

CÁLCULO E EM TEMPO REAL DE VIDA REMANESCENTE DE TURBINAS

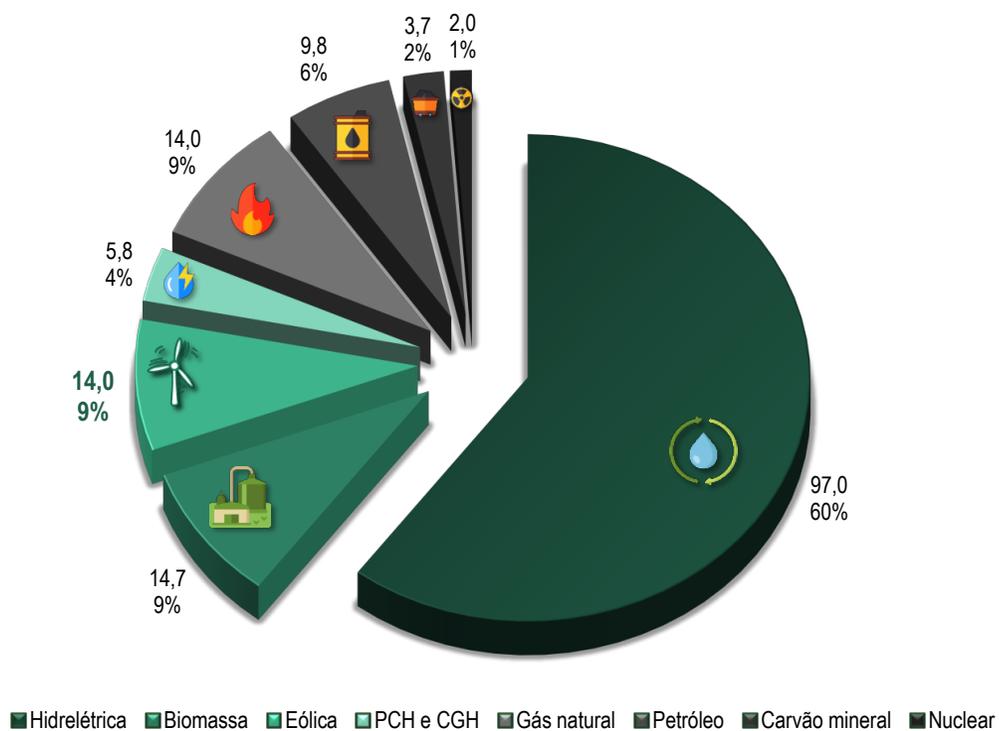


FÓRUM TÉCNICO DE INOVAÇÃO EM INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Palestrantes: Bruno Reis Cardoso, Heloisa Cunha Furtado, Carlos Frederico T. Matt - CEPEL



Matriz Energética



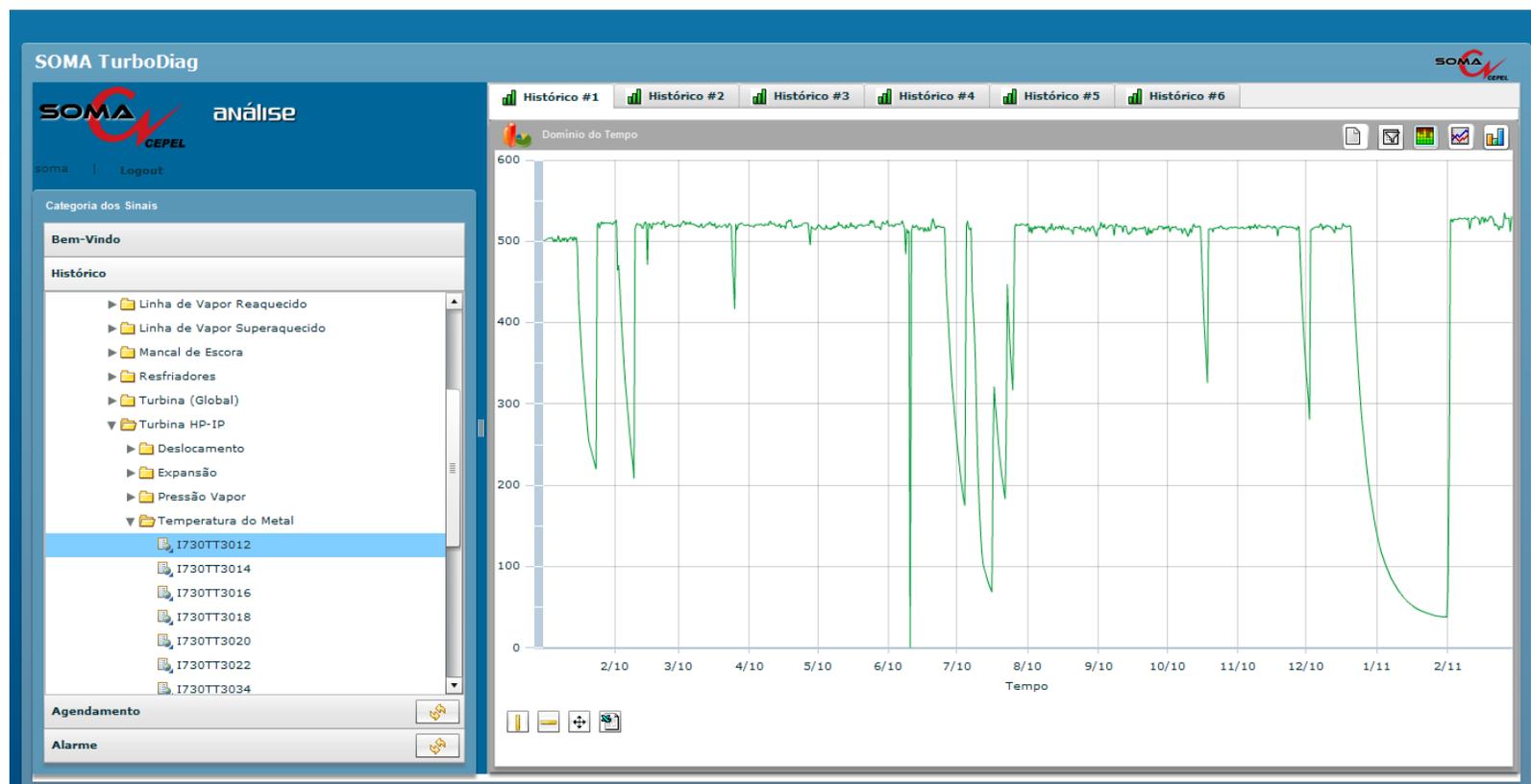


Nova Condição Operacional - Cíclica

- Termelétricas Brasileiras
 - Caldeiras → Aços 1Cr-0,5Mo e 2,25Cr-1Mo
 - Turbinas → Aços 1Cr-1Mo-0,25V
- Operação em base
 - Fluência
 - Ciclos ocasionais por ano
- Operação Cíclica
 - “Contra o relógio”
 - Acelera os mecanismos de dano
 - Turbinas e Coletores → Elevações de temperatura acima do permitido
 - Fadiga → Fadiga termomecânica



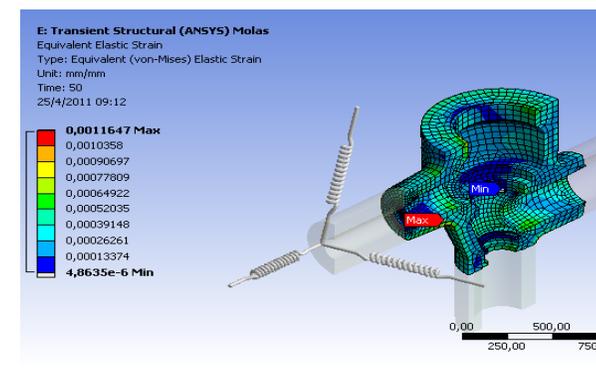
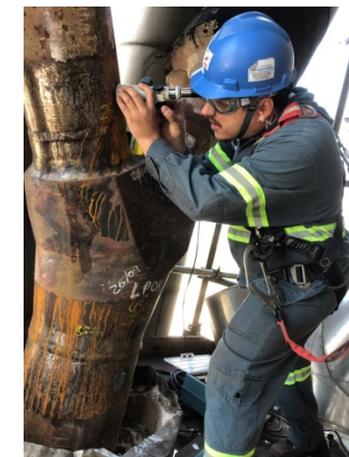
Nova Condição Operacional - Cíclica





Avaliações de Vida Remanescente

- Inspeções programadas
- Ensaios não destrutivos
- Avaliações metalúrgicas
- Solicitações térmicas e mecânicas
 - Tensões e deformações → Fluência e fadiga
- Análises dos registros de operação
 - Cálculos pontuais para diferentes condições operacionais
 - Dano total → Soma dos valores obtidos pontualmente
- Ausência de registros → Resultados conservadores





Objetivos

- Desenvolvimento de uma metodologia para realização do cálculo do dano acumulado e da vida consumida de rotores de turbinas a vapor que operam sob condições de fadiga e fluência
- Dados de entrada → Principais grandezas de operação
- Modelos analíticos
- Biblioteca de propriedades de materiais
- Cálculo do dano gerado durante a operação da usina
- Integrada a sistemas de supervisão da operação

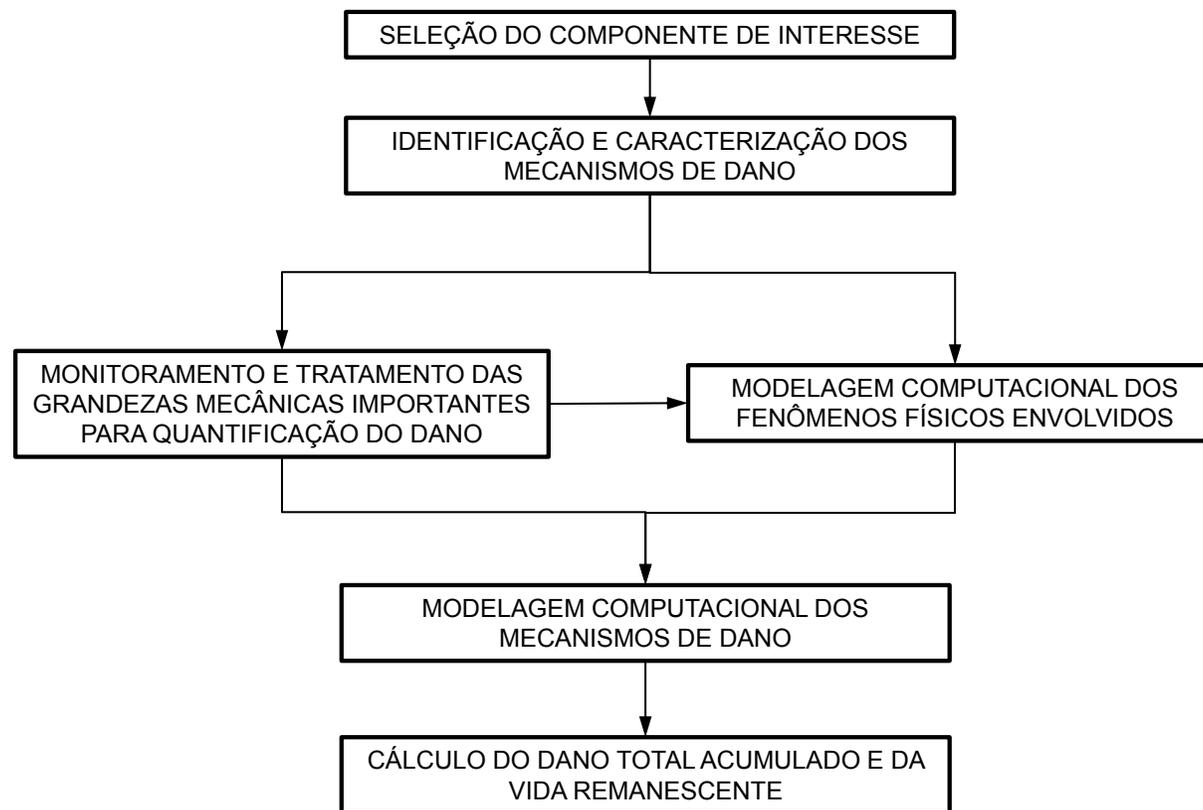


Resultados Esperados

- Redução dos custos de manutenção e inspeção → Menor frequência de paradas
- Maior confiabilidade e disponibilidade da unidade
- Maior segurança de operação
- Redução das incertezas na estimativa da vida remanescente
- Redução do esforço, a partir da automatização e integração do processo
- Planejamento para substituição de equipamentos
- Monitoramento em tempo real (via Internet) da condição operacional do equipamento



Metodologia

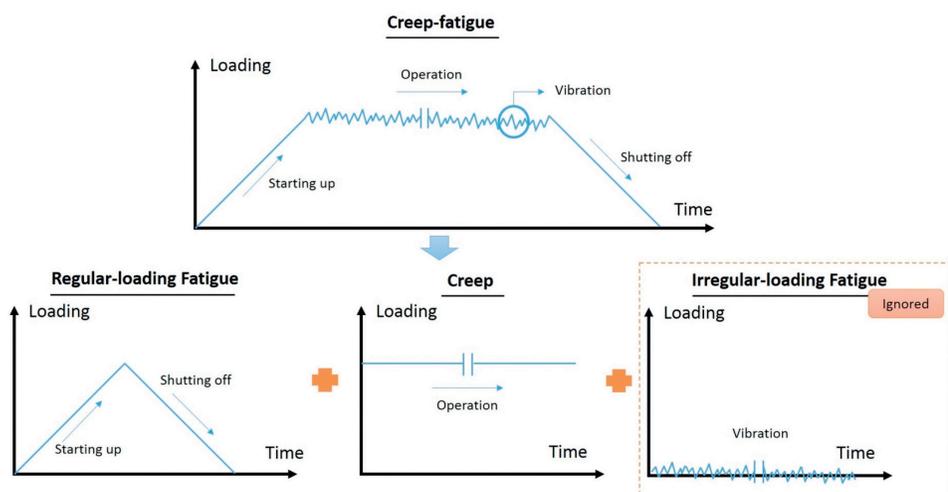




Metodologia

- Principais mecanismos de dano
Fluência → Operação em base
Fadiga termomecânica → Partidas, paradas e manobras

- Monitoramento das principais grandezas
Temperaturas de vapor e de metal
Pressão do vapor
Vazão do vapor
Velocidade
Tempo de monitoramento → 17.000 horas



Fonte: Liu e Pons, 2018



Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

- Python → Módulos
- Dois códigos por componente → Fluência e Fadiga

Recebimento e tratamento dos dados

Biblioteca de materiais e dados geométricos

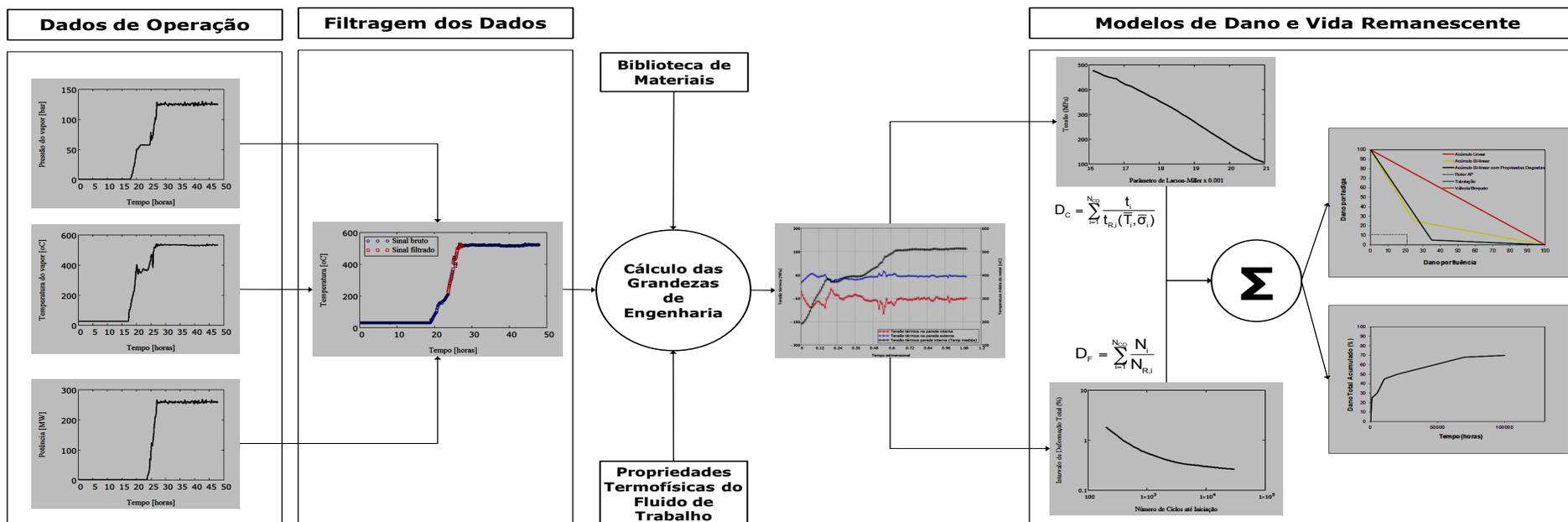
Cálculos das grandezas de engenharia

Estimativas de dano acumulado e vida remanescente



Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

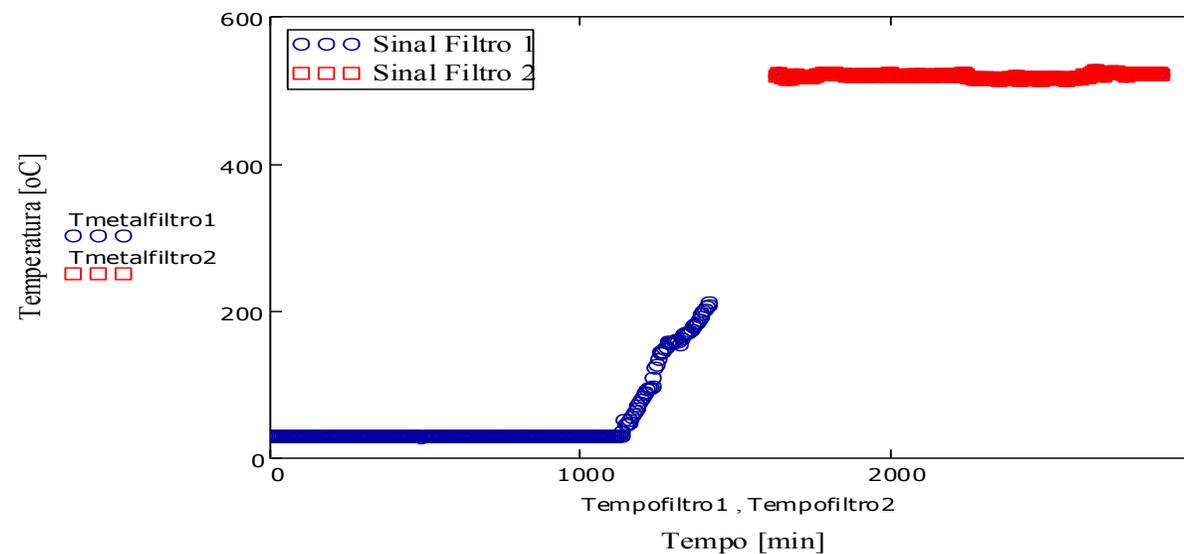
- Cálculo do Dano Total Acumulado e da Vida Remanescente
- Teoria de Acúmulo de Dano Linear $\rightarrow D = \sum \Phi_C + \Phi_F$





Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

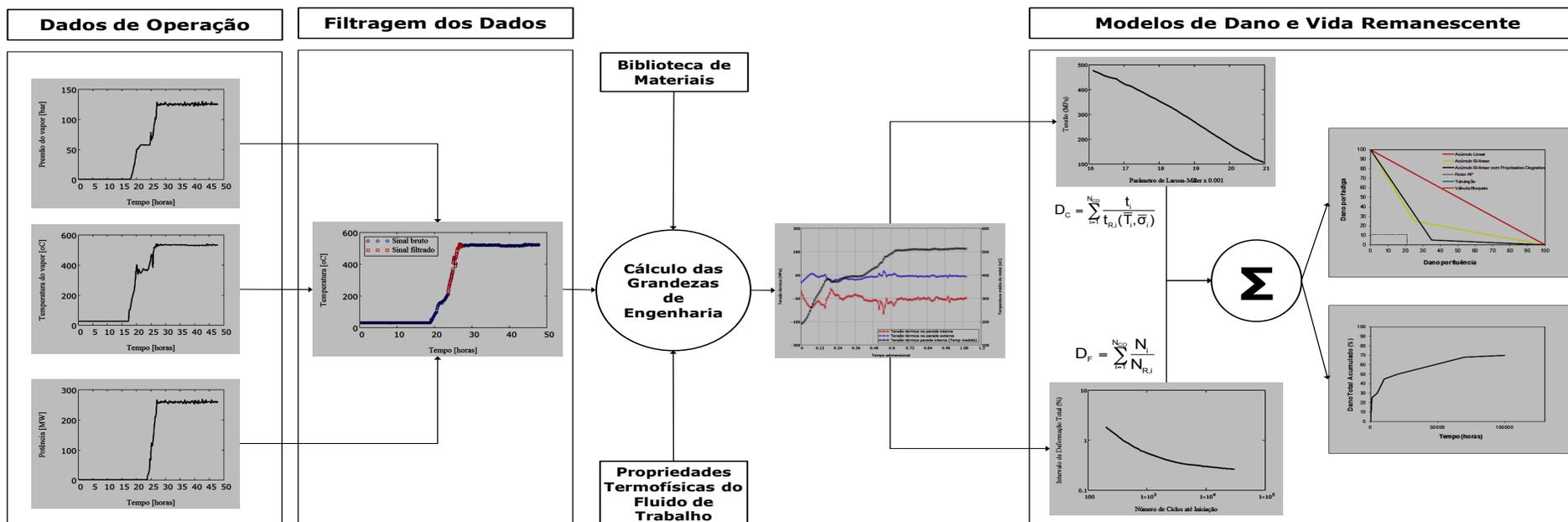
- Filtros de dados de interesse → Método da janela móvel
- Varredura de uma grandeza → Identificação da condição operacional
- Exemplo → Dados de interesse para fluência





Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

- Cálculo do Dano Total Acumulado e da Vida Remanescente
- Teoria de Acúmulo de Dano Linear $\rightarrow D = \sum \Phi_C + \Phi_F$



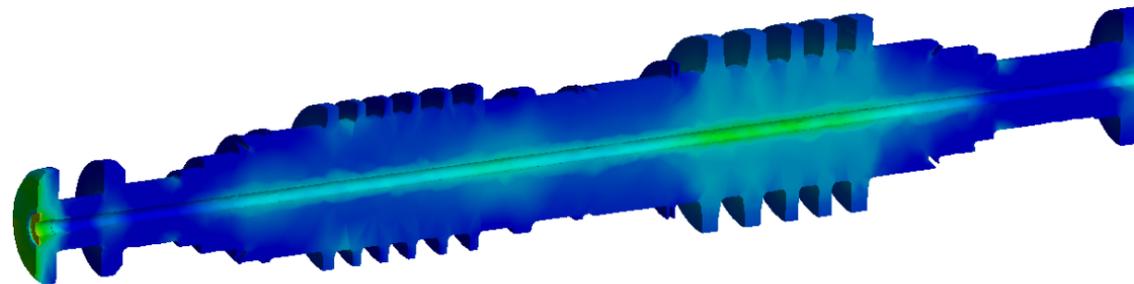


Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

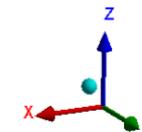
- Cálculo das grandezas de engenharia → Fluência
- Formulações analíticas → Transferência de calor, tensões e deformações

H: Copy of Copy of Static Structural (convecção rotor ap)
Equivalent Total Strain 2
Type: Equivalent Total Strain
Unit: mm/mm
Time: 1
10/18/2019 11:23 AM

0.0020294 Max
0.0018045
0.0015796
0.0013546
0.0011297
0.00090476
0.00067983
0.00045489
0.00022996
5.0201e-6 Min



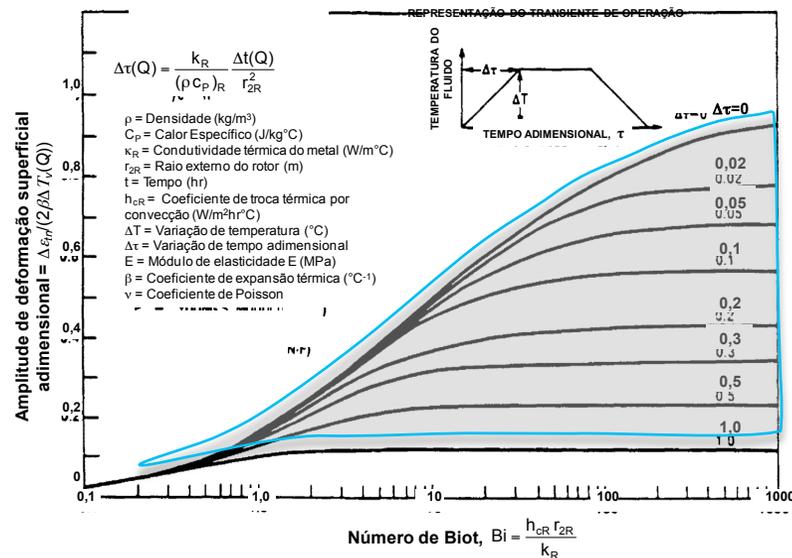
0.00 1000.00 2000.00 (mm)
500.00 1500.00





Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

- Cálculo das grandezas de engenharia → Fadiga termomecânica
- Ábaco de deformações térmicas em rotores de turbinas a vapor



$$\Delta \tau = \frac{k_r}{\rho c_p} \frac{\Delta t}{r_{2R}^2}$$

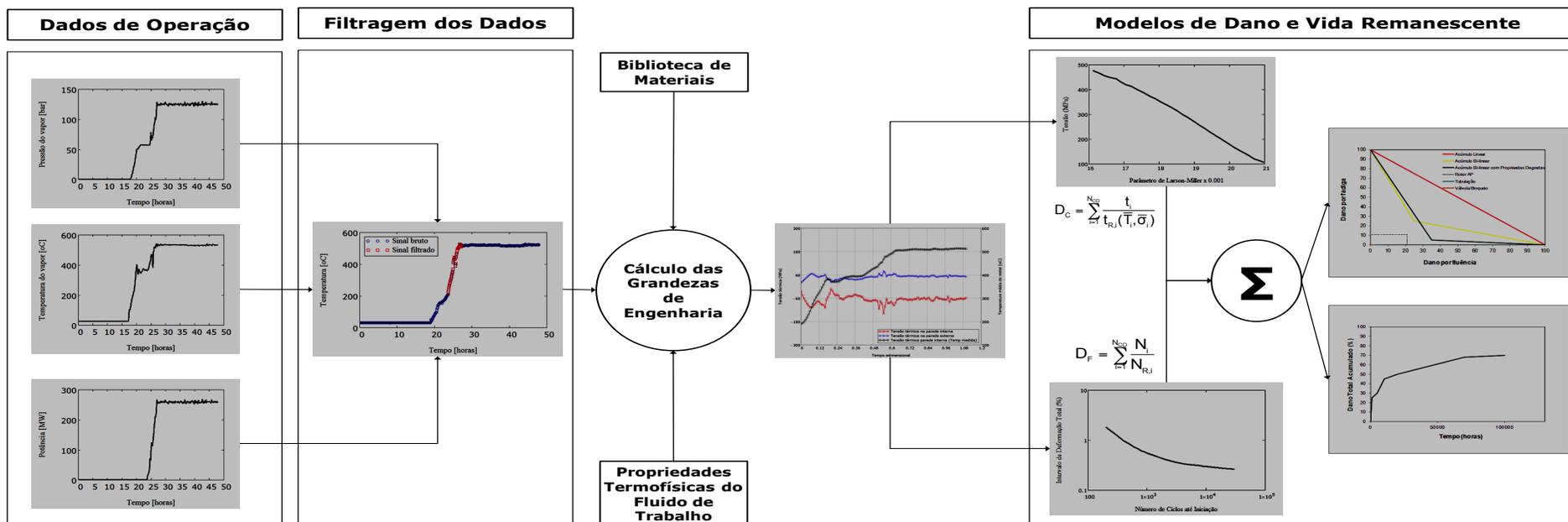
$$Bi = \frac{h_{cr} r_{2R}}{k_r}$$

$$\frac{\Delta \epsilon_{tn}}{(2\beta \Delta T)}$$



Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

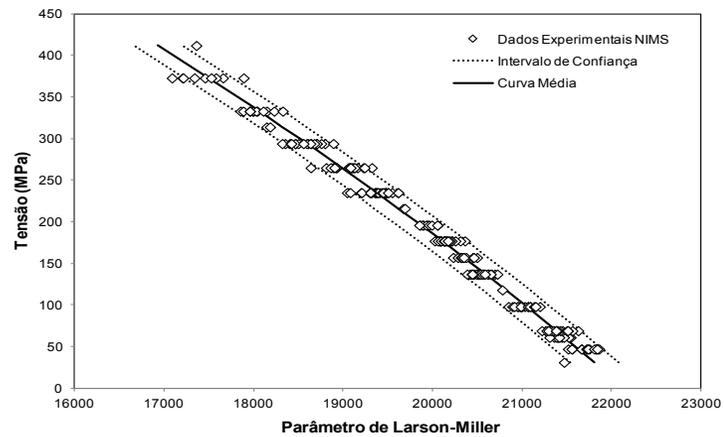
- Cálculo do Dano Total Acumulado e da Vida Remanescente
- Teoria de Acúmulo de Dano Linear $\rightarrow D = \sum \Phi_C + \Phi_F$





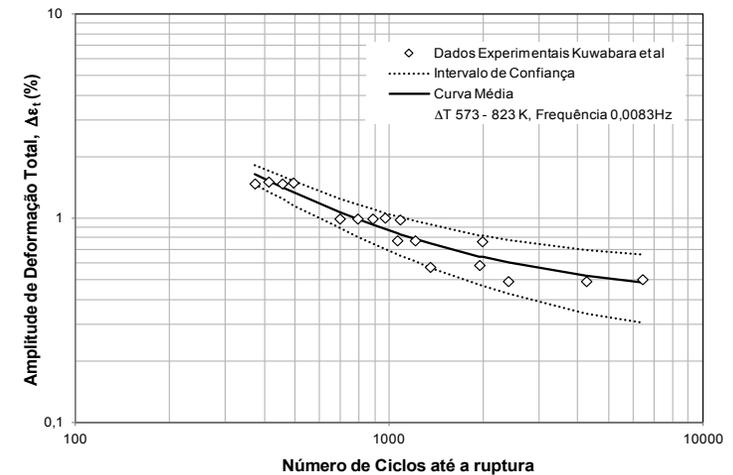
Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

- Modelos de dano
 - Fluência
 - Fadiga



Curva mestre do parâmetro de Larson-Miller para o aço 1CrMoV

Adaptado de: NIMS, 2013



Curva de resistência à fadiga termomecânica do aço 1CrMoV

Adaptado de: Kuwabara et al, 1982



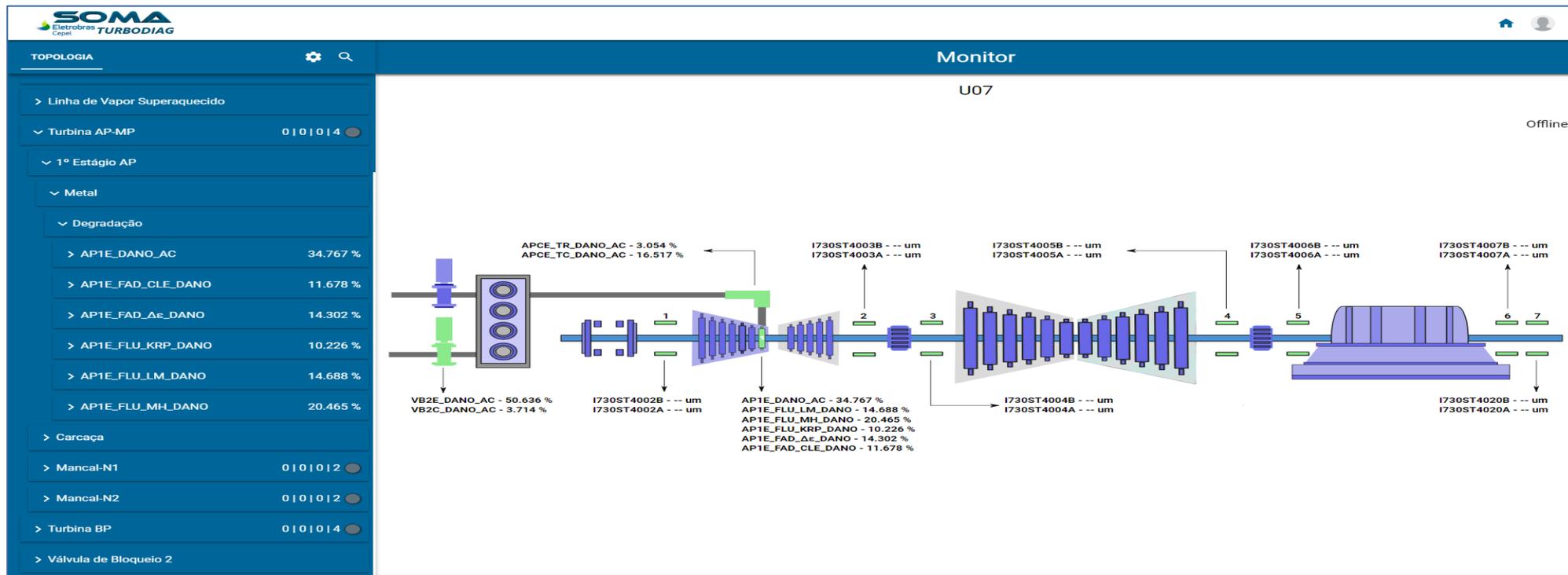
Desenvolvimento dos Algoritmos de Cálculo

- Cálculo do dano acumulado e vida remanescente
 - Vida remanescente fluência → Regressão linear até dano de 90%
 - Vida remanescente fadiga → Regressão linear até dano de 90%
- Dano em fluência
 - Regra de Robinson →
$$D_C = \sum_{i=1}^{N_{CO}} \frac{t_i}{t_{R,i}(\bar{T}_i, \bar{\sigma}_i)}$$
- Dano em fadiga
 - Regra de Palmgren-Miner →
$$D_F = \sum_{i=1}^{N_{CO}} \frac{n_i}{N_{R,i}(\bar{T}_i, \Delta T_i, \bar{\sigma}_i, \Delta \sigma_i)}$$
- Acúmulo de dano
 - Linear → $D_T = D_C + D_F$
 - Fim da vida útil → $D_T = 1$



Sistema SOMA-TURBODIAG

- Monitoramento dos componentes em tempo real





Sistema SOMA-TURBODIAG

- Monitoramento dos componentes em tempo real

SOMA
Eletrônicas
Cepel
TURBODIAG

Monitor

U07 - Válvula de Bloqueio 2

Offline

VB2E_FAD_Δε_DANO - 0.468 %
VB2E_FLU_LM_DANO - 50.169 %
VB2E_FLU_KRP_DANO - 9.805 %

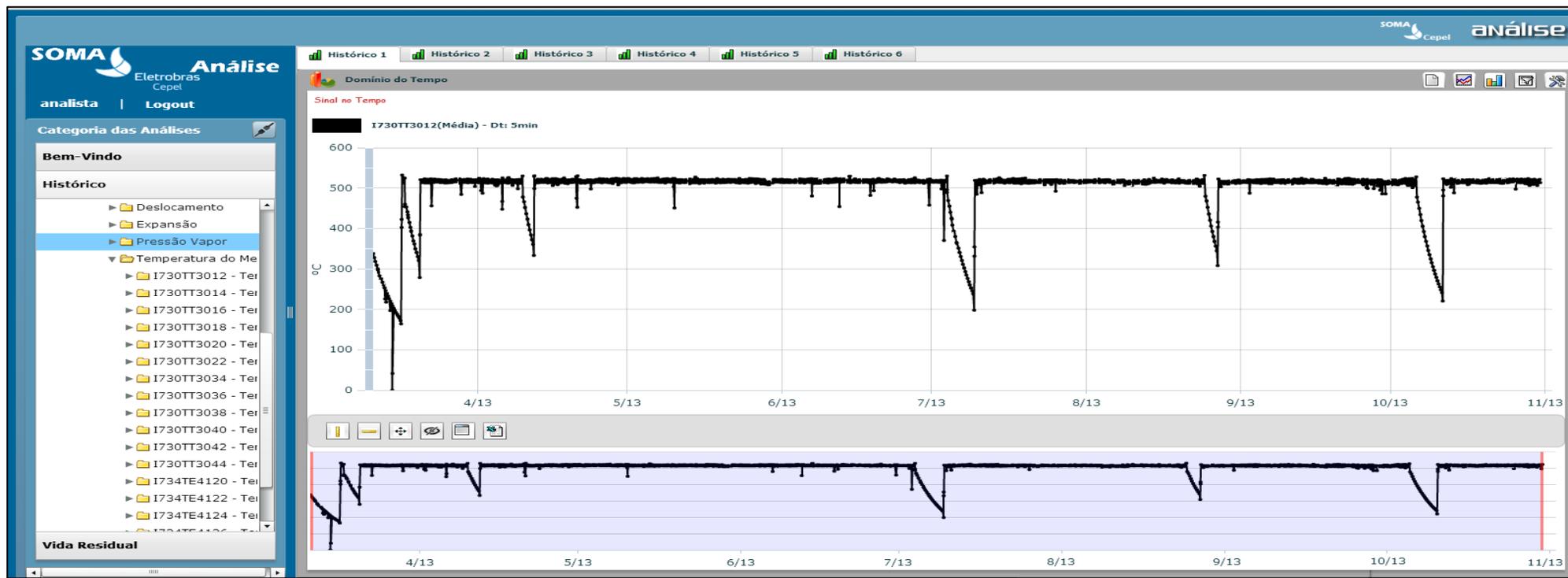
I730TE1001 - --- °C
I730ZT1001X - --- micro
I730ZT1001Y - --- micro
VB2C_FAD_Δε_DANO - 0.468 %
VB2C_FLU_LM_DANO - 3.246 %
VB2C_FLU_KRP_DANO - 2.131 %

Componente	Valor
Excitatriz	0101012
Gerador	0101014
Linha de Vapor Superaquecido	
Turbina AP-MP	0101014
Turbina BP	0101014
Válvula de Bloqueio 2	
Corpo	
Deformação	
Degradação	
Temperatura	
Entrada	
Degradação	
VB2E_DANO_AC	50.636 %
VB2E_FAD_Δε_DANO	0.468 %
VB2E_FLU_KRP_DANO	9.805 %
VB2E_FLU_LM_DANO	50.169 %



Sistema SOMA-TURBODIAG

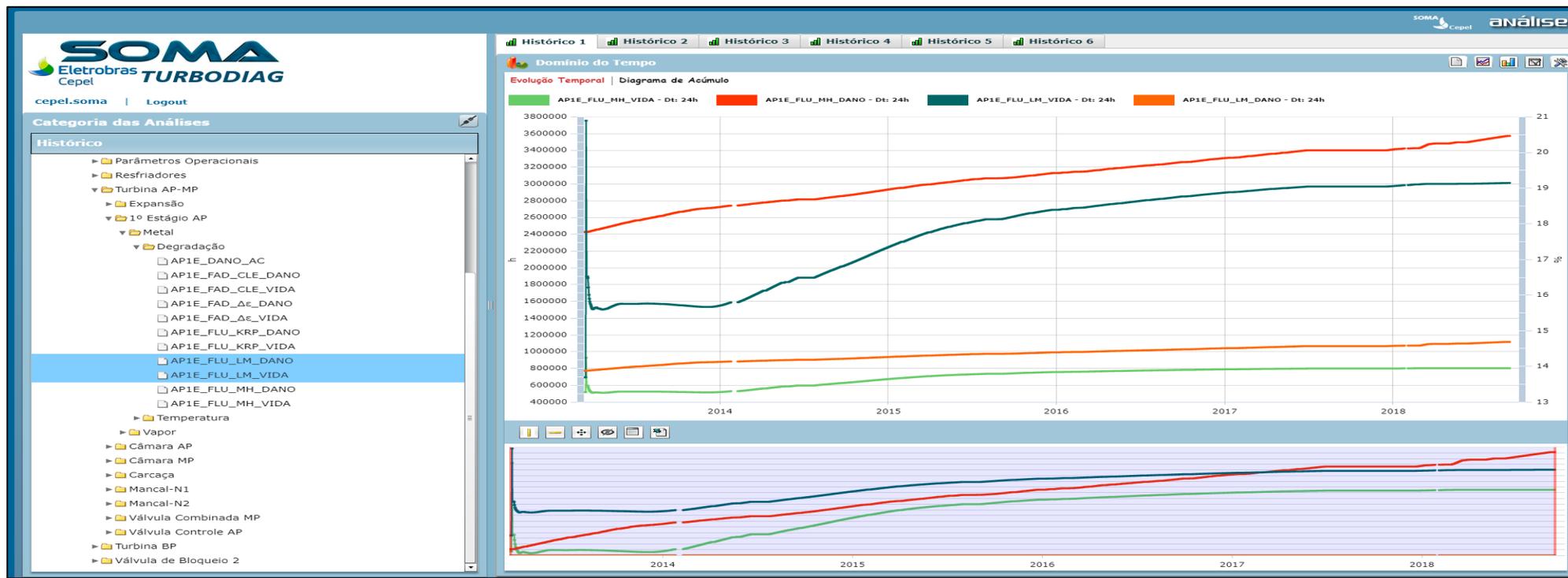
- Monitoramento dos componentes em tempo real





Sistema SOMA-TURBODIAG

- Evolução da vida remanescente em tempo real





Sistema SOMA-TURBODIAG

- Evolução do dano em tempo real





Sistema SOMA-TURBODIAG

- Evolução do dano em tempo real





Considerações finais

- O sistema de monitoramento desenvolvido é integrado aos sistemas supervisórios das usinas
- O software apresentado foi desenvolvido para equipamentos específicos, mas são extensivos a qualquer componente que opera em alta temperatura
- O monitoramento é uma ferramenta da avaliação de integridade estrutural que deve ser usado em conjunto com inspeções periódicas de campo
- O monitoramento subsidia equipes de inspeção e manutenção a estabelecer a periodicidade das inspeções de campo
- Gestão de ativos → Orientações para regimes de operação adequados

OBRIGADO

brunorc@cepel.br

(21) 2598-6146



A Pesquisa que constrói o futuro



A Pesquisa que constrói o futuro

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

