



ILHAMENTO VOLUNTÁRIO DE PCH PARA MELHORAR OS INDICADORES DE QUALIDADE DEC E FEC DO SISTEMA ELÉTRICO DE SUA REGIÃO DE INFLUÊNCIA

Tema: Geração Distribuída

Autores:

PRISCILA MARIA BARRA FERREIRA
CARLOS EDUARDO VIZEU PONTES
BEATRIZ SILVA ABDALLA
LEANDRO PIRES ESPÍNDOLA
CAIO CÉSAR DUQUE DA ROSA
JULIO CESAR MEDEIROS
ROBERTO SANTANA DA ROSA
LÚCIO FERNANDES DOS SANTOS
JOAO VICENTE HOMSY PAIM COSTA
MARCOS PAULO DE SOUZA
LAYSE DE VASCONCELLOS HONÓRIO
ALEX SANDRO GONCALVES DUQUE

Empresa: LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S/A

Autores:

AILTON CARLOS DE SOUZA
PEDRO WELSON MOLINA

Empresa: IGUAÇU

DADOS DO AUTOR RESPONSÁVEL

Nome: PRISCILA MARIA BARRA FERREIRA
Cargo: Engenheira Eletricista
Endereço: Av. Marechal Floriano, 168, Bloco 4, 4º andar
Telefone: (21) 2211-4582
Fax:
E-Mail: priscila.ferreira@light.com.br

PALAVRAS-CHAVE: Distribuição de Energia Elétrica, Geração Distribuída, Operação Ilhada, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Rede de Média Tensão

Resumo

Este trabalho apresenta a utilização de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH Areal) como recurso de suprimento de energia às cidades alimentadas pela rede de distribuição de 25 kV quando a mesma tiver que ser impedida para serviços de manutenção corretiva (defeitos) ou preditiva



(impedimentos programados). Em condições normais esta PCH opera em paralelo com o sistema da Light injetando sua geração no sistema de acordo com nível de afluência do rio no qual ela está localizada. A proposta é operar a PCH de forma ilhada mantendo alimentadas as duas cidades quando da interrupção do fornecimento pela Light, melhorando, assim, os índices de continuidade de fornecimento de energia elétrica e o nível de satisfação dos clientes. A operação ilhada também é interessante para a PCH tendo em vista que, quando do impedimento da rede, a mesma poderá injetar parte de sua produção no sistema. Este trabalho apresenta todos os estudos e testes que foram feitos para viabilizar a primeira operação ilhada voluntária de uma central geradora com a rede de distribuição de média tensão da Light, e os cuidados que foram tomados para se garantir a qualidade da energia no sistema ilhado e a segurança dos equipamentos e pessoas envolvidos no processo.

1. Introdução

A Pequena Central Hidroelétrica (PCH) Areal localiza-se no município de Santa Rita do Jacutinga, Estado de Minas Gerais. Esta PCH está conectada ao sistema de distribuição da Light e iniciou sua operação comercial em julho de 2011.

A conexão da PCH Areal foi realizada na ponta da Linha de Subtransmissão Aérea (LSA) Tamandaré, circuito de 25 kV proveniente da Subestação Transformadora da Distribuição (SETD) Santa Cecília (138/34,5 - 25 kV), localizada em Barra do Pirai – RJ. Apresentamos o traçado da LSA Tamandaré no apêndice 1.

Foram dois os fatores que motivaram a realização deste trabalho: a melhoria dos índices de continuidade de fornecimento de energia elétrica aos nossos clientes de Conservatória (6º distrito de Valença) e Santa Isabel do Rio Preto (3º distrito de Valença) e a redução dos prejuízos da PCH Areal pela energia que deixa de exportar no período de desligamento da LSA Tamandaré. A região analisada possui apenas a LSA Tamandaré como circuito alimentador de 25 kV. Em caso de desligamento da mesma as SEDS da região ficam desligadas, tendo em vista a ausência de recursos na rede de 25 kV. A possibilidade da PCH Areal operar de forma ilhada supre parcialmente esta carência de recursos na região.

Até a presente data, já foram realizados 11 ilhamentos com a PCH Areal. Dentre eles, tivemos: testes da operação ilhada,

programações para realização de manutenção na LSA Tamandaré e ilhamentos para correção de defeitos na LSA Tamandaré (emergência). Nas próximas seções apresentaremos resultados de alguns destes ilhamentos.

2. O sistema de distribuição

A LSA Tamandaré alimenta 4 SEDS e também um cliente que é alimentado diretamente pela rede de 25 kV. Esta linha possui aproximadamente 50 Km de extensão, e possui 2 religadores instalados em seu tronco. O primeiro religador está instalado imediatamente após a SED Ipiabas, o segundo está instalado imediatamente após a SED Conservatória. Ambos religadores podem ser operados remotamente pelo nosso centro de operação da distribuição (COD). Ver apêndice 2.

No ponto de conexão o acessante possui, em terreno próprio, uma subestação blindada que possui: medição de faturamento – CCEE, medição de qualidade e disjuntor de proteção de entrada, que tem como filosofia desligar o cliente da rede em caso de defeitos internos. A PCH Areal possui a seguinte capacidade instalada:

Tabela 1 - Capacidade Instalada da PCH Areal

Nº da Unidade	Potência Aparente (kVA)	Potência Ativa (kW)
01	5.000	4.416
02	550	442



Neste trabalho estudamos e testamos apenas o ilhamento da PCH com as SEDS Santa Isabel (STI) e Conservatória (CVT). Apresentamos a capacidade instalada destas subestações no apêndice 3.

3. Os tipos de ilhamento:

A operação ilhada poderá ser utilizada em duas situações para alimentar as nossas subestações: em caso de defeitos na LSA Tamandaré que demorarão um tempo prolongado para serem reparados ou em caso de impedimentos programados nesta LSA.

A ilha poderá abranger as SEDS Santa Isabel e Conservatória ou apenas a SEDS Santa Isabel. A abrangência da ilha será determinada pela localização do defeito ou pelo trecho de rede a ser impedido. Defeitos ou impedimentos entre a SETD Santa Cecília e a SEDS Conservatório nos permitem realizar um ilhamento com as duas SEDS. Defeitos ou impedimentos entre as SEDS Conservatória e Santa Isabel nos permitem realizar um ilhamento apenas com Santa Isabel.

Para isolar a ilha do defeito ou do trecho de rede impedido poderão ser utilizados os religadores ou as chaves facas (KS) existentes no tronco da Tamandaré.

4. Os estudos:

Antes de realizarmos os testes de ilhamento, foram realizados estudos de fluxo de potência para avaliarmos o controle de tensão e de carregamento da rede. Foram modelados três casos de fluxo de potência:

- 1- A rede energizada em vazio;
- 2- As cargas de Santa Isabel ligadas e Conservatória energizada sem carga;
- 3- As cargas de Santa Isabel e Conservatória ligadas.

Como resultado deste estudo, montamos três tabelas que especificam qual tensão que deverá ser mantida nos terminais da máquina em função da potência que está sendo despachada. As simulações foram feitas no

programa ANAREDE. Abaixo apresentamos os resultados dos estudos:

4.1. Rede em vazio:

Tabela 2 - Controle de Tensão com a Rede em Vazio

Despacho Ativo	-	
Despacho Reativo	-	
	25 kV	6 kV
Conservatória	0,99 pu	0,982 pu 0,967 pu
Santa Isabel	0,99 pu 24,75	0,975 pu -
PCH 25 kV	0,99 pu	
PCH 13,2 kV (Vger)	1 pu 13,2 kV	

4.2. Cargas de Santa Isabel ligadas + Conservatória sem carga

Ver apêndice 4

4.3. Cargas de Santa Isabel e Conservatória ligadas

Ver apêndice 5

5. Os testes:

5.1. Primeiro teste de ilhamento – 10/01/2012:

O primeiro teste de ilhamento da PCH Areal foi realizado no dia 10 de janeiro de 2012. Neste teste planejávamos realizar um ilhamento com as subestações Santa Isabel e Conservatória. O objetivo do mesmo era avaliar se realmente seria possível operarmos a usina de forma ilhada, visando posteriormente oficializarmos tal recurso através de uma instrução de operação.

A programação deste teste foi feita através de uma Nota de Informação (NI), na qual estava registrado que o mesmo deveria ser realizado entre 15:00 e 20:00 horas. Estava previsto realizarmos o ilhamento em duas



partes: na primeira a usina assumiria a carga da SEDS Santa Isabel, na segunda ela assumiria a carga da SEDS Conservatória. No entanto, tivemos alguns atrasos na programação e, para não ultrapassarmos o horário limite determinado na NI, realizamos apenas a primeira etapa do teste.

Segue abaixo a seqüência de manobras realizadas:

1. Redução gradativa do despacho da PCH Areal até 0MW, em seguida abertura do Religador na saída da PCH Areal (Religador N° 01).
2. Abertura do RD-566747.
3. Abertura dos 4 religadores dos alimentadores de 6kV da SEDS Santa Isabel.
4. Fecha-se o rReligador na saída da PCH Areal (N° 01) re-energizando o referido trecho da LSA Tamandaré pela geração da PCH.
5. Fechamento, um por um, dos religadores dos alimentadores de 6kV da Subestação Santa Isabel.

Retorno à configuração original:

6. Desligamento da usina - abertura do religador da própria usina.
7. Fechamento do religador 566747.
8. PCH solicita ao COD autorização para se sincronizar. Após a sincronização da usina o teste de ilhamento se encerrou.

Apresentaremos os registros de tensão e corrente do medidor de qualidade que fica na subestação blindada de entrada da PCH. Seguem abaixo os gráficos 1 e 2 com o comportamento da corrente e da tensão neste ponto. O teste de operação ilhada iniciou por volta das 17:20 hs e terminou por volta das 19:10 hs.

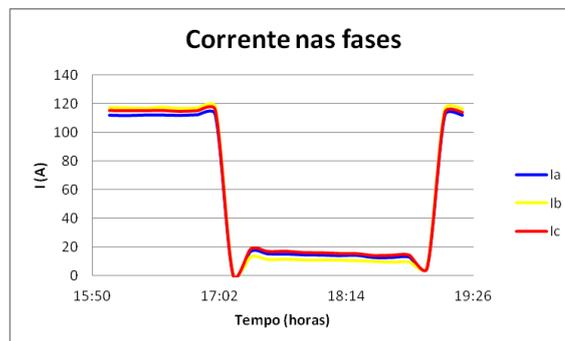


Gráfico 1 - Corrente nas Fases



Gráfico 2 - Tensão de Linha

5.2. Segundo teste de ilhamento:

O segundo teste de ilhamento foi realizado no dia 07 de março de 2012. Neste teste planejávamos concluir o teste, incluindo a etapa de ilhamento com a SEDS Conservatória que não foi realizada no teste anterior.

Neste teste a PCH assumiu a carga de Santa Isabel sem interrupção de carga, pelo método que denominamos de “suave”. O despacho da usina foi ajustado para um valor compatível ao da carga da SEDS Santa Isabel naquele horário, com base na análise do histórico de demanda desta subestação. Em seguida abrimos o religador 566747 e a PCH assumiu a carga de Santa Isabel sem haver nenhuma interrupção no fornecimento de energia no local. Isto ocorreu porque, como a geração era compatível com a carga da ilha, o desbalanço carga-geração foi muito pequeno, e conseqüentemente a oscilação de frequência da máquina também foi pequena.

Na segunda etapa do teste, abrimos o religador 3839 e todos os religadores do 6 kV



de Conservatória. Em seguida, fechamos o 566747 e fomos fechando um a um os religadores do 6 kV. Assim, a PCH assumiu toda a carga de Conservatória.

Abaixo apresentamos os gráficos 3 e 4 com os registros da medição de qualidade:

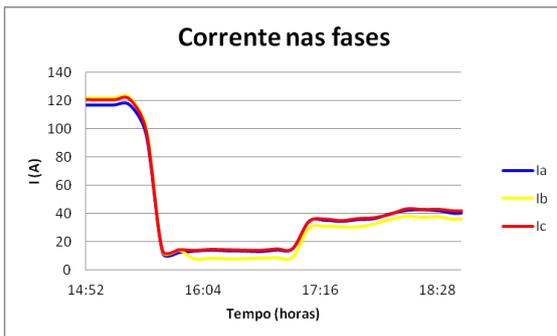


Gráfico 3 - Corrente nas Fases

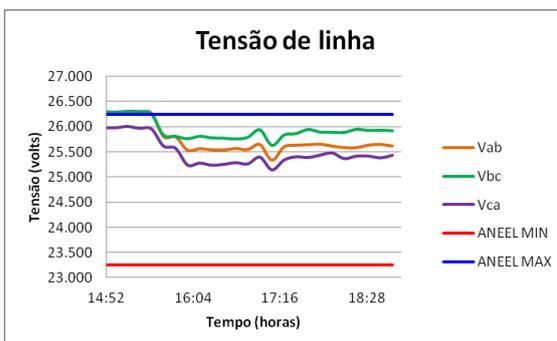


Gráfico 4 - Tensão de Linha

Apresentamos no apêndice 6, as medições realizadas no no site da usina.

5.3. Primeiro ilhamento para realização de impedimento programado:

O primeiro ilhamento para realização de um impedimento programado foi realizado no dia 27/03/2012. Neste teste, realizamos ilhamento da PCH Areal com as cargas das SEDS Santa Isabel e Conservatória. O ilhamento foi feito mais uma vez pelo método “suave”, só que desta vez abrindo-se o religador 3839 da LSA Tamandaré entre as SEDS Ipiabas e Conservatória. Antes da abertura do religador ajustamos o despacho da PCH em um valor compatível com a carga

destas subestações. Nos impedimentos que forem realizados através da técnica de ilhamento suave só haverá interrupção no fornecimento de energia elétrica no momento em que for se desfazer a ilha. Segue abaixo o resumo das manobras realizadas:

- Abertura do religador 3839 às 10:38 h
- Cerca de 30 minutos após iniciada a operação no “modo ilha” houve um curto-circuito (transitório) na LSA Tamandaré, que fez com que o religador da usina desligasse pela operação da proteção de acoplamento (Função 59N-Sobretensão Residual de Neutro).

A partir da queda do sistema ilhado, iniciou-se o processo de levantamento das cargas das subestações desligadas. Houve certa dificuldade no restabelecimento das SEDS porque, ao tomar carga, a frequência do gerador excursionou abaixo de 60 Hz, entrando em sua temporização de subfrequência, desligando-se automaticamente.

- 1ª tentativa de restabelecimento de Santa Isabel: 11:28 hs - Atuação da função de subfrequência.

- 2ª tentativa de restabelecimento de Santa Isabel: 11:30 hs - Atuação da função de subfrequência. Durante a tomada de carga chegou a 690 RPM (57,5 Hz), sendo que a velocidade nominal é 720 RPM.

- 3ª tentativa de restabelecimento de Santa Isabel: 11:38 hs - Atuação da função de subfrequência.

- 4ª tentativa de restabelecimento de Santa Isabel: 11:40 hs - Ajuste da velocidade da máquina para 735 RPM, antes do fechamento do religador. Santa Isabel re-estabelecida com sucesso.

- Tentativa de restabelecimento de Conservatória: 11:46 hs - Atuação da função de subfrequência ao fechar o 1º circuito de Conservatória.

- Tentativa de restabelecimento de Santa Isabel: 11:49 hs - Atuação da função de subfrequência



- Tentativa de restabelecimento de Santa Isabel: 11:51 hs - Ajuste da velocidade da máquina para 745 RPM. Atuação da função de sobrefrequência.

- Tentativa de restabelecimento de Santa Isabel: 12:06 hs - Ajuste da velocidade da máquina para 735 RPM. Santa Isabel reestabelecida com sucesso.

- Fechamento da LDA Beleza de Conservatória: 12:12 hs – OK.

- Fechamento da LDA Cachoeira: 12:14 hs – OK. - Durante a tomada de carga a velocidade da máquina variou entre 709 e 740 RPM (59,1 Hz e 61,7 Hz)

- Fechamento da LDA Recreio: 12:19 hs - OK

Com estas medidas conseguimos levantar todas as cargas da ilha, permanecendo nesta modalidade de operação até aproximadamente às 21:00 horas, quando, então, a rede foi normalizada. A LSA Tamandaré, durante a operação ilhada, foi impedida, entre Ipiabas e Conservatória, para a execução dos serviços na rede.

Abaixo apresentamos os gráficos 5, 6, 7 e 8, com os registros da medição de qualidade, nos dois momentos do ilhamento: antes e depois do curto na rede.

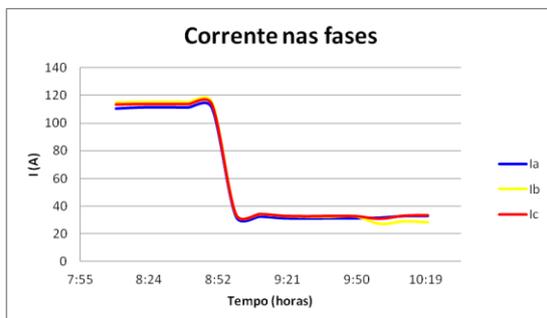
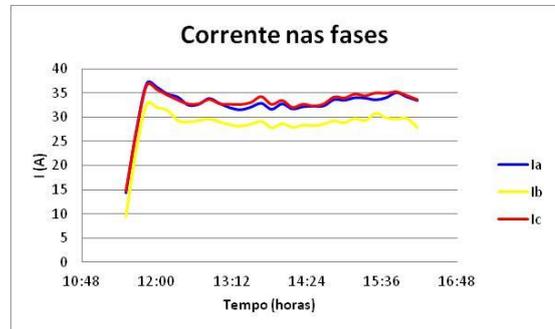


Gráfico 5 – Corrente nas Fases



Gráficos 6 - Corrente nas Fases

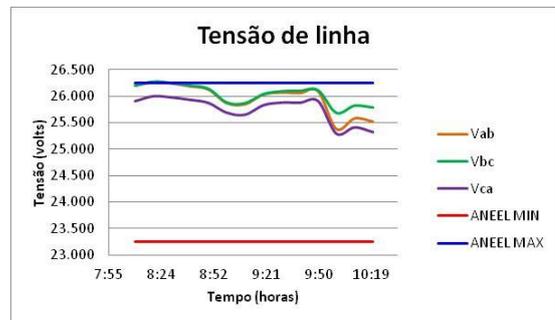
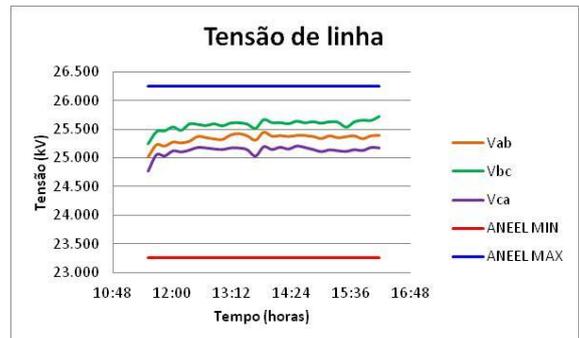


Gráfico 7 – Tensão da Linha



Gráficos 8 - Tensão de Linha

Apresentamos no apêndice 7, as medições realizadas no site da usina.

6. Conclusões:

Após a realização de todos os estudos e testes, que foram apresentados neste trabalho, concluímos que é possível e viável utilizar a PCH Areal, operando de forma ilhada, como recurso para as cargas atendidas pela LSA Tamandaré. Com a realização destes testes,



pela primeira vez na história da Light tivemos um gerador operando de forma ilhada com a rede de distribuição.

Em vários dos testes que realizamos, a ilha foi formada através do método “suave”. Neste método, realizamos a abertura do religador da rede da Light após fazermos o ajuste do despacho da PCH. Neste ajuste, adequamos a geração da usina ao valor estimado da carga da ilha para o horário da manobra e com isso a usina ilhou sem ocorrer nenhuma interrupção no fornecimento de energia elétrica aos clientes da região. O sucesso destes dois testes nos permite chegar a três conclusões:

- 1- É possível realizar impedimentos longos na rede de distribuição utilizando o método de ilhamento suave, no qual os clientes só ficaram “sem luz”, por poucos minutos, no momento em que formos desfazer a ilha.
- 2- É possível ocorrer um ilhamento indesejado e involuntário de uma PCH com a rede de distribuição mesmo que a proteção esteja adequadamente ajustada. Para isto, basta ocorrer uma abertura

indevida de um disjuntor ou religador e neste momento estarmos em uma condição de operação na qual a geração seja compatível a carga da ilha.

- 3- Ficando provada a possibilidade de ocorrer um ilhamento indesejado e involuntário, torna-se indispensável a ativação da função carga viva nos religadores da rede e a instalação de um Esquema de Supervisão de Tensão de Retorno (ESTR) nos disjuntores de linha.

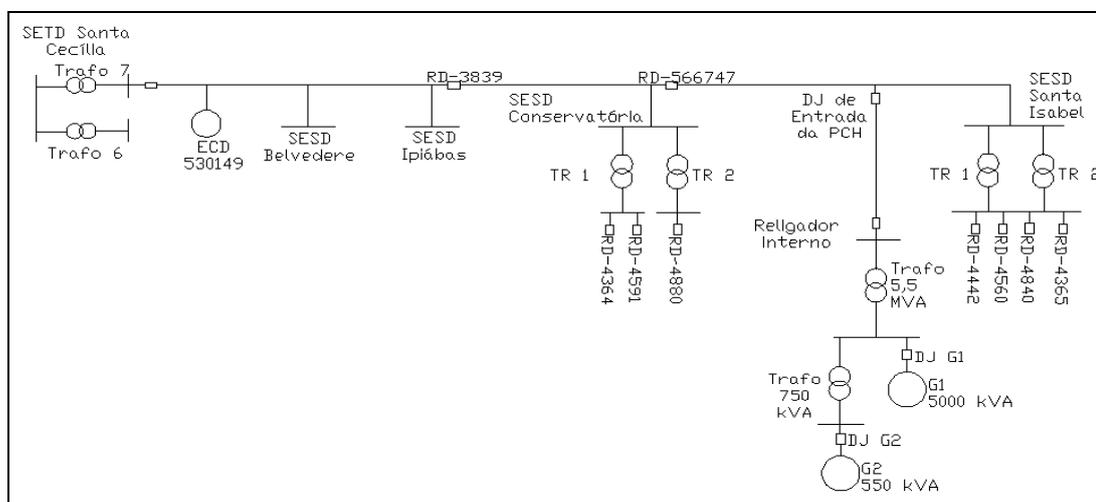
O controle de tensão realizado pela PCH na rede ilhada ficou dentro dos limites determinados pela ANEEL.

A utilização de geradores distribuídos na forma ilhada traz um ganho de desempenho grande para concessionário, tendo em vista que seus clientes estarão sendo atendidos durante o reparo de um defeito ou durante um impedimento na rede. Em contrapartida, este tipo de operação também traz um ganho para o agente gerador, que não precisará ficar sem gerar durante o período de desligamento.

7. Apêndices:



Apêndice 1 - Trajeto da LSA Tamandaré



Apêndice 2 - Diagrama Unifilar da Rede de Distribuição

Apêndice 3 - Transformadores e Circuitos das SEDS

Transformador	Capacidade (MVA)	Circuitos
CVT - 01	2	LDA Cachoeira
		LDA Beleza
CVT - 02	2	LDA Recreio
STI - 01	1	LDA Cooperativa
		LDA Morroredondo
STI - 02	1	LDA Casabranca
		LDA Municipal

Apêndice 4 - Controle de Tensão com a Rede em Vazio

Despacho Ativo	0,4 MW		0,6 MW		0,8 MW	
	25 kV	6 kV	25 kV	6 kV	25 kV	6 kV
Despacho Reativo	0,2 MW		0,3 MVar		0,4 MVar	
Conservatória (valores em pu)	1,015	1,007	1,022	1,014	1,02	1,012
		0,991		0,998		0,996
Santa Isabel (valores em pu)	1,015	0,994	1,022	0,999	1,02	0,994
PCH 25 kV	1,018 pu		1,026 pu		1,025 pu	
PCH 13,2 kV (Vger)	1,03 pu		1,04 pu		1,04 pu	
	13,59 kV		13,72 kV		13,72 kV	

Apêndice 5 - Controle de Tensão com as Cargas de Santa Isabel e Conservatória ligadas

Despacho Ativo	1,1		1,6		2,2	
	25 kV	6 kV	25 kV	6 kV	25 kV	6 kV
Despacho Reativo	0,6		0,9		1,2	
Conservatória (valores em pu)	1,016	1,005	1,014	1,001	1,012	0,997
		0,988		0,984		0,979



VIII CIERTEC



Fortaleza - Brasil | Agosto de 2013

Santa Isabel (valores em pu)	1,027	1,006	1,03	1,006	1,033	1,007
PCH 25 kV	1,034 pu		1,04 pu		1,047 pu	
PCH 13,2 kV (Vger)	1,05 pu		1,06 pu		1,07 pu	
	13,86 kV		13,99 kV		14,12 kV	

Apêndice 6 - Medições Registradas na PCH

Horário	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	Vg (kV)	FP	F (Hz)
16:42	422	559	-	-	-	-
17:38	503	545	-	-	-	-
17:47	1270	-	-	13,8	-	59,9
17:58	1215	-	-	13,841	-	-
18:03	1229	-	-	13,84	-	59,84
18:15	1259	756	1473	-	0,85	60,01
18:36	1466	784	1658	13,83	0,88	59,69
19:03	1635	752	1800	13,8	0,908	59,58
19:13	1518	750	1706	13,824	0,915	59,98
19:31	582	304	642	13,867	-	-

Legenda:

	Ilhada apenas com Santa Isabel
	Ilhada com Santa Isabel e Conservatória

Apêndice 7 - Medições Registradas na PCH

Horário	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	Vg (kV)	FP	F (Hz)
09:55	1408	294	1432	13,795	-	60,01
10:38	1093	702	1296	13,7	-	60,043
11:40	405	288	501	-	0,82	60,12
12:06	442	-	-	-	-	-
12:12	584	-	-	13,6	-	-
12:14	856	-	-	13,6	-	-
12:19	1342	879	-	-	-	60,5
18:36	1621	736	1779	13,7	0,912	59,93

Legenda:

	PCH em paralelo com a Light
	Ilhada com Santa Isabel e Conservatória
	Ilhada com Santa Isabel



8- Bibliografia:

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, Revisão 5, dezembro de 2012

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL: Resolução Normativa N° 517, 14 de dezembro de 2011

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Revisão 4, fevereiro de 2012

Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL: Resolução Normativa 469, 01 de fevereiro de 2012