



# XII SNTPEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

RE/GPH/16  
RECIFE-PE/BRASIL-1993

## GRUPO I

### PRODUÇÃO HIDRÁULICA (GPH)

#### A EXPERIÊNCIA DO DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ELETRICIDADE DE POÇOS DE CALDAS NA CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DA USINA HIDROELÉTRICA ANTAS II - UMA USINA CONCEBIDA E REALIZADA NA PONTA DO LÁPIS

Eng. Cícero Machado de Moraes  
Depto. Municipal de Eletricidade de  
Poços de Caldas.

\* Eng. Oscar Nasseh  
Mecânica Pesada S.A.

Eng. Harald Hellmuth  
Siemens S.A.

## RESUMO

O presente artigo relata a experiência do Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas na concepção e construção da USINA HIDROELÉTRICA ANTAS II, localizada no município de Poços de Caldas em Minas Gerais.

A usina, em fase de construção, tem prazo para início de operação em 1994.

Considerada como usina de alta queda, 165,05 m, e composta de um único conduto adutor, chaminé de equilíbrio e conduto forçado perfazendo um total aproximado de 1.600 m de comprimento que alimenta 3 unidades geradoras de 5,7 MW, sendo 2 unidades instaladas na primeira fase e 1 outra unidade prevista para uma fase futura. A usina fornece energia para abastecer a municipalidade para consumidores de origem residencial e industrial.

O objetivo deste trabalho consiste em mostrar que um aproveitamento deste porte pode ser realizado sobre as técnicas mais modernas disponíveis atualmente, a um custo acessível, otimizando o conjunto de obras e equipamentos, resultando em um aproveitamento de alta produtividade, confiabilidade e consequentemente rentabilidade assegurada.

**PALAVRAS CHAVES:** GERENCIAMENTO  
CUSTOS  
QUALIDADE

## 1.0 DESCRIÇÃO DO APROVEITAMENTO

### 1.1 Características Gerais

O aproveitamento hidrelétrico de ANTAS II, com potência final (2a. etapa), prevista para 15 MW elétricos, aproveitará as águas do Rio das Antas (Lambari) desviando-se do seu curso natural sobre um trecho de aproximadamente 1.700 m e restituindo-se à jusante deste trecho.

O projeto Básico elaborado inicialmente, previa a instalação de 13 MW elétricos, não considerando a construção da barragem ao Rio Cipó a ser feita pelo Município de Poços de Caldas à montante do aproveitamento de ANTAS II, destinada a armazenar água para o abastecimento urbano de água potável. Assim, os 33.600.000 m<sup>3</sup> armazenados no Cipó permitirão um incremento das vazões do Rio das Antas nos 6 meses secos de, pelo menos, 2,0 m<sup>3</sup>/s.

A produção média anual de energia (2a. Etapa) será da ordem de 90.567.630 kWh/ano, resultando em um fator de capacidade de 68,93% sem considerar a Barragem do Rio Cipó.

As principais obras constituintes do aproveitamento, são:

a) A barragem vertedouro de concreto ciclópico, do tipo gravidade, tem uma altura máxima de 7,20 m medida do vertedouro até o leito do rio em seu ponto mais profundo.

O vertedouro possui comprimento de 86 m e altura de 1,80 m permitindo, assim, uma vazão máxima de 353 m<sup>3</sup>/s.

b) A barragem também aloja descarregador de fundo com dimensões 2,00 x 2,50 m, permitindo um escoamento de 32,49 m<sup>3</sup>/s.

c) A tomada d'água, incorporada à barragem, será estruturada em concreto armado. Esta tomada d'água situa-se junto ao flanco esquerdo do vale do rio e acomoda comporta de desarenação, fendas para "stop-logs" e grades. A comporta de desarenação com dimensões 2,00 x 2,50 m, permitindo um escoamento de 36,90 m<sup>3</sup>/s.

d) O conduto adutor, tubulação de aço multi-apoiada, situada à margem esquerda do rio, com comprimento total de 1.221,50 m, diâmetro interno 2,55 m, destinado a aduzir uma vazão máxima de 11,61 m<sup>3</sup>/s.

Ao longo do conduto são previstos os seguintes equipamentos hidromecânicos.

- Uma válvula borboleta situada logo à jusante da tomada d'água destinada a proteger o sistema contra eventuais rupturas do conduto adutor.

e) A chaminé de equilíbrio, do tipo reservatório aberto com formato cilíndrico, localiza-se na extremidade de jusante do conduto adutor, com um volume total de 1.760,93 m<sup>3</sup> e uma seção horizontal com área de 113,10 m<sup>2</sup>.

f) O conduto forçado, tubulação de aço com diâmetro interno de 2,20 m e comprimento total de 421,50 m até derivação para uma das máquinas.

As derivações para as máquinas possuem diâmetros internos de 1,271 m e 1,798 m.

Ao longo do conduto são previstos os seguintes equipamentos hidromecânicos.

- Uma válvula borboleta situada logo à jusante da chaminé de equilíbrio, destinada a proteger o sistema contra eventuais rupturas do conduto forçado.

- Uma válvula borboleta na entrada de cada turbina.

g) A Casa de Máquinas, prevista para três grupos geradores de 5,0 MW elétricos cada, situada à margem esquerda do rio, sobre uma plataforma horizontal natural do terreno à cota 921,00; dimensões externas principais

da estrutura são: comprimento 52,80 m, largura 14,50 m, altura máxima acima do nível do piso 9,50 m.

h) Cada turbina terá seu poço de sucção próprio, com canal de fuga individual dotado de largura 4,0 m e comprimento 17,30 m, enterrados. Os três canais subterrâneos são aduzidos a um canal a céu aberto.

## 1.2 Localização da UHE ANTAS II

A UHE situa-se à jusante da UHE ANTAS I no município de Poços de Caldas - MG, a 4 Km da cidade.

A pequena barragem vertedouro do aproveitamento, barra o Rio das Antas imediatamente à jusante da UHE - ANTAS I, e a cota do vertedouro será compatível com o canal de fuga de ANTAS I.

A casa de força será implantada na margem esquerda do Rio Lambari (nome que recebe o Rio das Antas logo após as cachoeiras do aproveitamento ANTAS II).

O nome Rio Lambari permanece até sua foz no Rio Pardo.

## 1.3 Finalidades do Aproveitamento

O aproveitamento hidrelétrico de ANTAS II destina-se à geração de energia elétrica, integrando o sistema de geração e distribuição do DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ELETRICIDADE de Poços de Caldas.

Complementarmente, devido à sua excelente localização nas proximidades de Poços de Caldas, uma cidade com longa tradição turística e de veraneio, a barragem e reservatório do aproveitamento cedamente virão a constituir um importante foco de atração turística.

## 2.0 DADOS BÁSICOS

### 2.1 Topografia

#### 2.1.1 Generalidades

O relevo topográfico do vale do Rio Lambari (Rio das Antas) no trecho situado imediatamente à jusante da USINA HIDRELÉTRICA ANTAS I, área de implantação do aproveitamento hidrelétrico ANTAS II, é caracterizado pelos seguintes aspectos morfológicos principais:

- Num trecho inicial, situado à jusante da saída dos canais de fuga da UHE ANTAS I e estendendo-se até a Cachoeira das Andorinhas, o relevo do vale é pouco acidentado; a calha do rio, bem definida é ladeada por taludes de declividade suave. Tal conformação possibilita a implantação de uma barragem de pequeno porte, permitindo a obtenção de um reservatório com volume útil de 11.420 m<sup>3</sup>.

- A jusante da cachoeira, sobre uma extensão de aproximadamente 1,5 Km, o leito do rio apresenta uma declividade muito acentuada, ocorrendo além do salto principal (Cachoeira das Andorinhas), o qual vence um desnível de aproximadamente 25 m, diversos saltos menores e corredeiras. Nesse trecho, o leito do rio apresenta um desnível total de aproximadamente 165,05 m. Os flancos do vale, cobertos por densa vegetação, são relativamente íngremes e acidentados, apresentando, por trechos da margem direita, paredões rochosos praticamente a prumo.

- A jusante do trecho encachoeirado do rio, a declividade de seu leito reduz-se sensivelmente; o curso é sinuoso e caracterizada por meandros. O vale do rio é aberto e apresenta flancos com declividade suave. Ladeando o rio encontram-se, em diversos trechos, terraços aluvionais praticamente em nível.

### 2.2 Hidrologia

#### 2.2.1 Generalidades

Procuramos complementar os estudos elaborados inicialmente, principalmente pelos fatos novos:

- Possibilidade do Município construir a Barragem do Rio Cipó à montante da UHE ANTAS II, com um volume útil de 33.600.000 m<sup>3</sup>, o que elevará sensivelmente a vazão regularizada do Rio das Antas.

- Novos registros oferecidos pela CESP - Cia Energética de São Paulo S/A, no período 1971 a 1987 e obtidos no Posto "Cachoeira das Antas F-2 - Rio Lambari" de seu Departamento de Operação de Sistemas, operado desde 1968 com medições diárias e ultimamente telemedido.

#### 2.2.2 Bacia de Drenagem

A Bacia de Drenagem no local da implantação possui área de 450 Km<sup>2</sup>.

A montante de ANTAS II, ainda sobre o Rio das Antas, estão localizados os reservatórios de acumulação de BORTOLAN, PCH ENG<sup>o</sup> UBIRAJARA MACHADO DE MORAES e UHE ANTAS I.

#### 2.2.3 Meteorologia

O clima da região onde encontra-se a Bacia de drenagem do Rio das Antas, recebe a designação de "tropical, zona temperada"; a temperatura anual média é de 19,5°C.

#### 2.2.4 Fluviometria

Aproveitando os dados e resultados obtidos pela Eletroprojetos, obtivemos junto à CESP - Cia Energética de São Paulo, novos dados para o posto "Cachoeira das Antas - F2 - Rio Lambari" no período 1971 a 1987.

##### 2.2.4.1 Vazões Médias

- Vazão média máxima ..... 13,86 m<sup>3</sup>/s (1970)  
- Vazão média mínima ..... 7,20 m<sup>3</sup>/s (1941)

##### 2.2.4.2 Vazão Máxima de Enchentes

Para um tempo de retorno de, pelo menos, 1.000 anos, chegamos a uma vazão máxima de enchente de 320 m<sup>3</sup>/s.

No entanto, a vazão máxima registrada durante o período de observação foi de 183,5 m<sup>3</sup>/s, média diária que ocorreu no dia 22 de fevereiro de 1970.

##### 2.2.4.3 Vazão Máxima Desviada na Fase de Construção

A vazão máxima de desvio será de 160 m<sup>3</sup>/s, correspondente a um pico de uma enchente com um período de retorno de 20 anos.

##### 2.2.4.4 Curvas de Permanência das Vazões

Nossos estudos registraram que para a vazão total turbinada obtivemos uma permanência de 40%.

Instalaremos, inicialmente, somente duas turbinas com engolimento de Q = 3,87 m<sup>3</sup>/s, totalizando Q = 7,74 m<sup>3</sup>/s. Poderemos, assim, operar mais de 53,42% a plena carga. Quando a Prefeitura Municipal construir a Barragem Cipó para fins de abastecimento de água potável, contaremos com mais 2,16 m<sup>3</sup>/s firmes durante os 6 meses secos, permitindo a instalação da terceira unidade geradora em ANTAS II com engolimento de 3,87 m<sup>3</sup>/s.

### 2.3 Geologie

#### 2.3.1 Generalidades

Na área de implantação do Aproveitamento Hidrelétrico de ANTAS II, ocorrem dois tipos litológicos principais:

- A maior parte da área é composta de gnaisses de textura porfírica
- Subordinadamente aparecem estruturas constituídas por rochas alcalinas de textura compacta.

Tais rochas encontram-se parcialmente intemperizadas e cisalhadas nos flancos do vale, deixando descoberta uma rocha sã no fundo do talvegue.

### 2.3.2 Investigações Geológicas e Geotécnicas

Visando a caracterização das condições de fundação das diversas estruturas que comporão o aproveitamento, foi realizada uma campanha de investigações geológicas e geotécnicas constituindo dos seguintes trabalhos:

- Relatório referente às observações geológicas de superfície da área, com particular atenção para as áreas de implantação das diversas estruturas.
- Execução de sondagens de reconhecimento a percussão, com amostragem, nas áreas de implantação das estruturas.

Os resultados obtidos de maior relevância para o projeto são resumidos a seguir.

### 2.3.3 Fundação na área de Implantação da Barragem e do Reservatório

Na área do futuro reservatório, bem como na área de implantação da barragem, o embasamento cristalino é aflorante, só estando coberto por um capeamento sedimentar em poucas áreas.

Os gnaisses do embasamento rochoso mostram uma orientação predominante N 60 W.

Ocorrem, na área de implantação da barragem, diversos sistemas de fraturamento que foram injetados e/ou drenados.

### 2.3.4 Fundação na área de Implantação do Conduto Adutor e da Chaminé de Equilíbrio

O flanco de margem esquerda do vale, no trecho onde é implantado o conduto adutor, apesar de possuir um talude relativamente íngreme, apresenta condições geológicas bastante favoráveis, quais sejam:

- Não existe nenhum indício de escorregamentos.
- Mostra uma litologia relativamente pouco alterada.
- A rocha está coberta por apenas uma delgada camada de solo, com espessura variando de 1,0 m a um máximo de 6,0 m.
- A rocha é pouco fraturada e, conseqüentemente, pouco permeável.
- A altitude da gnaissificação é favorável à estabilidade do talude natural.

Na área de implantação da chaminé de equilíbrio, de tipo reservatório aberto, o recobrimento de solo residual é bastante mais espesso, atingindo profundidades de mais de 13 m, com predominância de siltes arenosos medianamente compactos, apresentando boa resistência à penetração da sonda.

### 2.3.5 Fundação do Conduto Forçado

São válidos as mesmas observações feitas com relação ao conduto adutor; cobertura de solo residual varia de praticamente 0 - 1 m, ao longo do talude, até uma profundidade máxima de 7,50 m ao pé do mesmo.

### 2.3.6 Fundação da Casa de Força

Na área de 10.000 m<sup>2</sup> em que foi estudada a implantação da casa de força, o embasamento rochoso é coberto por uma camada aluvionar arenosa, com espessura variando de 0,5 a mais de 14 m. O local de implantação da casa de força foi escolhido de forma a obter condições favoráveis de fundação, evitando as zonas de recobrimento aluvionar espesso.

### 2.4 Aspectos Sócio-Econômicos e Ecológicos

A USINA HIDRELÉTRICA ANTAS II não afetará de forma sensível a sócio-economia e a ecologia local, pelo que poderemos observar abaixo.

#### 2.4.1 Aspectos Sócio-Econômicos

A população de Poços de Caldas será a maior beneficiada pela construção desta Usina Hidrelétrica. Além de aumentar a auto-suficiência na geração de energia elétrica, esta implantação permitirá acesso a pontos pitorescos e de rara beleza.

O reservatório comporá o ponto turístico existente, denominado "Cascata das Antas".

#### 2.4.2 Aspectos Ecológicos

O pequeno porte da barragem e do reservatório faz com que a influência dos mesmos na ecologia seja praticamente nula.

O conduto adutor será instalado em área com algumas árvores, bem como sua implantação exigirá a abertura de vala apropriada; no entanto, as pequenas aflorações na flora local serão recompostas, como já feito em outras oportunidades.

A chaminé de equilíbrio e o conduto forçado serão instalados em áreas de campo ou de cafeicultura em decadência. Assim, além de não provocar qualquer impacto ambiental, também não exigirá indenizações sensíveis.

A implantação da casa de força não exigirá grandes desmates, mesmo porque sua área é bastante pequena.

## 3.0 ESTUDO DE ALTERNATIVAS

Foram estudadas duas alternativas elaboradas pela Eletroprojetos, bem como a nova opção desenvolvida pelo DME após a perspectiva de implantação da Barragem do Cipó que elevará a vazão regularizada do Rio das Antas.

Outras opções variantes de menor relevância foram elaboradas, mas que não serão aqui descritas.

### 3.1 Alternativas de Implantação Geral do Aproveitamento

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DAS ALTERNATIVAS DE ARRANJO

CARACTERÍSTICA	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
PREVENCIA INSTALADA	2 x 8,5 MW	2 x 5,1 MW	3 x 5,0 MW
QUEDA BRUTA	180 m	150 m	185,05 m
VAZÃO	10 m <sup>3</sup> /s	10 m <sup>3</sup> /s	11,61 m <sup>3</sup> /s
BARRAGEM			
Localização	A montanha de Cach das Andorinhas	A montanha de Cach das Andorinhas	A montanha de Cach das Andorinhas
Tipo	Barragem-Vantadouro tipo gravidade	Barragem-Vantadouro tipo gravidade	Barragem-Vantadouro tipo gravidade
Altura máxima	9 m	8 m	7,2 m
ADUTORA			
Localização	Margem esquerda do rio	Margem direita do rio	Margem esquerda do rio
Comprimento	1200 m	900 m	1221,50 m
Tipo	Tubulação de aço Ø 2050	Tubulação de aço Ø 2050	Tubulação de aço Ø 2550
CONDUTO FORÇADO			
Localização	Margem esquerda do rio	Margem direita do rio	Margem esquerda do rio
Comprimento	455 m	330 m	486,50 m
Tipo	Tubulação de aço Ø 1650	Tubulação de aço Ø 1650	Tubulação de aço Ø 2200
CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO			
Tipo	Reservatório	Reservatório	Reservatório circular
Volume	2000 m <sup>3</sup>	1500 m <sup>3</sup>	1780,93 m <sup>3</sup>
CASA DE FORÇA			
Localização	Margem esquerda do rio sobrepistaforma aluvionar	Margem direita do rio sobrepistaforma aluvionar	Margem esquerda do rio sobrepistaforma aluvionar
Cota	921,30 m	945,30 m	921 m
Dimensões	Adequadas para alojar 2 unidades geradoras	Adequadas para alojar 2 unidades geradoras	52,8 x 14,5 m alojando 3 unidades geradoras
CANAL DE FUGA			
Comprimento	80 m	70 m	28 m
Seção transversal	6 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>	128 m <sup>2</sup>

As três alternativas principais são resumidas no quadro 1. Adotamos para a UHE ANTAS II a alternativa 3, aquela formulada pelo DME. Os seguintes fatores pesaram na localização da barragem:

- Preservação da Cachoeira das Andorinhas.
- Necessidade de aproveitar as vazões turbinadas por ANTAS I.
- Necessidade de não afogar os canais de fuga de ANTAS I.
- Aproveitamento de ilha natural para facilitar o desvio do rio necessário a construção da barragem.
- Obtenção de maior volume reservado destinado a atender variações bruscas de cargas não programadas.

As razões principais que levaram a optar pela alternativa 3, são as seguintes:

- Construção, a montante do aproveitamento, a barragem do Cipó com volume útil de 33.600.000 m<sup>3</sup>.
- Aumento da vazão turbinada de 10 m<sup>3</sup>/s para 11,61 m<sup>3</sup>/s em virtude da implantação da Barragem do Cipó.
- Melhor definição dos níveis de jusante.
- Abaixamento da cota da crista do vertedouro de 1.081,30 para 1.080,85, com a finalidade de não afogar o canal de fuga da casa de máquinas de ANTAS I.
- Reavaliação dos aspectos energéticos, principalmente perdas de carga nos condutos, rendimentos das turbinas hidráulicas e geradores em função das tarifas de suprimento atualmente praticadas.
- Ampliação do número de unidades geradoras de 9 para, de modo a oferecer maior flexibilidade na operação, além de possibilitar a implantação da terceira unidade em função da Barragem do Cipó.
- Nova queda bruta de 165,05 m.
- Novo caminhamento para os condutos e nova localização para a chaminé de equilíbrio e casa de força.

### 3.2 Alternativas da Adução

A Eletroprojetos estudou as alternativas para a adução e concluiu que, para ANTAS II, seria mais conveniente construir:

- Sistema adutor de baixa pressão com tubos de aço.
- Sistema adutor de alta pressão com tubos de aço.

No projeto executivo a MECÂNICA PESADA S.A. desenvolveu ainda os seguintes estudos em conjunto com o DME.

- Nova verificação das espessuras e diâmetros econômicos dos condutos.
- Análise dos transitórios em todo o sistema de adução.
- Análise de ressonância nos condutos.
- Estudo da estabilidade da central operando em sistema isolado.

#### 3.2.1 Seleção dos Diâmetros Econômicos para os Condutos

Escolhido o tipo de adução e os materiais dos condutos, pesquisamos novamente seus diâmetros econômicos considerando os seguintes fatores:

- Custo global dos condutos (adutor e forçado), incluindo custo da tubulação, transporte, montagem, fundações, etc., e que variam com o diâmetro. Por se tratar de estudo comparativo, deixamos de considerar os seus suportes, apoios e peças especiais cujos custos variam muito pouco com o diâmetro.

Pelo mesmo leito de ser uma avaliação comparativa, adotamos o preço de US\$ 6,00 por Kg de conduto montado.

- Energia renunciada (perdida) por efeito das perdas de carga, que naturalmente variam com a velocidade do escoamento, e que para este estudo foi considerada a US\$ 30,00 MWh que é o preço pago pelo Departamento Municipal de Eletricidade pela energia elétrica que recebe da Companhia Energética de Minas Gerais S/A - CEMIG, como suprimento (Mês Julho/90).

Consideramos o diâmetro mais econômico para cada conduto, aquele obtido pela soma mínima dos preços do investimento no conduto com a energia renunciada.

Resolvemos adotar para o conduto adutor o diâmetro econômico de 2.550 mm, com parede do conduto elaborada em chapas de aço com espessura 9,52 mm (3/8"), pois esta espessura oferece uma reserva maior para corrosão e um maior fator de segurança sobre as espessuras calculadas pela fórmula de PARMAKIAN.

Para o conduto forçado adotamos o diâmetro de 2200 mm, com espessuras variáveis em função do projeto elaborado pela MECÂNICA PESADA S.A.

### 4.0 ESTUDOS DE MERCADO

O Departamento Municipal de Eletricidade possui mercado garantido para a energia a ser gerada. Senão, vejamos alguns dados característicos do Sistema DME no ano de 1989:

- Energia Requerida .....	139.235 MWh
- Ponta do Sistema DME .....	32.199 MW
- Energia Gerada .....	29.283 MWh
- Ponta Máxima da Geração .....	4.317 MW
- Energia Suprida .....	109.852 MWh
- Demanda Máxima Medida no Suprimento .....	27.882 MW
- Energia Fornecida .....	132.931 MWh
- Perdas .....	4,54% 6.304 MWh
- Fator de Carga .....	57,30 %
- Número de Consumidores em 31/12/89	
Residenciais .....	26.928
Total .....	30.629

### UHE ANTAS II

- Potência Elétrica Nominal .....	1a. Etapa-10 MW
	2a. Etapa-15 MW
- Fator de Capacidade na Geração .....	1a. Etapa-80,43%
	2a. Etapa-68,93%
- Geração Média Anual .....	1a. Etapa-71.300 MWh
	2a. Etapa-90.568 MWh

### 5.0 CUSTOS

Fazemos as seguintes considerações, que julgamos importantes para apreciação dos custos:

- A metodologia usada para a composição do custo da UHE foi calculada no item 5.4 do Manual de PCH's.
- Utilizamos orçamentos atualizados para boa parte das máquinas e equipamentos.
- Os custos de montagem estão incluídos nos equipamentos.

#### 5.1 Obra Civil

a) Barragem, tomada d'água/desarenador, conduto adutor e forçado, casa de força, aquisição da área, estrada de acesso, obras complementares e mobiliário/ acessórios, etc. ....	US\$ 1.441.300
---	----------------

#### 5.2 Equipamentos Hidromecânicos

a) Comportas de fundo e desarenação, grades, tubo de aeração .....	US\$ 41.200
b) Conduto adutor ø 2550 mm, juntas de dilatação, ring-griger, roletes, bocas de visita e acessórios .....	US\$ 2.909.100

c) Válvula borboleta do adutor ø 2550 mm.....	US\$ 88.300
d) Conduto forçado ø 2200 mm, juntas de dilatação, ring-girder, roletes, bocas de visita e acessórios .....	US\$ 2.145.600
e) Válvula borboleta do conduto forçado.....	US\$ 38.300
f) Chaminé de equilíbrio .....	US\$ 12.900
g) Pórtico, stop-log do tubo de sucção.....	US\$ 29.500
Subtotal .....	US\$ 5.314.900

### 5.3 Equipamentos da casa de força

a) Turbina Francis, regulador de velocidade, volante de inércia, válvula borboleta.....	US\$ 810.300
b) Gerador, excitatriz, regulador de tensão .....	US\$ 705.900
c) Ponte rolante .....	US\$ 41.200
Subtotal .....	US\$ 1.557.400

### 5.4 Equipamentos elétricos

a) Transformador elevador .....	US\$ 317.700
b) Cubículos e disjunt. de média tensão.....	US\$ 141.200
c) Quadros de baixa tensão .....	US\$ 56.500
d) Cabos elétricos de força e comando.....	US\$ 23.600

5.5 Administração do proprietário, engenharia projetos, comissionamento, etc..... US\$ 1.626.400

Total .....

Custo índice .....

## 6.0 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

### 6.1 Cálculo dos Custos

#### 6.1.1 Investimentos na Implantação

##### a) Custos de Organização da Empresa

Não foram computados, nos custos de investimentos, aqueles referentes à "Organização da Empresa", uma vez que o DME já é concessionário dos serviços públicos de eletricidade e possui estrutura já implantada.

##### b) Custos de Desapropriação

A área de 21,3 ha, necessária à implantação, já foi adquirida pelo DME, ao preço de US\$ 15.600.

##### c) Custos de Construção e Projeto

1a. Etapa: US\$ 10.479.000

2a. Etapa: US\$ 11.624.300

#### 6.1.2 Custos de Operação e Manutenção

##### a) Custos de Chefia/Manutenção

A chefia da UHE ANTAS II será exercida pelo encarregado da UHE ANTAS I, que dividirá seu tempo entre as duas hidrelétricas, e o mesmo acontecendo com a equipe de manutenção.

Estimamos, assim, um dispêndio médio mensal de US\$ 2.950 com a mão-de-obra de manutenção, materiais de limpeza, lubrificantes, etc.

##### b) Custos de Operação

A equipe da operação da UHE ANTAS II será composta de:

	Salário Médio Mensal
- 5 Operadores .....	US\$ 735
- 1 Auxiliar de Serviços Gerais .....	US\$ 270
- 1 Auxiliar de Manutenção .....	US\$ 480

NOTA: Os salários acima incluem salário base, adicional por tempo de serviço, por periculosidade, penosidade e respectivos encargos.

Os transportes dos operadores será feito por transportador autônomo, custando US\$ 590/mês.

Custo de operação:	
- Salários + Encargos .....	US\$ 4.435
- Transporte .....	US\$ 590
Total .....	US\$ 5.025

### 6.2 Cálculo do Preço da Energia Gerada

Muito embora a UHE ANTAS II tenha sido projetada para uma vida útil mínima de 50 anos, faremos o cálculo do preço da energia gerada considerando os 33,3 anos necessários para depreciar o investimento a uma taxa anual de depreciação de 3%, como estabelece a legislação em vigor para os serviços públicos de eletricidade.

#### 6.2.1 1a. Etapa

##### a) Custo Operativo

- Salários + transporte .....	US\$ 2.007.990
- Manutenção .....	US\$ 1.178.820
Total .....	US\$ 3.186.810

##### b) Remuneração/Depreciação

- Taxa de remuneração legal : 12% a.a
- Taxa de depreciação legal : 3% a.a
- Valor total do investimento : US\$ 10.479.000
- Geração total nos 33,3 anos: 2.374.284,34 MWh

Remuneração total nos 33,3 anos : US\$ 21.383.447  
Depreciação acumulada nos 33,3 anos : US\$ 10.479.000

##### c) Preço do MWh Gerado

$$\text{US\$/MWh} = (21.383 + 10.479 + 3.186,81) / 2.374,284 = 14,76$$

#### 6.2.2 2a. Etapa

Da mesma forma, obtemos para a 2a. etapa :  
US\$/MWh = 12,77

### 6.3 Origem de Recursos

A UHE ANTAS II será executada com recursos próprios do Departamento Municipal de Eletricidade.

## 7.0 CONJUNTO TURBINA-GERADOR

A Disposição adotada para as unidades geradoras foi definida observando os seguintes critérios básicos:

- Atender as características operativas e de implantação das máquinas;
- Equipamentos robustos;
- Concepção moderna e comprovada;
- Nível elevado de desempenho e performances;
- Custo adequado;
- Operação simples;
- Manutenção reduzida;
- Maior índice de automação dos equipamentos, visando uma futura operação semi-automatizada.

Para tanto selecionamos turbinas tipo Francis Simples. A linha de eixo horizontal comporta 3 mancais, sendo, um mancal de guia e escora na turbina e dois mancais de guia no gerador.

Entre os flanges dos eixos da turbina e do gerador, será instalado um volante de inércia, capaz de suprir o GD<sup>2</sup> necessário para o conjunto operar satisfatoriamente.

### 7.1 Turbinas e Reguladores de Velocidade

As turbinas foram fabricadas pela MECÂNICA PESADA S.A. com tecnologia do grupo GEC ALSTHOM - N. RPIC MINIHYDRO.

Todo o projeto foi rigorosamente estabelecido para atender a todas as solicitações e exigências técnicas para as quais as turbinas serão submetidas.

A concepção clássica das turbinas é comprovada por inúmeras referências fornecidas no mundo inteiro.

Do ponto de vista das performances, a MECÂNICA PESADA S.A. utilizou as características obtidas através dos ensaios em modelos reduzidos realizados recentemente na NEYRPIC, além da experiência de seus especialistas.

Excelentes rendimentos e performances contra a cavitação, resultaram num melhor aproveitamento das máquinas e no aumento sensível da produtividade e rentabilidade do aproveitamento.

Os rendimentos da turbina serão comprovados através de ensaios na obra. Estes ensaios seguirão o método de pressão-tempo, também conhecido com método de Gybson, para a medição de vazão.

Ainda como suporte técnico e a fim de garantir o perfeito funcionamento das unidades e da usina, a MECÂNICA PESADA S.A. realizou os estudos de regimes transitórios em todo sistema de adução, análise de ressonância dos condutos e da estabilidade da central operando em rede isolada.

Estes estudos foram conduzidos de forma mais completa possível em função das características do circuito hidráulico e dos diferentes regimes de operação da central, considerando os consumidores e a utilização de 1, 2 e 3 grupos.

A construção das diferentes partes da turbina obedeceu às mais criteriosas técnicas de fabricação, apoiado sobre o sistema de qualidade ISO 9000, implantado pela MECÂNICA PESADA S.A. em 1992.

O acionamento e controle das turbinas é realizado por um regulador de velocidade eletro-hidráulico, do tipo MICROPID, fabricado pela MECÂNICA PESADA S.A. sob tecnologia GEC ALSTHOM - NEYRPIC. O regulador é constituído basicamente por um cubículo eletrônico, uma unidade hidráulica e dispositivos de segurança.

#### Características das turbinas:

- Fabricante .....	MECÂNICA PESADA S.A.
- Tipo .....	Francis horizontal simples
- Potência nominal .....	5641 Kw
- Potência máxima .....	5704 Kw
- Queda nominal .....	160,48 m
- Vazão turbinada .....	3,87 m <sup>3</sup> /s
- Velocidade de rotação .....	720 rpm
- Rotação específica .....	110,4

Além destes equipamentos a MECÂNICA PESADA S.A. forneceu o conduto adutor com  $\phi$  2550 mm, conduto forçado de  $\phi$  2200 mm e as válvulas borboreta de proteção dos condutos, com seus respectivos diâmetros.

### 7.2 Gerador

Os geradores são de tecnologia e fabricação SIEMENS S.A.

O gerador é do tipo trifásico, de eixo horizontal, polos salientes, grau de proteção IP-23, dotado de dois mancais de deslizamento, auto ventilado em circuito aberto, serviço contínuo, classe de isolamento "F". A excitação é do tipo "Brushless" e o regulador de tensão estático tipo RG2, também, de fabricação SIEMENS S.A.

#### Características Básicas do Gerador:

- Fabricante .....	SIEMENS S.A.
- Potência elétrica nominal .....	7.000 KVA
- Forma de conexão .....	Estrela - Trifásico com os 6 terminais acessíveis
- Tensão nominal entre fases .....	6.600 V
- Frequência .....	60 Hz
- Fator de potência nominal .....	0,8 Indutivo
- Forma de construção .....	D6
- Grau de proteção .....	IP-23
- Velocidade nominal do gerador .....	720 rpm
- Velocidade de disparo .....	1.296 rpm
- Eixo .....	Horizontal
- Número de polos .....	10
- Isoamento .....	Classe "F"
- Serviço .....	Contínuo
- Fator de serviço permanente .....	1,15
- Excitação .....	"Brushless"
- GD <sup>2</sup> .....	10,4 tm <sup>2</sup>

A tensão de geração da UHE ANTAS I, MCH JOSÉ TOGNI e PCH ENG<sup>o</sup> UBIRAJARA MACHADO DE MORAES é 2.200 V. No entanto, achamos esta tensão muito baixa para a potência de 7.000 KVA. Assim, adotamos 6,9 KV por oferecer um incremento razoável sobre 2,2 KV, criando uma nova tensão padronizada para geração de maior porte DME.

O aterramento do neutro do gerador é feito através de transformador de aterramento.

As máquinas operarão sincronizadas na barra de 6,9 KV. O painel dos geradores será dotado de console de sincronização com: Voltímetro duplo, Freqüencímetro duplo e Sinronoscópio.

Os geradores foram completamente testados na fábrica da SIEMENS S.A., inclusive os testes de velocidade de disparo e para obtenção de rendimentos dos geradores, que serão utilizados nos ensaios de campo, para obtenção dos rendimentos das turbinas.

### 9.0 CONCLUSÃO

Definir com simplicidade e de forma mais completa possível o projeto, mantendo-se uma estrutura leve, corpo técnico capacitado, aproveitando a mão-de-obra local, gerenciando as aquisições de equipamentos e contando com a capacidade de fabricante renomados utilizando equipamentos de alta performance e confiabilidade, cremos ser os principais requisitos para atingir-se o sucesso no empreendimento de usinas hidrelétricas de pequeno porte.

A concepção e construção da UHE ANTAS II seguiu a filosofia empregada pelo Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas caseada na administração direta do empreendimento.

Mesma filosofia foi introduzida no projeto e construção da Pequena Central Hidroelétrica Eng<sup>o</sup> UBIRAJARA MACHADO DE MORAIS, da Minicentral Hidroelétrica JOSÉ TOGNI, e na ampliação da usina Hidroelétrica ANTAS I.

Este tem sido o resultado obtido através da experiência do Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas nestes anos, estudando, avaliando e otimizando as alternativas, recursos e problemas no desenvolvimento dos trabalhos de concepção e construção destes aproveitamentos.