



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 08 7856

Tópico: Impacto da Desregulamentação do Setor Elétrico

PROPOSTA DE MELHORIA DOS PADRÕES DE QUALIDADE DE PEQUENAS CENTRAIS GERADORAS DOS SISTEMAS ISOLADOS A PARTIR DOS DADOS COLETADOS POR UM SISTEMA DE TELEMETRIA

CLÁUDIO L R
CONDE¹

RUI ALTIERI
SILVA

ALFREDO A V
BARROS

TADEU M M
BRANCO

JOÃO T
PINHO

ARCON-PA

ANEEL

ARCON-PA

UFPA

UFPA

RESUMO

O principal problema associado aos sistemas isolados da Amazônia é o controle insuficiente da operação das usinas, tendo como principais causas, as distâncias e dificuldades de acesso pelo fato das cerca de 330 centrais serem distribuídos de forma bastante esparsa. Assim, o controle do consumo dos combustíveis subsidiado por todo o setor elétrico, através da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC), também fica comprometido. Nesse sentido, a ANEEL e a ARCON desenvolveram um projeto piloto de telemetria para monitoração do desempenho operacional dessas usinas. Este trabalho descreve os motivadores e características do projeto e apresenta os resultados das análises dos dados coletados.

PALAVRAS-CHAVE

Sistemas isolados, qualidade, regulamentação, telemetria.

1.0 INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos isolados atendem aproximadamente 3% da população e 2,1%^[2] do mercado nacional, estando espalhados por 40% do território brasileiro, estando praticamente, restritos à Região Amazônica, que abrange, além dos estados da Região

Norte, parte dos estados de Mato Grosso,¹Tocantins e Maranhão.

Os sistemas isolados apresentam níveis de controle operacionais bastante diferenciados entre si. Nos sistemas maiores, o controle é efetuado de forma centralizada através de despacho de carga, atuando na programação e na execução em tempo real da operação. Na maioria dos sistemas isolados, entretanto, o controle operacional e despacho das unidades dependente quase que exclusivamente da atuação dos operadores das usinas termelétricas de pequeno porte, sendo caracterizados pela baixa qualidade de fornecimento e pelo elevado custo de operação e apresentam mercado bastante rarefeito, com uma média de menos de 1 consumidor/km², distribuído em uma área bastante extensa com dificuldade de infra-estrutura de estrada e comunicação.

Dessa forma, a Poder Concedente não dispõe de mecanismos eficazes para exercer as suas funções de órgão regulador e fiscalizador, tanto da qualidade como da eficiência do sistema, tendo em vista que somente as despesas com aquisição de combustíveis pela Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis - CCC, em 2004, foram superiores a 3 bilhões de reais. Vale ressaltar que a CCC é custeada através da contribuição de todas as concessionárias de

¹ARCON - Rua dos Tamoios, 1578–Belém–PA CEP-66.250-540

serviço público de energia elétrica do Brasil que atendem consumidores finais ^[1].

Considerando que a estruturação de medidas reguladoras capazes de tornar o controle dos sistemas isolados mais eficiente e econômico, requer, a princípio, a criação de um mecanismo que permita a obtenção e tratamento de dados que bem caracterizem esses sistemas; a ANEEL tomou a iniciativa, através de sua Superintendência de Regulação de Geração e da Agência Estadual de Regulação e Controle de Serviços Públicos (ARCON), sua delegada no Estado do Pará, de conceber um projeto piloto de telemetria para monitoramento de pequenas usinas dos sistemas isolados, adotando como principais diretrizes:

- possibilitar o acompanhamento operacional dessas usinas, sob o enfoque da qualidade do fornecimento e do controle do consumo de combustível;
- aplicar soluções eficazes, porém de baixo custo, com mínimo impacto tarifário;
- definir indicadores operacionais para pequenas usinas que possam ser adotados como padrão para regulação;
- utilizar o sistema proposto não apenas como uma ferramenta de fiscalização, mas também, de grande utilidade para as concessionárias no gerenciamento das usinas, com impactos positivos na redução de custos e melhoria nos indicadores de qualidade de fornecimento;

2.0 QUALIDADE DOS SISTEMAS ISOLADOS

A avaliação da qualidade do fornecimento de energia elétrica sob o aspecto da continuidade é, sem dúvida um ponto crítico do fornecimento de energia elétrica nos sistemas isolados. No Brasil, quando se pretende mensurar a qualidade do fornecimento de energia, busca-se, em primeiro lugar, apresentar os indicadores de DEC e FEC, que são a Duração e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora e medem, respectivamente, a quantidade de horas e o número de vezes que cada consumidor, em média, ficou interrompido em determinado conjunto de consumidores. O formato atual de apuração dos indicadores de qualidade é definido pela Resolução ANEEL 024, de 27 de janeiro de 2000.

As figuras 1 e 2 apresentam a evolução, no período de 2001-2003 dos indicadores de qualidade DEC e FEC médio do Brasil e das diversas regiões brasileiras. Vale ressaltar que, na Região Norte, aproximadamente 50% dos

consumidores são atendidos pelo Sistema Interligado Nacional ^[3].

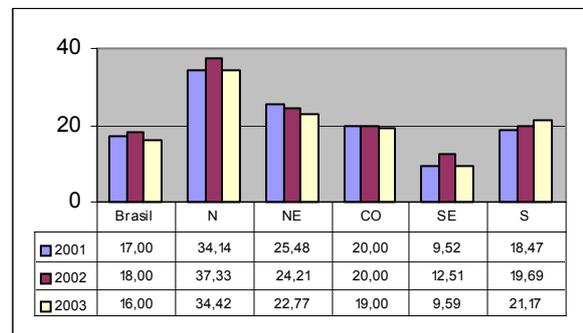


FIGURA 1 - Indicador DEC (h) – Brasil e Regiões – 2001 / 2003^[3].

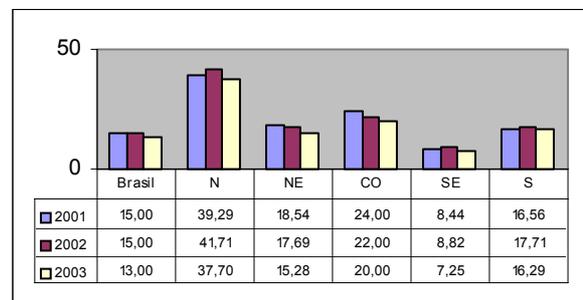


FIGURA 2 - Indicador FEC – Brasil e Regiões – 2001 / 2003^[3].

Pode-se observar que o histórico do DEC e FEC da Região Norte registra sempre padrões inferiores a das demais regiões do Brasil.

3.0 PROJETO PILOTO DE TELEMETRIA

A concepção do projeto piloto de telemetria foi baseada na aplicação mista de produtos existentes no mercado com soluções exclusivas. As figuras 3 e 4 apresentam, em linhas gerais o projeto. Pode-se observar que as grandezas elétricas de cada gerador são coletadas através de um medidor eletrônico capaz de obter os seguintes dados: corrente, tensão, potência e energia ativas e reativas (indutiva e capacitiva).

Os dados dos medidores são transferidos para um concentrador de dados integrado aos medidores, o qual possui uma placa interna de MODEM, linha discada ^[4], para conexão na Internet através de linha pública de telefonia fixa ou via satélite, pelo sistema IP SAT da Embratel.

Os dados coletados dos medidores são enviados via protocolo HTTP para um computador na ARCON, no qual está instalado o "software" do Sistema de Telemetria,

denominado de STM. O sistema STM disponibiliza essas informações em uma “home-page”, podendo o usuário optar por consultar os dados na forma de tabelas e gráficos ou, opcionalmente, exportar os dados recebidos para um “software” mais usual, tal como, o Excel ou Access, através do qual se pode efetuar um tratamento mais personalizado dos dados coletados.

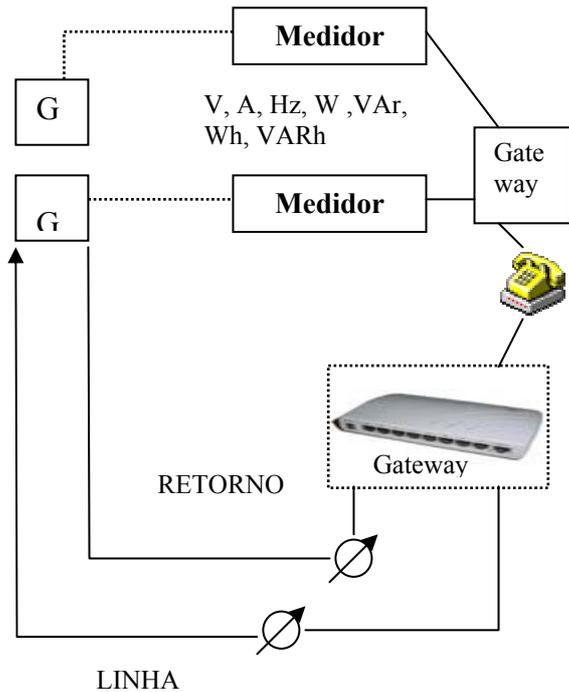


FIGURA 3 - Configuração do Sistema de Telemetria – Lado da Usina.



FIGURA 4 - Configuração do Sistema de Telemetria – Lado da Estação Central.

Visando atender a concepção inicial de controle de consumo integralizado por usina (e não por unidade geradora, para redução de custos), no projeto piloto de telemetria foram introduzidos 02 (dois) medidores de fluxo digitais, instalados, respectivamente, na rede de suprimento e retorno de combustível de cada usina.

Com o objetivo de efetuar também a telemetria da coleta de dados de consumo de combustível, foi instalado em uma das usinas um equipamento que permite a transmissão dos dados obtidos através dos medidores de fluxo digitais. Este processador foi desenvolvido pela Universidade Federal do Pará, especificamente para o projeto piloto de telemetria de usinas. A tabela 1 estão relacionadas as usinas nas quais foram instalados os equipamentos do projeto piloto.

TABELA 1 - Usinas Geradoras do Projeto Piloto de Telemetria.

USINA	POTÊNCIA INSTALADA (kW)	EMPRESA
Salvaterra	2.677	Guascor
Breves	6.070	Guascor
Santana do Araguaia	4.500	Celipa
Barreira do campo	480	Celipa

Vale ressaltar que, inicialmente, as informações de algumas usinas foram enviadas com uma periodicidade bastante inferior ao esperado que é de, pelo menos, uma vez ao dia, principalmente, devido à baixa qualidade das linhas de telefonia pública e problemas com o provedor de Internet inicialmente adotado. Posteriormente foi providenciada, em uma usina, a alteração do sistema de transmissão de dados para o Sistema de Internet via Embratel - IP SAT o qual provou ser um meio bastante eficiente para transmissão de dados, tendo como contrapartida um custo operacional mais elevado, devido à necessidade de contratação de um canal a um custo médio mensal de R\$ 850,00.

A tabela 2 apresenta o custo médio de implantação da telemetria por usina, considerando o parque gerador e as condições existentes no estado do Pará.

TABELA 2 - Custo de Implantação do Sistema de Telemetria.

Tipo de Comunicação	Custo Unitário	
	R\$	US\$ (*)
Telef. Convencional	62.000,00	20.666,67

IP SAT Embratel	70.000,00	23.333,33
-----------------	-----------	-----------

(*) Considerando US\$ 1,00 = R\$ 3,00

A tabela 3 apresenta o custo médio anual estimado de operação do sistema de telemetria.

TABELA 3 - Custo Anual de Operação do Sistema de Telemetria.

Tipo de Comunicação	Custo Unitário/ano	
	R\$	US\$
Telefonia Convencional	350,00	116,67
IP SAT Embratel	800,00	266,67

(*) Considerando US\$ 1,00 = R\$ 3,00

A tabela 4 apresenta o custo médio anual estimado de manutenção do sistema de telemetria.

TABELA 4 - Custo Anual de Manutenção do Sistema de Telemetria.

Tipo de Comunicação	Custo Unitário/ano	
	R\$	US\$
Telefonia Convencional	150,00	50,00
IP SAT Embratel	200,00	66,67

(*) Considerando US\$ 1,00 = R\$ 3,00

4.0 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados dos parâmetros elétricos disponibilizados pela Internet não são tratáveis diretamente. Para tal faz-se necessária a utilização de um programa conversor denominado Programa de Análise de Demanda – PAD. A figura 5 apresenta a tela pela qual se procede a etapa de importação de dados disponibilizados pela Internet com periodicidade de 5, 15, 30 ou 60 minutos.

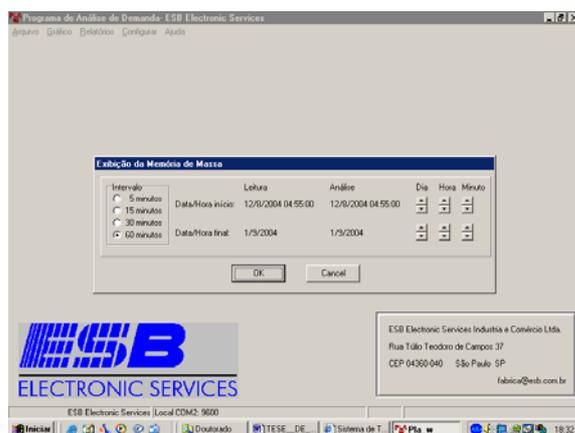


Figura 5 – Tela de importação de dados de telemetria.

Os dados das unidades geradoras são disponibilizados em planilha “Excel”, juntamente com os dados de consumo de óleo diesel.

Dessa forma, podem ser efetuados a análise e o tratamento dos dados, inclusive com a criação prospectiva e apuração de indicadores de desempenho para acompanhamento do parque gerador.

5.0 INDICADORES DE DESEMPENHO PARA PEQUENAS USINAS

Os dados recebidos pelo sistema de telemetria, no estágio atual de coleta, permitem os seguintes tratamentos de informação.

5.1 Curvas de carga e Interrupções no sistema

Quando da verificação de perturbações na usina que tenham como conseqüência perda de carga, a taxa de variação da entre uma mediação e a seguinte passa a apresentar valores bastante elevados, fora do padrão normal de comportamento da curva de carga. Assim, através da comparação com curvas de carga padrão, pode-se observar se em determinado momento houve a ocorrência de interrupções no sistema elétrico, através do uso do filtro adequado. Para exemplificar, na tabela 5 estão relacionadas as ocorrências de interrupções no mês de julho/2004 em determinada usina. A tabela 6 apresenta a leitura de demanda da referida UTE a cada 5 minutos, no mesmo mês, após a aplicação de um filtro de 50% na taxa de variação de carga na UTE.

Tabela 5 – Ocorrências Originadas em uma UTE no Mês de Julho/2004.

data	Início	Tempo Total	MW Int	Descrição do desligamento	Análise Preliminar
19-jul-04	22:10:00	8	1,4	Desligamento da UDE. Em operação GG-01, GG-03 GG-04.	Devido ao desligamento automático do GG-03, por falha no disjuntor do grupo. A UDE retornou a operação com os GG-01, GG-02 e GG-04. Após inspeção, o GG-03 retornou a operação. Em análise.
20-jul-04	05:25:00	8	1,12	Desligamento da UDE. Em operação GG-01 e GG-03.	Devido ao desligamento automático do GG-03, por falha no disjuntor do grupo. A UDE retornou a operação com GG-01 e GG-02. Após inspeção o GG-03 retornou a operação.
20-jul-04	08:05:00	4	1,1	Desligamento da UDE. Em operação GG-01 e GG-03.	Devido ao desligamento automático do GG-03, por falha no disjuntor do grupo. A UDE retornou a operação com GG-01 e GG-02. Em análise.
24-jul-04	12:08:00	7	0,47	Intervenção no alimentador. Em operação os GG-01 e GG-04.	Devido ao desligamento total da UDE por curto circuito na rede de distribuição do alimentador SV-02. Perda de estabilidade. A UDE retornou com os GG-01 e GG-03.

Tabela 6 – Registros de Demanda em uma UTE Aplicando Filtro de Variação >50%.

Data	Hora	G1	G2	G3	G4	Total	Var > 50%
19/7/2004	22:10:00	0	21	0	30	51	95,26
19/7/2004	22:15:00	0	240	31	316	587	1050,98
19/7/2004	22:20:00	482	161	405	350	1398	138,16
20/7/2004	05:20:00	118	0	0	160	278	76,76
20/7/2004	05:25:00	20	0	58	0	78	71,94
20/7/2004	05:30:00	627	0	410	0	1037	1229,49
20/7/2004	06:05:00	336	0	0	0	336	65,71
20/7/2004	06:10:00	505	0	358	0	863	156,85
24/7/2004	12:10:00	0	0	196	0	196	77,10
24/7/2004	12:15:00	0	160	429	0	589	200,51

Pode-se observar que as ocorrências relacionadas na tabela 5 foram também apresentadas na tabela 6 pelo filtro de demanda, com relativa aproximação no horário das ocorrências. Ou seja, através do sistema de

telemetria pode-se obter com razoável margem de precisão a relação de ocorrências que ocasionaram interrupção em consumidores.

A nível de regulação, tais informações permitem, entre outras ações, aferir os indicadores de DEC e FEC das empresas.

5.2 Curva de consumo específico das usinas

Os dados de demanda e de consumo de óleo diesel das usinas permite uma análise diária do consumo específico de cada central. A figura 6 apresenta uma curva mensal do consumo específico de uma UTE.

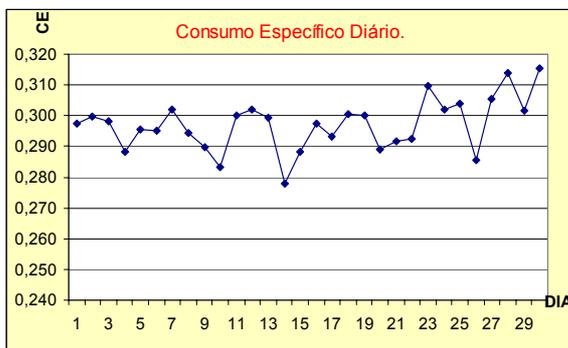


Figura 6 – Curva de Consumo Específico de uma UTE – Setembro/2004.

Na figura 7 é apresentado o histograma de geração por unidade da mesma UTE da figura 6 no mesmo mês, no qual são apresentadas as quantidades de registros de demanda de cada unidade geradora, em relação à potência nominal das referidas unidades.

As faixas de potência que compõe o diagrama foram escolhidas em função do desempenho esperado de grupos geradores diesel, no que diz respeito ao consumo específico. Vale ressaltar que, as faixas de consumo entre 60% e 80% e entre 80% e 100% são consideradas as de desempenho mais econômico.

Gerador	Potência (kW)	Intervalos (01 h) por faixa de operação			
		0-40%	40-60%	60-80%	80-100%
G-1	845	11	61	109	21
G-2	350	3	8	0	0
G-3	637	3	61	154	5
G-4	845	108	0	4	7

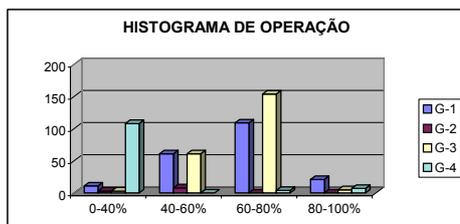


Figura 7 – Histograma de Geração por Faixa de Potência da UTE Relacionada na Figura 6.

No mesmo período, o desempenho da usina em termos de consumo específico foi o seguinte:

C_{esp} médio = 0,293;

C_{esp} máximo = 0,304; dia 13/06;

C_{esp} mínimo = 0,265; dia 15/06.

As tabelas 7 e 8 apresentam o histórico de demanda dos geradores da UTE relacionada na figura 7, por faixa de operação, no dia de registro dos valores de consumo específico máximo e mínimo, respectivamente.

Tabela 7 – Histórico de Geração para $C_{esp}=0,304$.

Gerador	0-40%	40-60%	60-80%	80-100%
G1	0	3	13	0
G2	0	0	0	0
G3	0	2	22	0
G4	11	0	0	0

Tabela 8 – Histórico de Geração para $C_{esp}=0,265$.

Gerador	0-40%	40-60%	60-80%	80-100%
G1	2	0	9	3
G2	0	0	0	0
G3	0	3	17	4
G4	5	0	0	5

Pode-se observar que no dia de pior desempenho em termos de consumo específico, apresentado na tabela 7, o gerador G-4 operou durante onze horas na faixa de 0-40% de sua potência nominal.

No dia de melhor desempenho, apresentado na tabela 8, foi tomado a decisão de desligar o gerador G-1 em determinado momento, para permitir a operação do gerador G-4 na faixa de 80% - 100% em metade do seu tempo de operação. Esta decisão operativa possibilitou o melhor desempenho em termos de consumo da usina no período considerado.

A análise do consumo específico das usinas demonstrou que a modulação da potência das unidades geradoras em função da curva de carga da UTE tem influência considerável no desempenho daquele indicador.

Dessa forma, a partir dos dados coletados é possível abstrair um indicador que represente de forma sintética o desempenho da usina no que diz respeito à modulação das UG em relação à curva de carga da usina e a forma de despacho das mesmas, o qual será denominado de fator de utilização médio (ρ).

Inicialmente, deve-se calcular o fator de utilização dos geradores da usina em todas as horas do período considerado, conforme apresentado na equação 1.

$$Fu_i = \left(\sum_{j=1}^n P_j / Pg_i \right) / n \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

Fu_i – Fator de utilização de cada gerador da usina;

P_j - Potência do gerador “l” no horário “j”;

Pg_i - Potência nominal do gerador “l”;

N - Número total de horas do período considerado na apuração.

O indicador ρ da usina é então definido como a média dos fatores Fu_i , conforme abaixo descrito:

$$\rho = \frac{\sum_i^m (Fu_i \times Pg_i)}{\sum_i^m (Pg_i)}$$

Sendo:

m – Número total de geradores na usina.

Na tabela 9 estão apresentados os valores do indicador ρ para os exemplos apresentados nas tabelas 7 e 8.

Tabela 9 - Correlação entre o ρ e o Cesp das usinas

UTE	C. Específico	P
“A”	0,265	0,707
“A”	0,304	0,619

A leitura da tabela 9 indica que a UTE “A” apresentou um consumo específico bastante satisfatório (0,265) quando suas unidades geradoras operaram, em média, na faixa de 70% do valor nominal. Pelo exposto, o indicador “ ρ ” correlaciona a forma de modulação e de despacho das unidades geradoras de determinada usina com o consumo específico das mesmas.

5.3 Reserva operativa e tempo sem reserva operativa

Conceitualmente, para pequenos sistemas, a Reserva Operativa (RO) pode ser definida como sendo a diferença entre a potência disponível na usina, excluído o gerador de maior capacidade e a demanda máxima. Os dados obtidos através do sistema de telemetria permitem determinar não apenas a Reserva Operativa da usina, mas também o Tempo Sem Reserva Operativa (TSRO), que nada mais é do que a quantidade de horas em determinado período que a usina ficou vulnerável à perda de sua maior unidade. A tabela 10 apresenta um quadro comparativo entre esses indicadores e os indicadores de qualidade do fornecimento DEC e FEC das localidades atendidas pelas respectivas usinas geradoras.

Tabela 10 – Reserva Operativa das Usinas e de Indicadores de Qualidade dos conjuntos

Usina	Indicador	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4
A	RO (%)	2,3	-2,5	15,5	15,3
	TSRO (%)	0,0	0,3	0,0	0,0
	DEC (% meta)	25,4	71,1	67,6	45,0
	FEC (% meta)	109,2	45,2	31,9	34,0
B	RO (%)	-11,8	-10,0	-17,0	10,8
	TSRO (%)	7,0	8,0	33,0	0,0
	DEC (% meta)	121,1	52,8	181,3	23,3
	FEC (% meta)	112,6	57,0	71,3	26,0
C	RO (%)	17,9	-3,9	12,4	18,8
	TSRO (%)	0,0	0,1	0,0	0,0
	DEC (% meta)	44,6	169,7	123,8	139,4
	FEC (% meta)	96,3	126,1	42,2	110,7

Como pode ser observado na tabela 10, o mês de pior desempenho em termos de reserva operativa, em todas as usinas, coincidiu com o registro de valor de DEC mais elevado, o que demonstra a existência de correlação entre os indicadores de usina RO e TSRO e os de qualidade DEC e FEC.

6.0 CONCLUSÃO

A análise dos dados apurados indica um grande potencial de economia no consumo de combustíveis e de melhoria da qualidade do fornecimento das usinas pela observação dos dados coletados pelo sistema de telemetria. Além disso, a ação de controle sobre o consumo de combustíveis tem o efeito positivo de melhorar os recursos disponíveis às concessionárias para controle de recebimento e estoque de combustíveis.

Outras ações devem ser definidas no âmbito do projeto, tais como a prospecção de indicadores de desempenho para essas usinas, que poderão em última análise subsidiar a elaboração de documentos regulatórios pela ANEEL.

7.0 BIBLIOGRAFIA

- [1] “Plano Anual de Combustíveis – Sistemas Isolados 2004”; ELETROBRAS, GTON; janeiro de 2004.
- [2] ELETROBRAS, CCPE/CTEM. Informe de Mercado 32, Dez 2003
- [3] Site: <http://www.aneel.gov.br>, consultado em 22/10/2004.
- [4] “Sistema de Supervisão Remoto Utilizando Linha Discada”; Francisco Kersul, XVII SNPTEE; outubro de 2004.