SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO
E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

São Paulo, 10/15 de abril de 1972

GRUPO DE ESTUDOS DA PRODUÇÃO HIDRÁULICA

OPERAÇÃO DOS GERADORES DA USINA DE ITUTINGA COMO COMPENSADOR SINCRONO

Engºs.: C. Gomes - E. G. Cunha

CENTRAIS ELÉTRICAS DE MINAS GERAIS S.A.

1.0 - GENERALIDADES

1.1 - Geração de potência reativa nas usinas hidráulicas.

1.1.1 - As disposições naturais que propiciam a construção das usinas hidroeletricas de maior porte tendem a situa-las em regiões que, ou são pouco favoráveis às aglomerações de população - e ao estabelecimento de atividades, ou não as tenham bastante desenvolvidas no momento.

Assim, a existência de um desnível grande está, em geral, ligado a uma topografia mais ou menos acidentada e a criação de um grande reservatório só se torna viável em área de pequena população ou de atividades relativamente pouco desenvolvidas. Isto leva a que, então, por sua própria natureza, as usinas hidroeletricas estejam, frequentemente, longe dos centros de carga.

Por essa mesma razão, o uso de seus geradores - como fonte de potência reativa não apresenta, de imediato, vantagens técnicas ou economicas, pois não é interessante dimensionar o sistema para a transmissão de uma parcela apreciável de energia reativa, além da componente ativa.

1.1.2 - Tendo em vista o desenvolvimento das áreas e a

interligação dos sistemas, pode suceder que uma usina que, inicialmente, estivesse num extremo de uma rede elétrica, no futuro, venha a estar numa posição estratégica para tomar parte saliente na geração e controle da potencia reativa. Nesse caso, a operação de algumas unidades como compensadores sincronos pode tornar-se muito útil e vantajosa, sobretudo se se puderem evitar os problemas da operação das turbinas em cargas muito pequenas.

1.1.3 - Por outro lado, as usinas distantes (sobretudo as que utilizam tensões de transmissão altas em longas linhas) apresentam os conhecidos problemas de suprimento dos reativos da linha nas horas de carga leve. São frequentes os casos em que duas e mais máquinas têm de permancer ligadas para alimentarem a carga reativa da linha, quando a carga ativa transmitida exigiria um número menor de máquinas. O funcionamento das turbinas com cargas muito abaixo de seus melhores rendimentos não só representa um maior consumo de água por kWh gerado (portanto anti-econômico) como também aumenta a cavitação ou, seja, diminue a vida da turbina e aumenta os custos de manutenção. Neste caso, também, o funcionamento de algumas unidades como compensadores sincronos, sem água nas turbinas (enquanto outras produzem a energia ativa, em seus rendimentos máximos), pode ser plenamente justificado.

1.2. - <u>Orientação do projeto</u> - Com esses conceitos, muito especialmente com o indicado em 1.1.2, tem sido prática usual na CEMIG que os projetos sempre prevejam a operação dos geradores como compensadores sem fluxo d'agua nas turbinas.

Desde que, como dito, nem sempre há necessidade ou vantagem de imediato, procura-se colocar na instalação inicial apenas o indispensável para que, no futuro, se possa completar o esquema sem grandes trabalhos e sem grandes paralizações. Assim, as especificações de geradores e turbinas mencionam o requisito e as partes embutidas (sobretudo no bloco das turbinas) já são providenciadas de início.

1.3. - <u>Exigências sôbre o equipamento</u>.

1.3.1 - Geradores - De um modo geral, os geradores não precisarão de cuidados construtivos especiais para esse tipo de operação. Serão dimensionados para sua função principal e seu uso como compensador sincrono será limitado ao que esse dimensionamento permi

tir.

Se houver alguma exigência especial (carga reativa de grandes linhas, por exemplo), será necessário determiná-la, a fim de que o fabricante faça as necessárias adaptações, mormente no tocante ao sistema de excitação.

1.3.2 - Turbinas - Nesse tipo de operação, as seguintes condições exigem consideração:

a) os períodos de passagem do regime gerador para o regime compensador e vice-versa, dadas as perturbações hidráulicas que aparecem, que podem conduzir a motorização e consequente possibilidade de levantamento das partes girantes, ou a impactos da coluna d'agua sobre o rotor, além dos choques que essas condições podem transmitir ao sistema.

b) Durante o funcionamento: a necessidade de prover agua para a junta de carvão (vedação da tampa na passagem do eixo) e para os labirintos (das turbinas Francis) e a necessidade de injetar ar (se for o caso de rebaixar o nível d'agua).

1.3.3 - Equipamentos Auxiliares - O funcionamento como compensador, se com rebaixamento do nível d'agua, exigirá uma instalação de ar apropriada, com volume de reservatórios e consumo em geral superiores ao dos serviços normais da usina. Sinalização e controle apropriados, além de alguns cuidados com a medição: os watimetros do gerador poderão inverter seu sentido de indicação durante as transições, os medidores de kWh e kVARh, que deverão abranger os fluxos de energia ativa e reativa nos sentidos apropriados, completam as providências a tomar.

2.0 - APLICAÇÃO À USINA DE ITUTINGA.

2.1 - Descrição Geral - A Usina de Itutinga é um bom exemplo de ambos os casos citados em 1.1.2 e 1.1.3.

Sua primeira etapa (duas unidades de 13.500 kVA, com turbinas Kaplan) operou em 1955, alimentando a área de Belo Horizonte através de um circuito de 138 kV de perto de 200 km: a ilustração 2.1 mostra (traços fortes) sua situação de usina distante do centro de carga. Embora nem a tensão seja muito alta, nem o comprimento de linhas muito grande, essas grandezas, em relação à potência inici

inicial da usina, já causavam as dificuldades indicadas em 1.1.3, donde surgiu a idéia de preparar as unidades para operação como síncronos.

O desenvolvimento rápido do sistema CEMIG, em menos de 10 anos mudou por completo a situação (ver ilustração 2.1.1 - conjunto), colocando Itutinga numa posição central, interligando áreas de consumo e de geração. De qualquer forma, o projeto de operação como compensador, desenvolvido entre 1964 e 1966, em vista de uma situação, em 1971 estava atendendo circunstâncias inteiramente diferentes, porém com a mesma exigência básica: contrôle da potencia reativa.

Desse projeto e dos problemas encontrados na sua elaboração, serão dados alguns detalhes a seguir.

2.2 - Desenvolvimento do projeto -

2.2.1 - Os problemas - Dado que o nível d'agua do canal de fuga é superior à cota do rotor, foi necessário, de inicio, a previsão do sistema de rebaixamento da água dentro da caixa espiral e parte do tubo de sucção até um nível abaixo do ponto mais baixo do rotor, de forma que este girasse no ar e, assim, se evitassem, a um mesmo tempo, o dispendio de água, a cavitação e as perdas que a rotação da turbina dentro d'agua produziriam.

Conseguido o rebaixamento da água, naturalmente haveria perdas de ar (por dissolução e através dos vários orificios da tampa da turbina: passagem do eixo, das hastes das palhetas diretrizes) que tenderiam a elevar o nível d'agua e, assim, seria necessário um sistema de medição desse nível e de comando da injeção de ar, para repor as perdas e manter o nível no ponto desejado. Como consequência da operação da turbina com sua caixa espiral cheia de ar, não haveria água na gacheta da passagem do eixo, que não pode operar a seco: houve que prover um sistema de alimentação dessa água.

2.2.2 - A solução adotada - A ilustração 2.2.1 mostra, esquematicamente, a solução adotada: o ar é injetado na caixa espiral através de um sistema de válvulas em paralelo (VA - VM - VB - VC -VD): uma válvula maior VC, para o rebaixamento inicial (em conjunto com as menores) e as menores, para o controle das perdas de ar. Essas válvulas são comandadas por um conjunto de chaves de boia NA, NM, NB (instaldas em um circuito que se liga, de um lado, à camara do rotor e, do outro, à parte horizontal do tubo de sucção, através da tubulação de 300 mm de esvaziamento).

Bloqueios só permitem a injeção quando o distribuidor estiver fechado (chave limite) e quando a pressão de ar for -

adequada (pressostato).

2.2.3 - Dados numéricos e detalhes - o sistema de ar é formado por dois compressores de pistão, de 2,94 m3/min cada, pressão de 7 bar e reservatórios totalizando 10 m3. Com o volume de, aproximadamente, 30 m3 a ser preenchido pelo ar até o nível baixo, contra uma coluna máxima da água de 5 m (entre o nível mais baixo e o do canal de fuga), permite um rebaixamento em cerca de 45 segundos.

As válvulas de controle são de comando eletro - pneumático, a maior de tamanho nominal de 50 mm e as demais de 37 mm.

As chaves de boia são de dois bulbos de mercú - rio e têm uma diferencial de 25 mm no acionamento do contato entre um e outro sentido da variação de nível.

2.2.4 - Sequência das operações - (ver ilusta - ção 2.2.1) - Passagem de gerador a sincrono.

Com a unidade ligada ao sistema, é dado o comando de "Operação Condensador Sincrono" na chave instalada no painel de comando, na sala de comando. O regulador inicia o fechamento total do distribuidor. Ao final do fechamento, a chave fim de curso abre a passagem do ar comprimido até um pressostato. Se a pressão for adequada, fecha-se o contato do pressostato, o que energiza os contatos dos nivostatos NA - NB - NM.

Como o tubo de sucção está cheio d'agua, os contatos dos nivostatos estão fechados, o que faz abrirem-se, simultaneamente, as válvulas VA, VB e VC, VD e VM e começa a injeção de ar comprimido e, consequentemente, o rebaixamento do nível.

Quando o nível atinge NA, fecham-se todas as - válvulas, exceto VM, que somente se fecha ao ser atingido o nível médio, em torno do qual se faz a regulação.

Retorno a gerador - Ao passar, na sala de controle, a chave de comando para a posição "gerador", desenergizam-se todos os circuitos, cessando a admissão de ar.

O regulador de velocidade assume o comando, - abrindo o distribuidor até a posição de velocidade sincrono a vazio, permanecendo a unidade no sistema, pronta a receber carga.

2.2.5 - Lubrificação da gacheta - Por outros motivos (redução de desgaste no eixo e nos aneis de carvão) já se ti

./.

tinha projetado uma injeção independente de água limpa na gacheta.

Para atender a operação como sincrono, houve apenas que mudar o local de injeção, para melhorar a distribuição d'agua na superfície de contato eixo-carvão e, ao mesmo tempo, reduzir o consumo d'agua limpa.

2.3 - Testes da Instalação -

2.3.1 - Foi elaborado um programa detalhado para os testes de funcionamento.

O sistema foi inicialmente, experimentado com a unidade parada. Corrigidas algumas falhas, passou-se ao teste com a máquina em movimento, porém desligada do sistema. Verificado que tudo está em ordem , fez-se a experiência com a máquina sincronizada com o sistema, constatando-se que o funcionamento, inclusive nos períodos de transição, foi inteiramente satisfatório.

As condições das transições foram observadas registrando-se graficamente as pressões na caixa espiral e no tubo de sucção e as potências do gerador. Verificou-se que a marcha das pressões foi bastante suave, sem saltos bruscos (ver ilustração 2.3.1). A potência máxima tomada pela máquina à rede durante as transições foi de 3.600 kW, ao passo que, após o rebaixamento, ficou em 300 kW.

3.0 - OBSERVAÇÕES FINAIS.

3.1 - De experiência feita, as seguintes observações são de ressaltar:

3.1.1 - O sistema funciona muito bem e não apresenta dificuldades sérias, nem mesmo nos períodos de transição.

3.1.2 - A turbulência inicial na câmara do rotor dificulta o perfeito funcionamento dos detetores de nível no princípio da injeção, provocando atuação erratica das válvulas dos níveis mais altos: é necessário mante-las abertas, no princípio, independentemente das indicações de nível, até que atue o detetor do nível mais baixo.

3.1.3 - As perdas de ar foram bem menores do que claculado: depois de rebaixada a água, as perdas se situam em torno de 80 l/min de ar à pressão atmosférica.

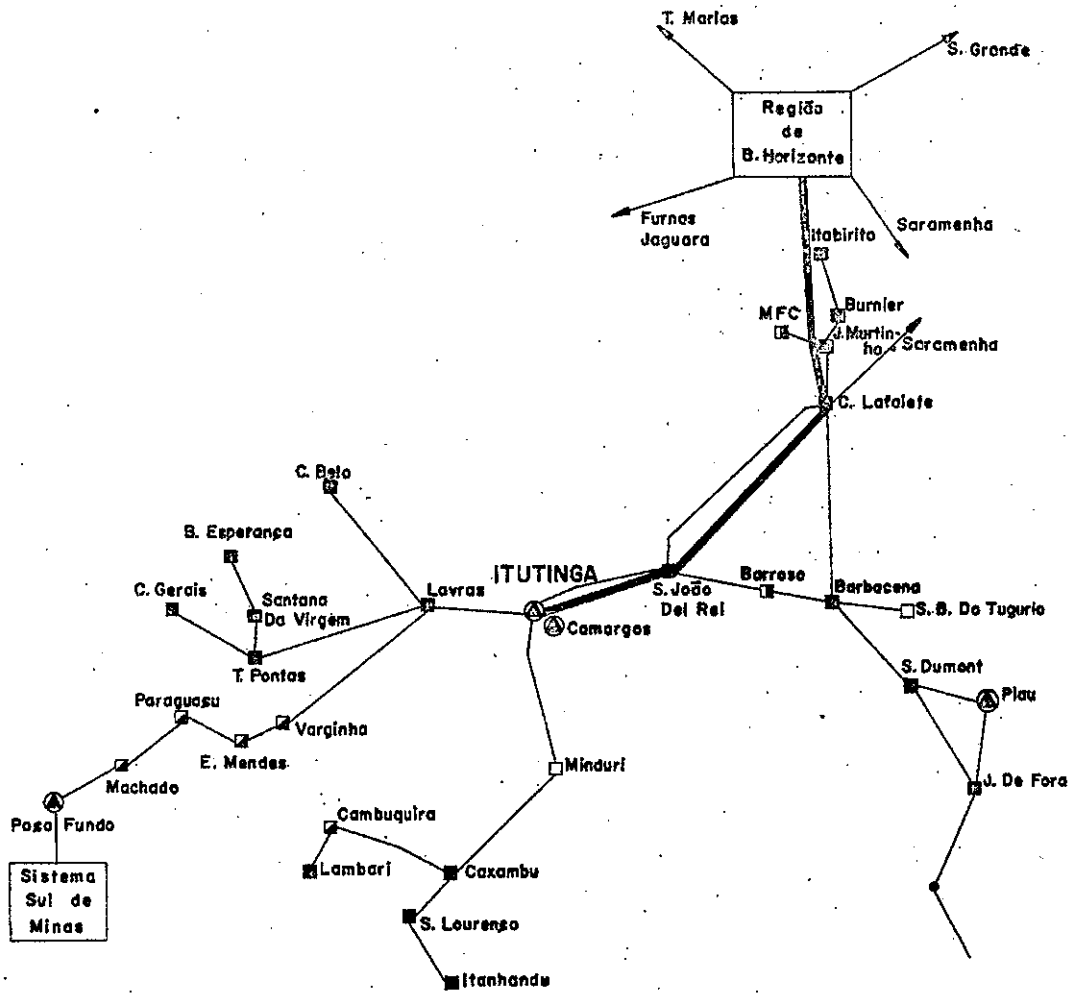
3.1.4 - Não há necessidade do número de válvulas que foi utilizado, que foi decorrente apenas de adaptação do material disponível.

Uma válvula maior, para o início, e uma ou duas menores, para a operação em regime, são bastantes.

4.0 - EQUIPE DE TRABALHO -

Os autores desejam declarar e agradecer a cooperação dos vários setores da Companhia - engenharia, construção e operação - que contribuiram, em várias formas, para o material apresentado e expressam sua satisfação por poderem trazer ao conhecimento público o trabalho de uma numerosa equipe.

Belo Horizonte, fevereiro de 1972.



LEGENDA

INICIAL (1955)

ADIÇÕES (ATÉ 1971)

USINAS

SUBESTAÇÕES

ASSUNTO

APLICAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO

CEMIG

CENTRAIS ELÉTRICAS DE MINAS GERAIS S. A.

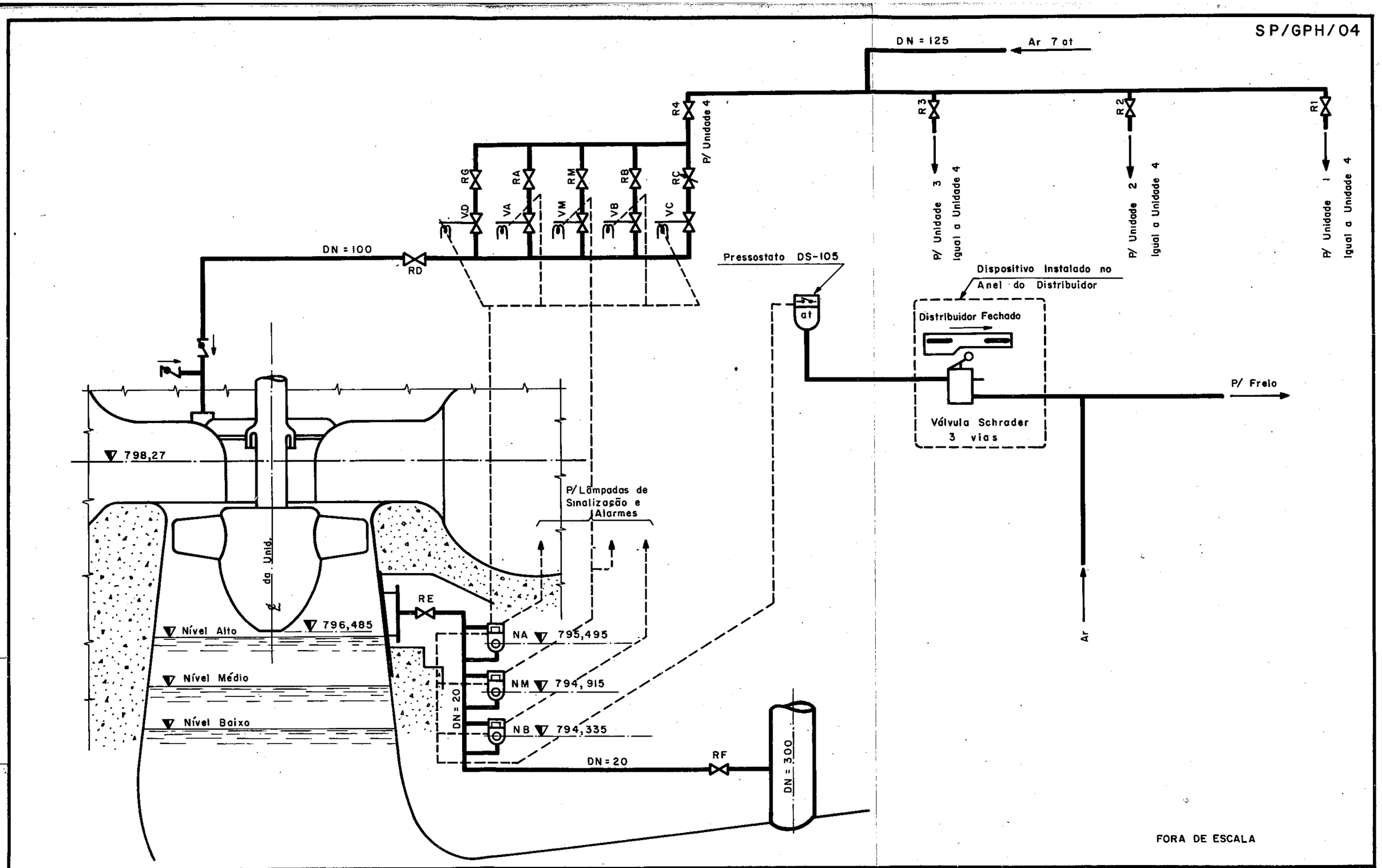
PROJ.	VISTO
DES. C. A. O.	APROV.
CONF.	DATA

USINA DE ITUTINGA E SISTEMA DE TRANSMISSÃO

N.º Ilustração 2.1-1

FOLHA

ARQ.



FEITO	VISTO	APROV.	DATA

ALTERAÇÕES

REF.: Des. baseado no 1.102-DVPG-240

DEPTO. DE ESTUDOS E NORMALIZ. DE ENGENHARIA

PROJ.	VISTO	VISTO
DES C. A. O.	APROV.	APROV.
CONF.	DATA	DATA

CEMIG

CENTRAIS ELÉTRICAS DE MINAS GERAIS S. A.

USINA DE ITUTINGA

OPERAÇÃO COMO CONDENSADOR SÍNCRONO

ESQUEMA DOS COMANDOS DE NÍVEL D'ÁGUA

N.º **Ilustração-2.2-1**

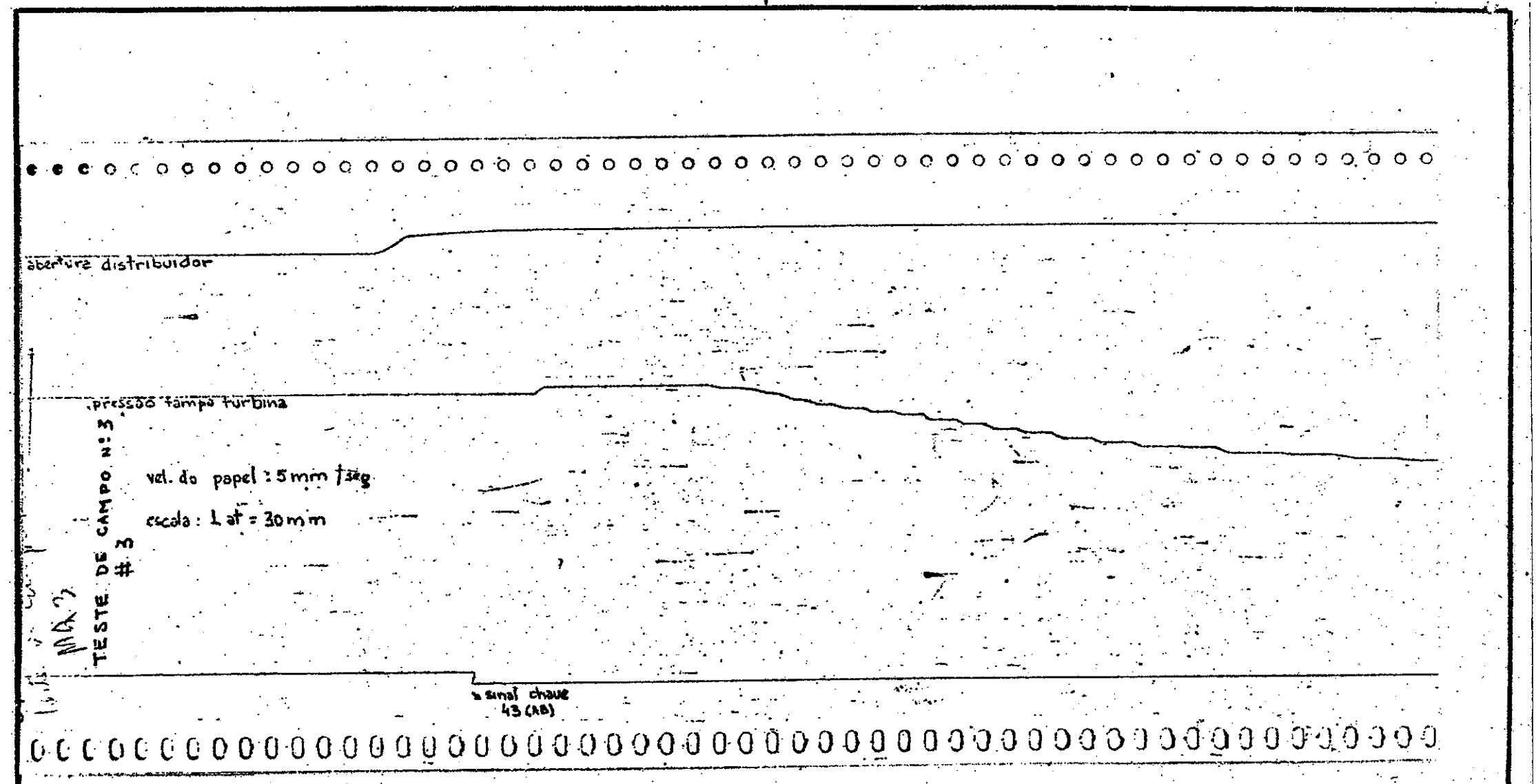
FOLHA

ARQ.

ASSUNTO

APLICAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO



USINA DE ITUTINGA
OPERAÇÃO COMO SÍNCRONO

Ilustração 2.3.1

SP/GPH/04