

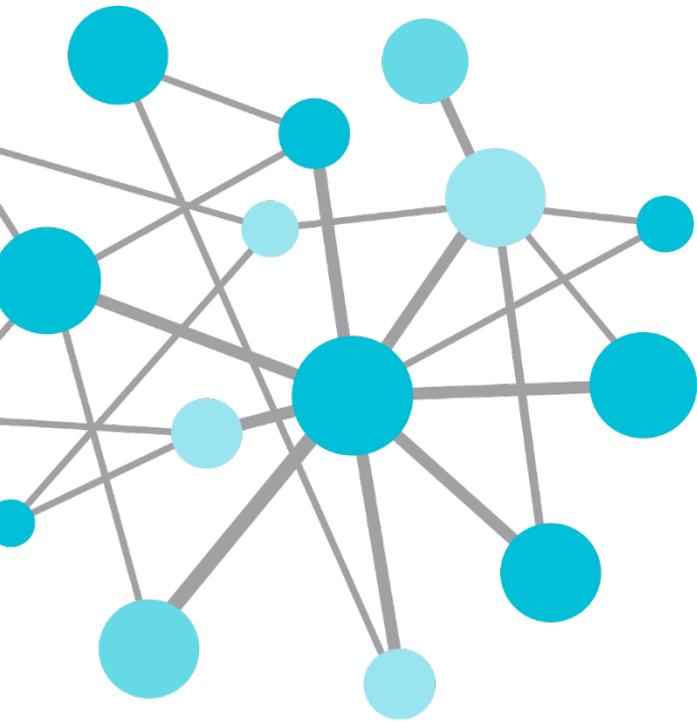
OSIsoft.

# SEMINÁRIO REGIONAL 2014

The Power of Data

L A T A M

DECISION READY IN REAL-TIME



# Avaliação de Desempenho Energético em Tempo Real

Presented by **Petrobras**



# Objetivo

Construir uma ferramenta capaz de monitorar a eficiência energética das unidades termoeletricas em tempo real e inferir a eficiência esperada das mesmas, possibilitando a rápida identificação de desvios operacionais.

# Agenda

- Situação anterior e motivação do projeto
- Unidades termoelétricas e parque gerador
- Metodologia
- Desafios
- Ferramentas utilizadas
- Implementação
- Resultados Obtidos
- Evoluções da solução
- Sumário

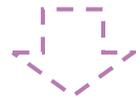
# Situação anterior - Avaliação manual dos índices de eficiência energética

- Contabilização da eficiência energética das usinas era calculada mensalmente de forma off-line;
- As usinas tinham metas associadas apenas ao despacho de energia elétrica;
- Dificuldade na identificação de desvios de eficiência energética
- Baixa operacionalização no tratamento dos desvios de eficiência

Necessidade de melhoria na monitoração da eficiência energética e tratamento de desvios

# Motivações para o projeto

Estabelecimento de metas de eficiência



Identificação e registro dos desvios de eficiência



Monitoramento da eficiência energética



Mensuração das ações de melhoria de eficiência

Rápida atuação para correção dos desvios de eficiência



# Unidades termoeletricas

A combustão é a principal fonte de energia

A energia química advinda da combustão é a principal fonte de energia de uma termoeletrica, que gera o calor que é posteriormente convertido em trabalho e energia elétrica.

É capaz de gerar energia elétrica e vapor

As termoeletricas são capazes de gerar energia elétrica e vapor, podendo vender ambas as formas de energia.

Possui diversas configurações

As termoeletricas podem converter a energia primária da combustão através de motores e/ou turbinas a gás (ciclo aberto), e aproveitar o calor residual para produzir vapor e posteriormente mover turbinas a vapor (ciclo combinado), podendo ter várias configurações



# Parque gerador Petrobras

- Capacidade instalada de 6.140 MW
- Oitava maior geradora do Brasil
- 20 usinas termelétricas de gestão própria
- Centro de Operações de Energia (COE): centraliza o relacionamento operacional, em tempo real, com o Operador Nacional do Sistema (ONS)



Ibirité (MG)  
Cubatão (SP)  
Seropédica (RJ)  
São Paulo (SP)  
Duque de Caxias (RJ)  
Juiz de Fora (MG)  
Três Lagoas (MS)  
Macaé (RJ)  
Camaçari (BA)  
São Francisco do Conde (BA)  
Alto Rodrigues (RN)  
Caucaia (CE)  
Araucária (PR)  
Canoas (RJ)  
Manaus (AM)



# Metodologia do projeto

## Análise

- Levantamento de Normas para os cálculos
- Levantamento das variáveis disponíveis
- Estudo de dados históricos
- Implementação da regressão linear para previsão da eficiência energética

## Unidade Piloto

- Escolha da unidade piloto
- Identificação das condições operacionais
- Configuração dos tags
- Configuração dos cálculos dos tags
- Configuração das telas e relatórios

## Validação da Unidade Piloto

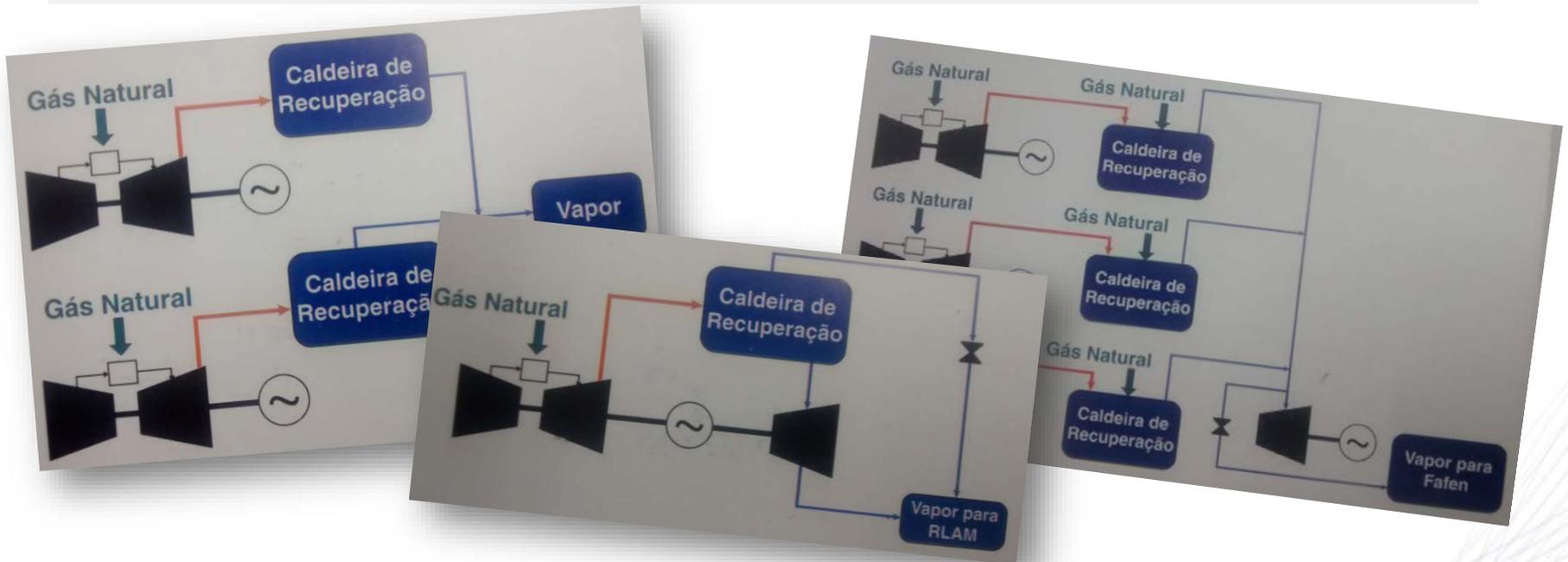
- Acompanhamento dos resultados
- Análise crítica dos cálculos
- Comparação com resultados esperados

## Replicação

- Replicação para 16 unidades com diferentes configurações
- Aplicação dos modelos matemáticos para todo o parque gerador

# Desafios da Implementação

- Diferentes configurações das usinas termelétricas
- Identificação das condições operacionais de cada unidade
- Parametrização de todos os cálculos
- Validação dos tags e operacionalidade dos instrumentos





# Implementação dos Cálculo de Eficiência real

$$\eta = F(\text{Energia Elétrica}, \text{Vapor Exportado}, \text{Combustíveis})$$

Energia Elétrica

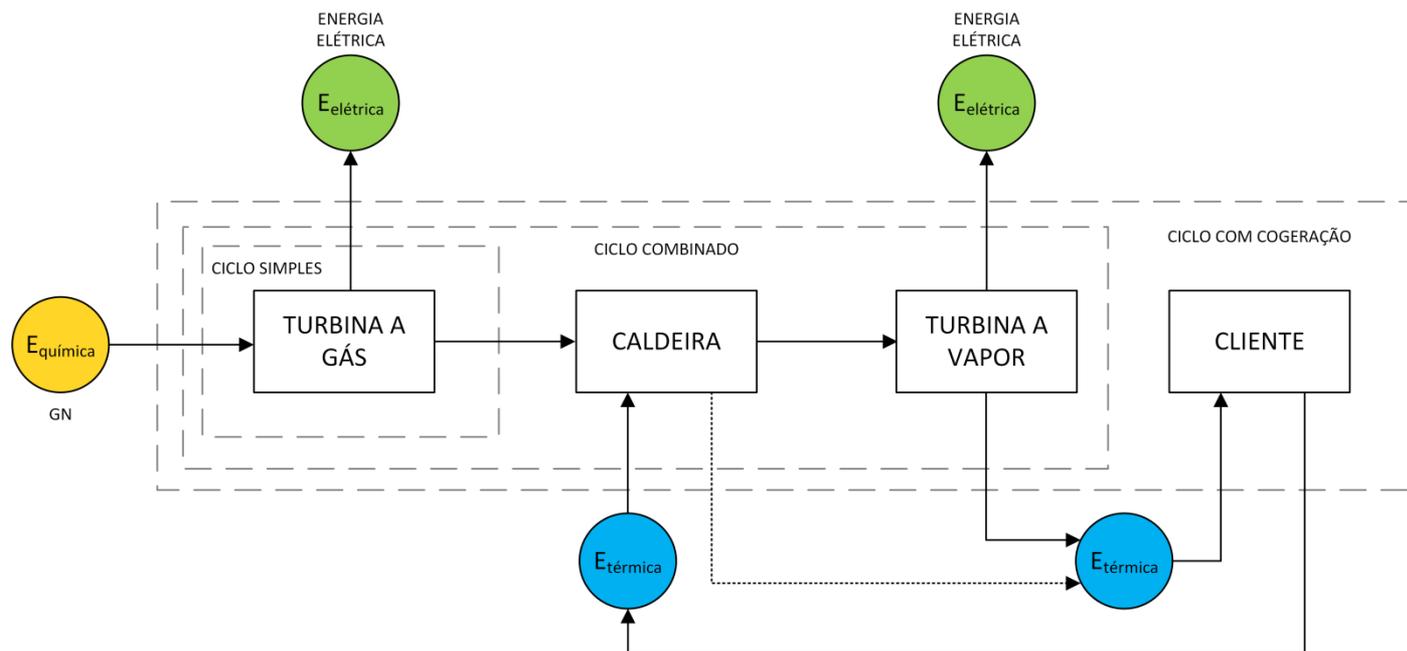
Entalpia da Água

Poder Calorífico do Combustível

Utilizou-se a energia elétrica líquida, isto é, o que de fato é exportado para o SIN

O Performance Equation possibilitar o cálculo da entalpia do vapor a partir de pressão e temperatura

O Performance Equation viabilizou o cálculo do PCI de acordo com a norma ABNT NBR 15213 2008



# Implementação dos Cálculo de Eficiência prevista

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Aplicação de regressão linear multivariada

- PCI do GN
- Potência Gerada
- Pressão do Vapor
- Temp. Amb.
- Vazão do vapor de exp.
- Temp. do Vapor
- Massa Especifica do GN

Configuração da usina

Para a estimativa da eficiência energética, a configuração dos equipamentos da usina e seus pontos de operação foram considerados

Dados históricos

O estudo estatístico possibilitou o cálculo dos coeficientes (pesos) da regressão linear para cada variável considerada.

Dados em tempo real

Os dados em tempo real são utilizados para efetuar o cálculo de eficiência prevista com base na regressão linear

Possibilitou o cálculo dos coeficientes de regressão

Possibilitou o cálculo dos coeficientes de regressão

# Telas customizadas para cada UTE

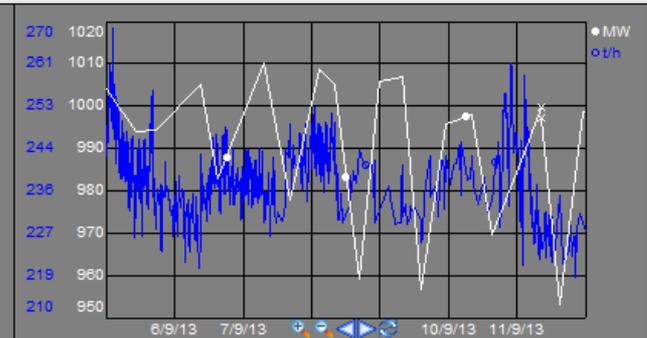
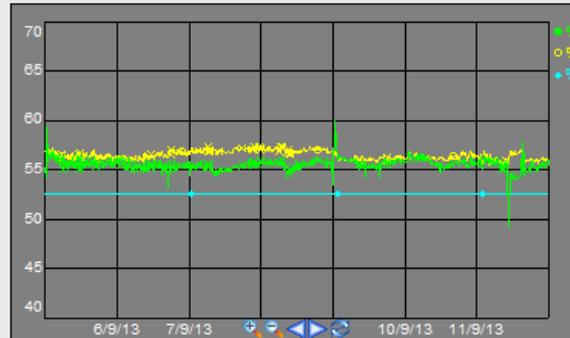
## Indicador de Eficiência Energética (EE-UTE) - UTE GOVERNADOR LEONEL BRIZOLA



### Análise por amostragem

**EE-UTE 55,60 %**

Fator de despacho médio (%) **84,37**  
 Temperatura ambiente média (°C) **23,66**  
 Umidade relativa média (%) **70,74**



### Período de Análise

OK

Data Inicial da Amostra (dd/mm/aaaa)\* 05/09/2013

Data Final da Amostra (dd/mm/aaaa) 12/09/2013

Nº de dias da amostra: 7

### Desempenho médio

Limite Mínimo Admissível (%) 52,60

EE-UTE Previsto (%) 56,51

Realizado - Previsto (%) ● -0,91

Diferença entre o consumo de GN (Realizado - Previsto) (mil m³/dia) ● 87,71

### Dados da Amostra

Amostra total 19.239

Dados utilizados (%) 99,79

### Condições Operacionais Médias

#### Entrada

Combustível (MW) 2.155,82

Consumo de gás natural (mil m³/dia) 5.252,01

PCI do gás natural (kJ/m³) 35.465,12

#### Exportado

Geração Líquida (MW) 1197,83

Eletricidade (MW) 992,38

Vapor (MW) 212,00

Vazão de Vapor para REDUC (t/h) 237,12

### EE-UTE Máximos e Mínimos

	Máximo	Mínimo
<b>EE-UTE</b>	<b>59,91</b>	<b>49,25</b>
Data e Hora	09/09/2013 00:40:30	11/09/2013 10:47:30
Consumo de GN (mil m³/dia)	5.159,37	5.569,54
Geração líquida (MW)	1.213,21	1.171,61
Eletricidade (MW)	1005,93	982,56
Vapor (MW)	206,96	206,75
Vazão de Vapor REDUC (t/h)	233,39	226,93
Temperatura ambiente (°C)	20,94	27,37
Umidade Relativa (%)	82,50	56,08

EE-UTE Instantâneo

\*Histórico de dados a partir de 28/05/2013

● Abaixo do previsto

● Acima ou dentro do previsto

● Falha

Exportar Excel

# Relatórios customizados para cada UTE

DadosEE-UTE-GLB 25-06-2013 15:31:46 - Microsoft Excel

Inicio Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição PI Team

Recortar Copiar Colar Formatar Pincel Área de Transferência

Calibri 11 Fonte

Quebrar Texto Automaticamente Mesclar e Centralizar Alinhamento

Geral Número

Formatação Condicional Estilos de Célula

Inserir Excluir Formatar Células

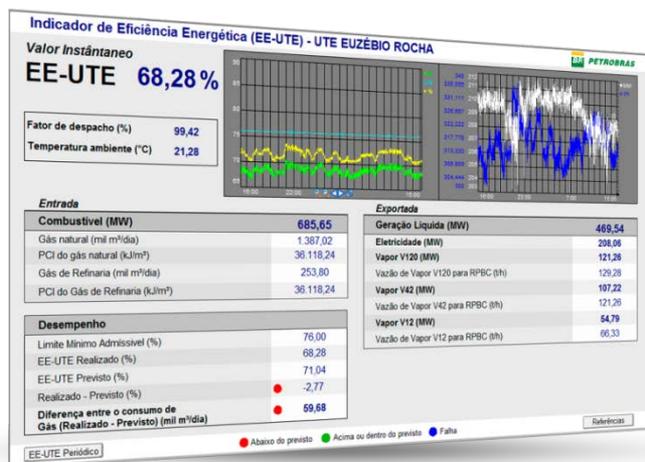
AutoSoma Preencher Limpar Classificar e Filtrar Localizar e Selecionar Edição

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	Data Inicial	04/06/2013											
3	Data final	11/06/2013		Intervalo	1h								
6	Data e hora	Vazão Volumétrica de GN - Ramal 1 (m³/h)	Vazão Volumétrica de GN - Ramal 2 (m³/h)	Vazão Volumétrica de GN - Ramal 3 (m³/h)	Massa Específica do GN (kg/m³)	PCI do GN (KJ/kg)	Combustível GN (MW)	Vazão de Água Desmineralizada (m³/h)	Energia da Água Desmineralizada (MW)	Potência Elétrica (MW)	Vazão do Vapor Exportado (t/h)	Energia do Vapor Exportado (MW)	Geração Líquida (MW)
7	04-jun-13 00:00:00	0	118114,7902	99026,74076	0,716253123	49635,83383	2144,216011	266,7540107	5,903487503	988,2001355	266,7540107	239,5485696	1211,334721
8	04-jun-13 01:00:00	0	121578,4609	102140,4766	0,699781443	49769,07401	2164,754099	264,5654141	5,758730867	988,3917015	264,5654141	238,2540992	1211,808426
9	04-jun-13 02:00:00	0	121578,4609	102140,4766	0,694700895	49810,02837	2150,386034	269,2012529	6,067926072	988,5832674	269,2012529	240,9912613	1213,79171
10	04-jun-13 03:00:00	0	122159,0825	102140,4766	0,694252741	49813,97313	2154,745952	268,599657	6,071990777	988,7748334	268,599657	241,1310673	1214,048899
11	04-jun-13 04:00:00	0	122219,4844	102140,4766	0,693276987	49822,12235	2152,659144	265,7203649	5,940947578	988,9663993	265,7203649	237,8920562	1209,727004
12	04-jun-13 05:00:00	0	121991,1132	102140,4766	0,692444142	49829,19884	2148,198046	266,7011253	5,976547053	989,1579653	266,7011253	238,2985286	1208,797869
13	04-jun-13 06:00:00	0	122240,1016	102421,5666	0,691488015	49837,32378	2150,624222	264,1093881	5,957340532	989,3495312	264,1093881	236,1606825	1207,596862
14	04-jun-13 07:00:00	0	122240,1016	102780,9219	0,690925925	49841,99424	2152,533218	265,4052886	5,983537014	989,5410972	265,4052886	236,3276358	1208,218521
15	04-jun-13 08:00:00	0	122720,7005	102682,7119	0,690496936	49845,4458	2155,000019	267,2274583	6,305208117	989,642748	267,2274583	237,6384983	1205,614857
16	04-jun-13 09:00:00	0	122775,387	102149,4844	0,690054264	49849,0416	2149,211269	265,5866817	6,673410745	988,8432078	265,5866817	238,6150136	1202,099344
17	04-jun-13 10:00:00	0	122244,1016	102149,4844	0,689425075	49854,18973	2142,398867	264,1271347	6,884821716	987,810976	264,1271347	238,2914104	1198,329067
18	04-jun-13 11:00:00	0	122244,1016	101984,2093	0,688928073	49858,50419	2139,468499	262,6836998	7,035870988	986,7787442	262,6836998	236,4613777	1195,031392
19	04-jun-13 12:00:00	0	122244,1016	101542,3906	0,688617103	49861,01198	2134,379433	262,3064319	7,218383923	985,7465124	262,3064319	235,3416766	1189,578974
20	04-jun-13 13:00:00	0	121612,8521	101542,3906	0,688236448	49864,16023	2127,327458	262,6189068	7,327682213	984,7142806	262,6189068	235,0266358	1187,473293
21	04-jun-13 14:00:00	0	121882,1403	101542,3906	0,687966863	49866,7408	2129,145321	262,9313817	7,070490981	983,683975	262,9313817	234,2455123	1189,702637
22	04-jun-13 15:00:00	0	122177,1172	102138,2032	0,687822821	49868,00889	2137,245255	263,2209517	6,657682259	983,4973181	263,2209517	233,9968173	1196,194175
23	04-jun-13 16:00:00	0	122656,1585	102655,7502	0,687734642	49868,39597	2146,450568	262,6548334	6,501083504	984,0059974	262,6548334	233,4881938	1199,408085
24	04-jun-13 17:00:00	0	122099,6574	102268,526	0,69127741	49788,41016	2144,947434	262,6365987	6,409178097	984,5146767	262,6365987	233,727572	1200,40053
25	04-jun-13 18:00:00	0	121503,1406	101678,0728	0,695153956	49768,31902	2144,776879	263,4580064	6,439320463	985,0233559	263,4580064	235,3097404	1202,172845
26	04-jun-13 19:00:00	0	121503,1406	101520,1172	0,696111414	49755,6259	2145,700286	266,0111664	6,543749967	985,5320352	266,0111664	236,5119875	1204,578691
27	04-jun-13 20:00:00	0	121503,1406	101520,1172	0,695996211	49758,44413	2145,466143	269,6326441	6,612587889	986,0407144	269,6326441	239,9021194	1206,335803
28	04-jun-13 21:00:00	0	121503,1406	101520,1172	0,695776001	49761,90523	2144,938771	272,296372	6,715677308	986,5493937	272,296372	243,4836113	1208,874355
29	04-jun-13 22:00:00	0	121503,1406	101520,1172	0,695528665	49778,66323	2144,894105	271,7549748	6,542835191	987,058073	271,7549748	243,737787	1210,421969
30	04-jun-13 23:00:00	0	121503,1406	101520,1172	0,695377268	49786,4867	2144,765717	270,9043278	6,414544917	987,5667522	270,9043278	242,3356926	1211,197399
31	05-jun-13 00:00:00	0	121503,1406	101659,2699	0,695166146	49802,02548	2146,110605	267,7378657	6,414623513	988,0754215	267,7378657	239,7676976	1208,64213

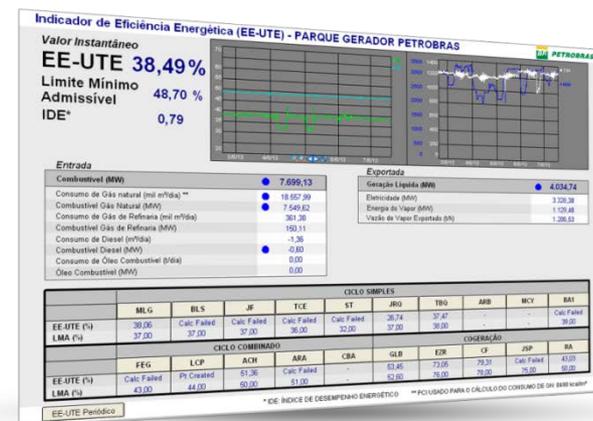
Dados EE-UTE - GLB INSTRUÇÕES

# Resultados obtidos

- Elaboração de telas de desempenho energético para 17 termoeletricas e de tela consolidada para o parque gerador;
- Monitoramento da eficiência energética em tempo real no COE e cálculo para inferência da eficiência esperada das usinas;
- Configuração de alarmes no *PIAlarm* para os desvios entre a eficiência realizada e a esperada em 9 usinas;
- Criação de novo procedimento operacional para registro e tratamento de desvios de eficiência energética.



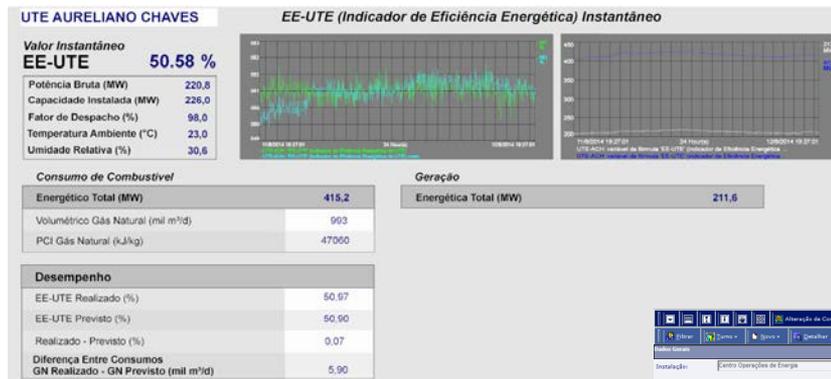
UTE Euzébio Rocha



Indicadores Gerais do Parque Gerador

# Exemplo de Caso Real

- Alarme de desvio de eficiência energética em 05/08/14 em uma UTE de ciclo combinado;
- O desvio de eficiência foi registrado no Sistema de Gestão Operacional (SGO);
- A operação da usina foi imediatamente acionada e identificou falha no *evaporative cooler*, possibilitando rápida correção do desvio.



Desvio de eficiência identificado em tempo real na tela da UTE

Seq.	Real.	Rel.	Aviso	SMO	Doc.	Cont.	Seal.	Ass.	Data/Hora	Finalização	Nome	Descrição	Usuário/Origem
									05/08/2014 11:00	UTE - BARRAGEM	Operador	Equipamento Afetado: UTE - BARRAGEM DE DRENAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS - FALHA - Foi observado alteração no valor de eficiência da UTE informando que a provável causa foi a falha do evaporative cooler. O ponto de operação ficou abaixo do valor de referência para a UTE.	Operador Baccara De Oliveira

Registro do desvio no SGO

# Evoluções da Solução

- Adequação da instrumentação para incorporação das demais usinas no processo de gestão operacional de eficiência energética;
- Projeto em andamento para diagnóstico e adequação da instrumentação das UTEs para monitoramento em três visões (planta, sistemas e grandes equipamentos);
- Configuração do PI AF;
- Treinamento e gestão de mudanças junto aos operadores locais.



Plant Level



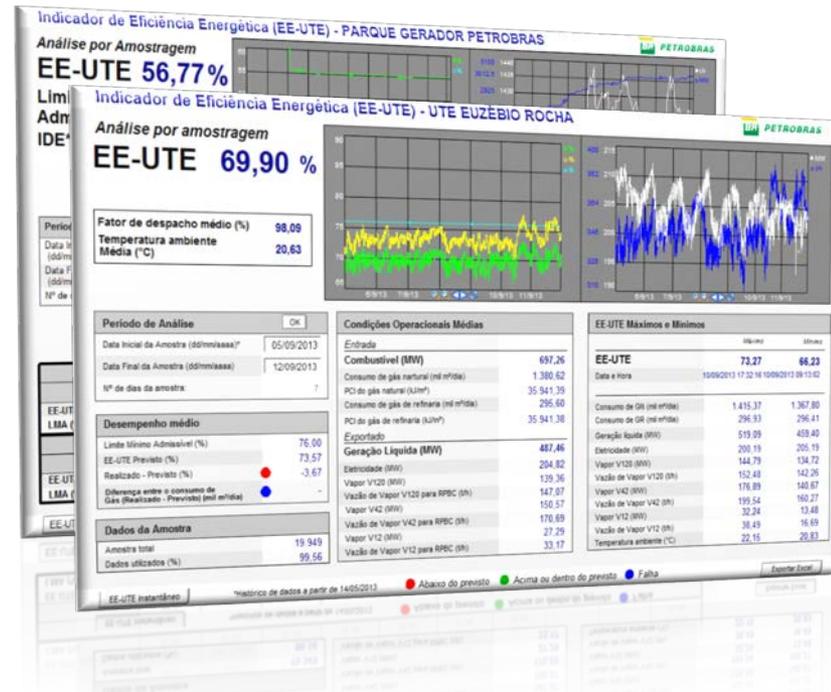
Units/Systems Level



Equipment Level

# Avaliação do desempenho energético em tempo real

“A construção desta ferramenta tornou possível o monitoramento *online* da eficiência energética das usinas, permitindo identificar, de forma mais ágil, possíveis desvios em relação à eficiência esperada, bem como tomar ações corretivas imediatas para reduzir as perdas energéticas”



## Business Challenge

- Apuração mensal da eficiência energética
- Defasagem na identificação dos desvios de eficiência
- Defasagem na atuação para correção dos desvios

## Solution

- Elaboração de telas para monitoramento em tempo real da eficiência energética
- Cálculo da eficiência esperada
- Criação de procedimento operacional para gestão da eficiência

## Results and Benefits

- Identificação rápida dos desvios de eficiência
- Maior agilidade na correção dos desvios
- Redução de perdas energéticas

# **Claudio Rucker**

rucker@petrobras.com.br

Gerente de Eficiência Energética – Gás e Energia  
Petrobras

# **Léo Vitor Junqueira**

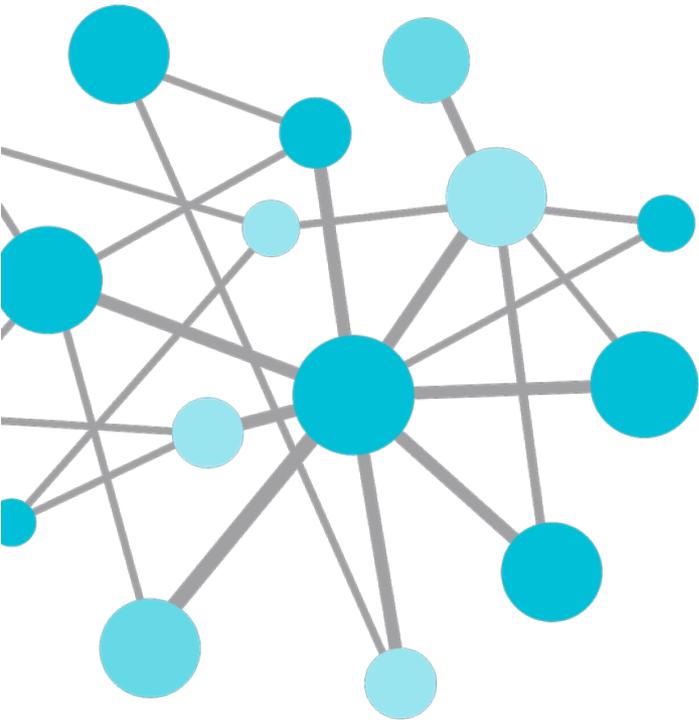
leo.vitor@radixeng.com.br

Coordenador de Projetos de Automação  
Radix

# **Bernard Cruzeiro**

bernard.cruzeiro@radixeng.com.br

Engenheiro de Automação  
Radix



THANK  
YOU

Brought to you by  **OSI**soft.