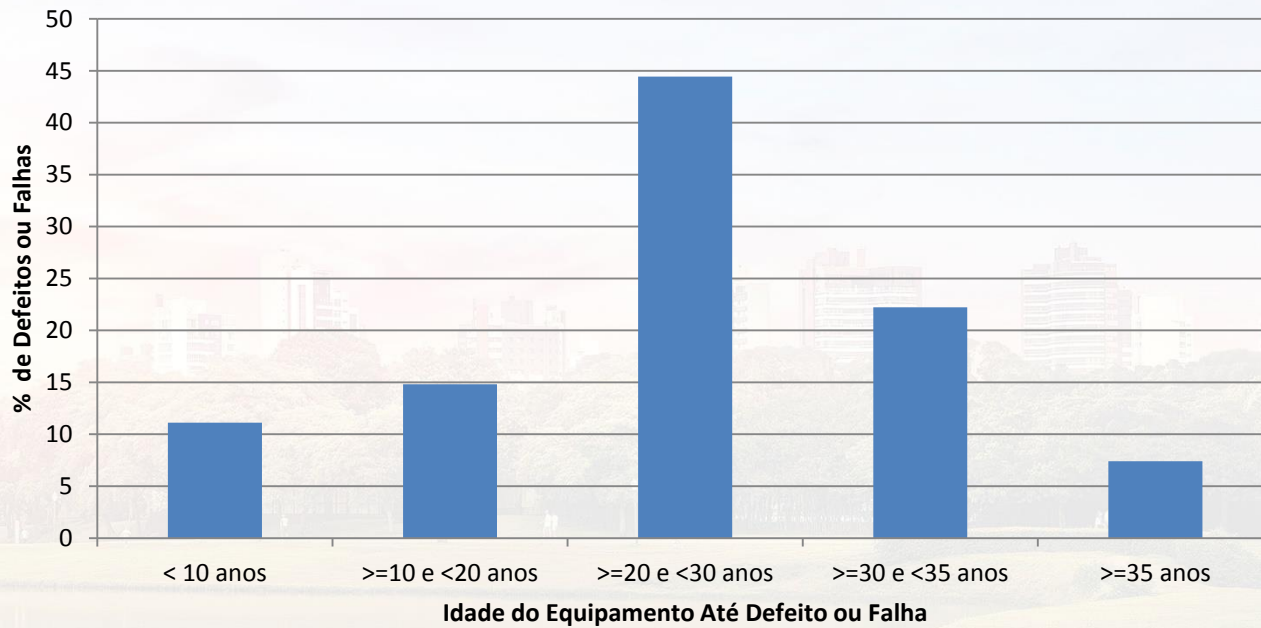
## Estudo de Caso – Aplicação da Cromatografia

### Influência do monitoramento preditivo na taxa de falhas de transformadores de potência (Rede Básica)

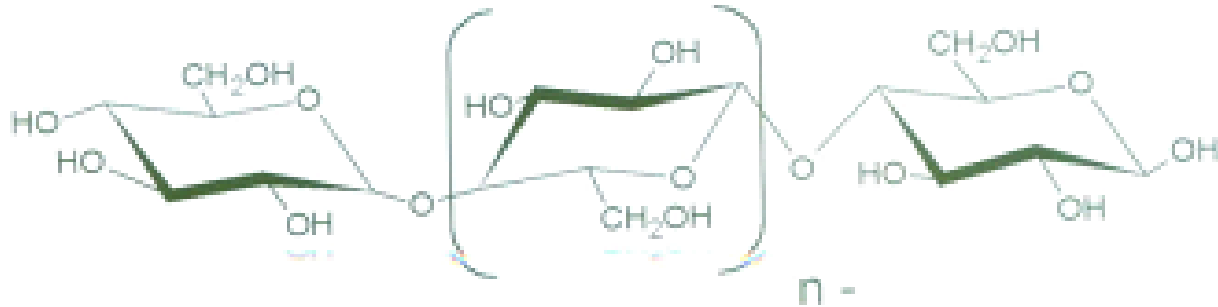


## Vida Útil de Transformadores

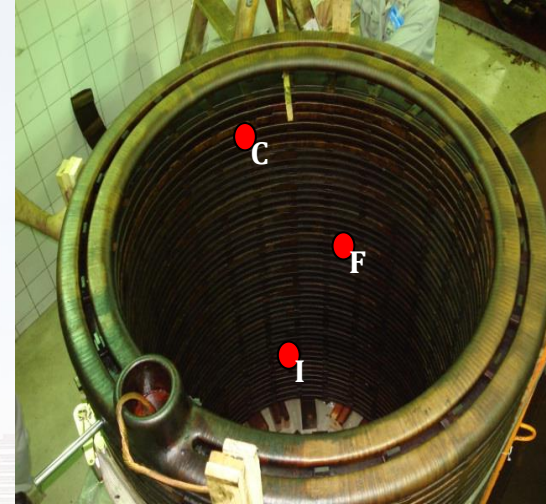
**Equipamentos de Transformação da Transmissão**  
**Distribuição Percentual de Defeitos ou Falhas por Idade**




## Vida Útil de Transformadores



### Fórmula estrutural da celulose



- Papel kraft, presspan: celulose não branqueada
    - Processo kraft: 80% celulose, 10-12% hemicelululose e 2-6% lignina.
    - Mecanismos de envelhecimento:
      - Hidrólise
      - Oxidação
      - Pirólise
-  *Não segue Arrhenius linear*

# Vida Útil de Transformadores

## Isolação Sólida

*Equação de Emsley*

$$\frac{1}{GP_0} - \frac{1}{GP_1} = A \bullet e^{(-E/R(T+273))} \bullet t$$

Equação 1

$$Expectativadevida = \frac{\frac{1}{GP_t} - \frac{1}{GP_0}}{A \bullet 24 \bullet 365} \bullet e^{\frac{E_A}{RT}} [anos]$$

onde :

$R : 8,314 J / mol / K$

$T : temperaturaaabsoluta [K]$

$E_A = energiadeativação [kJ / mol]$

$A = dependente doambiente químico [Tabela 2]$

Equação 2

## Vida Útil de Transformadores

- Utilização da Vida Útil Máxima da Celulose de Transformadores
  - Ações de Manutenção
    - Monitoramento Físico-Químico e Análise Cromatográfica de Gases Dissolvidos;
    - Selamento;
    - Manter concentrações de oxigênio no óleo isolante baixas (<5000ppm);
    - Tratamento do óleo sempre que valores limites sejam atingidos;
    - Monitoramento de compostos derivados da degradação da celulose, ➡ quando possível;
    - Retirada de amostras de papel sempre que possível (inspeções e reparos).



## Furanic Compounds for Diagnosis

## Working Group D1.01 (TF13)

## Cigre SCD1 WG Relacionados

A2/D1.46	Field experience with transformer solid insulating ageing markers
D1/A2.47	New frontiers of Dissolved Gas Analysis (DGA) interpretation for power transformers and their accessories
D1.53	Ageing of upgraded cellulose and cellulose impregnated in ester liquids and other liquids (Revision of Technical Brochure No 323)

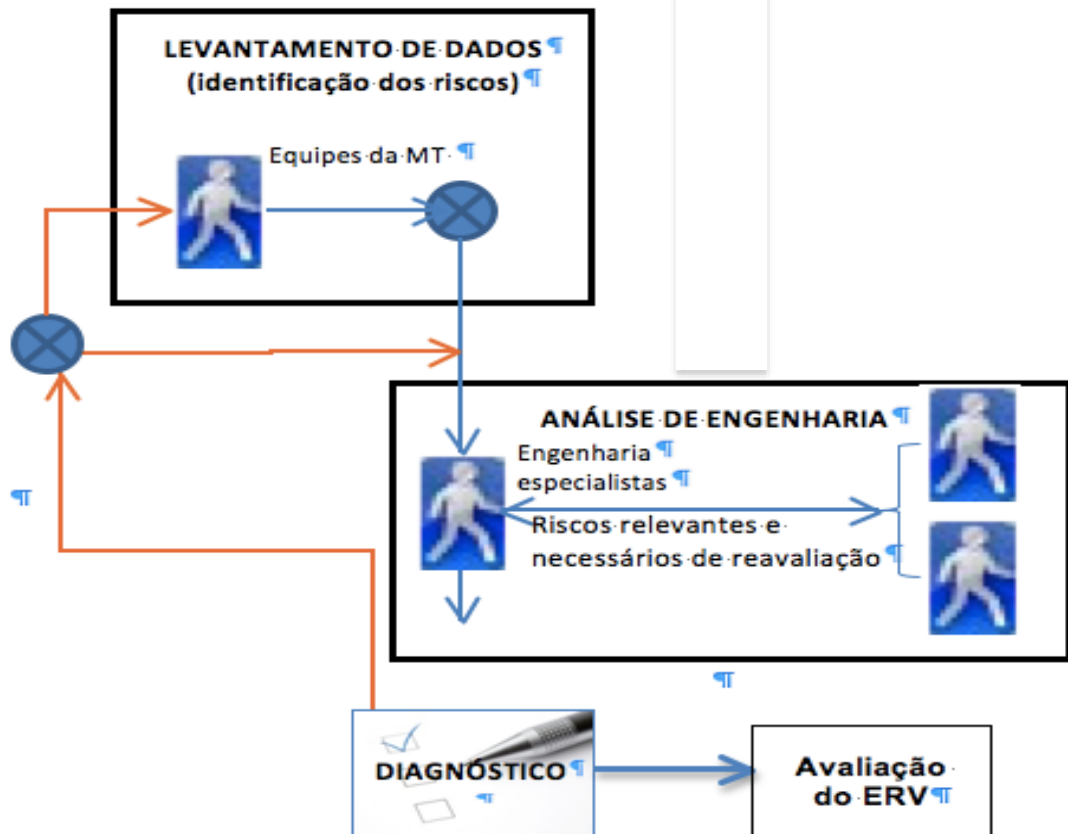
- Considerando que:
  - Monitoramento e dados obtidos dos planos de manutenção preditiva e preventiva determinam condição e confiabilidade, mas não diretamente vida útil remanescente;
  - Não há parâmetros determinísticos para a maior parte dos ativos;
- Como definir o fim de vida útil de um equipamento?

# Gestão de Riscos

- **Confiabilidade:** probabilidade em um dado *nível de confiança*, que o equipamento vai *desempenhar* suas funções satisfatoriamente enquanto operando sob as condições especificadas e com seus *níveis de esforços* projetados.
- **Consequência:** resultado de um evento que afeta os objetivos (ISO 31000:2009 – Gestão de Risco-:Princípios e Diretrizes);
- **Risco: Probabilidade x Consequência** (ISO 31000:2009 – Gestão de Risco-:Princípios e Diretrizes);
- A partir da avaliação da **Confiabilidade**, pode-se estabelecer uma eficaz Gestão de Riscos, maximizando a utilização da vida útil do ativo.



# Engenharia





## Objetivo Final

### **Determinação de Vida Útil Eficaz Requer:**

- Constante aprimoramento das técnicas;
- Investimentos em equipamentos, sistemas e especialistas;
- Engenharia de Manutenção fortalecida nos agentes.



Sinal Econômico Regulatório

### **Determinação de Vida Útil Eficaz Propicia:**

- Melhor utilização da vida útil dos equipamentos;
- Redução das taxas de falhas.



Ganhos para o Sistema Elétrico

Obrigada.

Adriana de Castro Passos Martins

CEMIG GT

Engenheira de Planejamento de Manutenção de Geração e Transmissão

[adrianap@cemig.com.br](mailto:adrianap@cemig.com.br)