

P/ Afonso Henriques



XI SNTPEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

RJ/GMR/12

RIO DE JANEIRO-RJ/BRASIL-1991

GRUPO XII MÁQUINAS ROTATIVAS (GMR)

UTILIZAÇÃO DE MICROCOMPUTADORES EM ENSAIOS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

ANTONIO TADEU LYRIO DE ALMEIDA; CARLOS ALBERTO MOHALLEM GUIMARÃES; AFONSO HENRIQUES MOREIRA SANTOS; EDSON DA COSTA BORTONI; AGENOR R. FILHO
EFEI - ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

RESUMO

Este trabalho mostra algumas das possibilidades do emprego de sistemas de aquisição de dados e aplicativos computacionais específicos na obtenção das características de desempenho de pequenas centrais hidrelétricas em operação. Tais procedimentos permitem simplificar, otimizar, adequar e diminuir o custo de ensaios executados de forma tradicional.

Palavras Chaves: Pequenas Centrais Hidrelétricas; Sistemas de Aquisição de Dados; Microcomputadores; Características Operacionais.

1.0 INTRODUÇÃO

Grande número de pequenas centrais hidrelétricas (PCH's) em operação foram implantadas há várias décadas e, portanto, com conceitos e técnicas de projeto e construção hoje superados; assim, pode-se esperar que apresentem um elevado desgaste e baixos rendimentos.

Observe-se que muitos fatores influenciam em suas características de desempenho, tais como: a alteração da velocidade do grupo em função da padronização de frequência em 60Hz, documentação adequada (a qual, mesmo que exista, deve ser tratada com cuidado e ceticismo), emprego de mão de obra pouco especializada e condições de carregamento adversas impostas pelas exigências de mercado.

Em face do exposto, conclui-se que, para executar quaisquer estudos técnicos-econômicos e estabelecer programas adequados de manutenção e operação de central, é indispensável a avaliação dos grupos através de ensaios. Estes, de uma forma básica, são os correspondentes aos levantamentos dos rendimentos dos grupos (inclusive, de suas máquinas, se possível), do comportamento dos reguladores de tensão e velocidade e das características e parâmetros dos geradores.

Por outro lado, na execução de tais ensaios em PCH's, principalmente nas mais antigas, surgem dificuldades das mais variadas ordens [1], o que exige soluções específicas para cada caso. Assim, elaborou-se uma série de aplicativos computacionais e transdutores para serem utilizados em conjunto com um sistema de aquisição de dados, os quais permitem simplificar, otimizar, adequar e diminuir o custo dos procedimentos de ensaios tradicionais. Neste aspecto, a informatização propicia a substituição de uma gran-

de quantidade de instrumentos que necessitavam serem levados a campo e o armazenamento de resultados para manipulação posterior.

Os exemplos apresentados no texto a seguir são reais, obtidos em vários PCH's ensaiadas e em laboratório. A parte gráfica foi desenhada a partir de figuras obtidas com impressoras gráficas.

2.0 CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DO S.A.D. E ROTINAS COMPUTACIONAIS

O sistema de aquisição de dados (S.A.D.) para aplicação nos tipos de ensaios citados anteriormente não necessita de "hardware" mais avançado, podendo ser um de modelo mais simples das linhas normal de fabricantes do setor. O utilizado em avaliações relatadas neste texto [2], por exemplo, apresenta como características básicas: 12 bits, 16 entradas multiplexadas, entrada bipolar $\pm 5V$, 48 E/S digitais e tempo de aquisição 25 us.

A placa de aquisição de dados é conectada diretamente aos "slots" de um microcomputador compatível com o sistema do IBM PCXT e configuração mínima (ou seja, 640 Kb de memória RAM, 1 drive 360 Kb e adaptador gráfico CGA). Assim, armazena os sinais em uma memória à medida em que são lidos através de um par ordenado correspondente ao valor da grandeza que está sendo registrada e ao instante em que ocorre o registro.

Para que haja a digitalização dos sinais analógicos é necessário o uso de transdutores específicos como, por exemplo, de pressão, posição, tensão, corrente, velocidade e do ângulo de carga, entre outros.

O transdutor de velocidade é, na verdade, um taco-gerador e apresenta como dificuldade na aquisição a produção de tensão com um alto nível de "ripple"; assim, devido a velocidade da placa em adquirir os dados obtém-se uma nuvem de pontos, a qual deve ser filtrada para não mascarar os resultados. O filtro a utilizar é numérico evitando-se os físicos, pois estes introduzem atrasos de tempo inadmissíveis. As figuras 1 e 2 exemplificam o exposto.

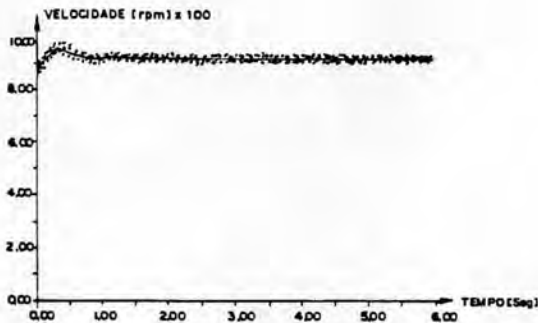


Figura 1 - Sinal de Velocidade antes da Filtragem

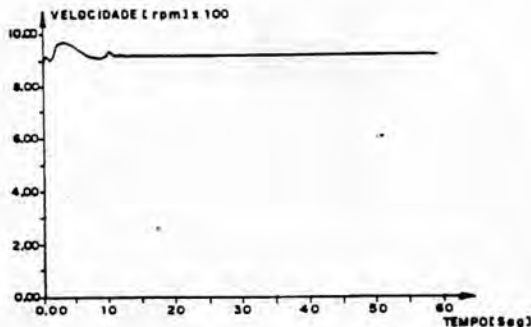


Figura 2 - Sinal de Velocidade após a Filtragem

De uma forma geral para, praticamente, todos os outros transdutores há a necessidade da utilização destes filtros pelos mesmos motivos. Os transdutores de tensão são diferentes com o ensaio (o mesmo é válido para os de corrente). Com tensões alternadas deve-se adequar os seus níveis com o admissível pela placa empregando-se pequenos transformadores para tanto; para tensões contínuas utiliza-se divisores resistivos. No ensaio de rejeição de carga, deseja-se o perfil da variação do valor eficaz da tensão terminal e, portanto, o transdutor será um de tensão AC/DC; no entanto, os comerciais introduzem ruídos excessivos e, desta forma, deve-se utilizar uma ponte retificadora dodecafásica como a mostrada na figura 3.

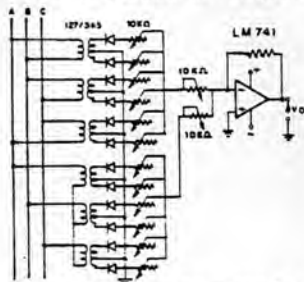


Figura 3 - Transdutor de Tensão AC/DC.

Uma atenção especial deve ser dada ao ajuste dos trimpots na saída do retificador, para que não haja a geração de harmônicos não característicos, o que torna inexistente a informação.

Os transdutores de corrente seguem as mesmas regras, porém é necessário o emprego de um "shunt" adicional.

O ângulo de carga pode ser obtido através de

equipamento desenvolvido especificamente para este fim, cuja idéia básica é dada na figura 4.

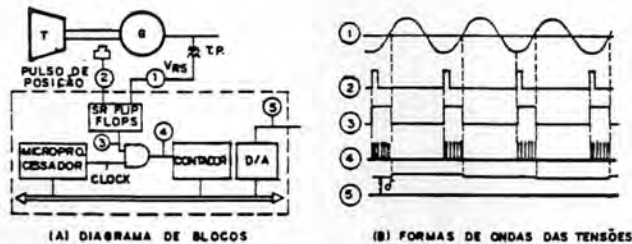


Figura 4 - Princípio Básico do Medidor do Ângulo de Carga

Alguns problemas surgem da aplicação do conjunto de medições em campo, os quais são de difícil identificação em laboratórios; os principais são interferências de origem eletromagnética/eletrostática e ajuste dos sinais adquiridos, com a cablagem utilizada. Neste caso, as soluções naturais são o emprego de fibras óticas (o que encarece bastante o conjunto) ou cabos blindados e acoplamento ótico.

Além da geração de arquivos feita pela placa de aquisição pode-se introduzir-se dados através do teclado, permitindo-se, desta forma, a utilização de planilhas. Nos dois casos os dados são armazenados em arquivos ASCII.

Os aplicativos foram desenvolvidos em linguagem "C" e possuem grande flexibilidade, possibilitando o uso individual e integrado. As telas foram elaboradas de tal modo que se escolha o tipo de ensaio desejado e o método a ser empregado. O controle da aquisição, desta forma, é feito através do microcomputador em função da metodologia específica.

3.0 DETERMINAÇÃO DOS RENDIMENTOS

3.1 Rendimento da Turbina

Os rendimentos das turbinas, como se sabe, dependem da potência hidráulica e, portanto, da altura de queda líquida e da vazão.

Na faixa de potência das PCH's, o emprego de molinetes é, na atualidade o mais difundido para a medição de vazão devido a sua versatiliade e precisão [3]. Observe-se que nas plantas que não possuem canais de adução, deve-se aplicá-los ao de fuga pois torna-se difícil instalá-los em tubulações, embora possível; nestes casos, é interessante utilizar-se o método da cortina salgada. A este respeito e às dificuldades na realização de medições, a referência [1] fornece uma visão abrangente e completa.

Tratando especificamente de medições de vazão com molinetes, deve-se optar entre dois procedimentos, ou seja, bateria ou uma unidade.

O emprego de apenas um molinete, embora demande um tempo excessivo em relação à bateria, apresenta baixos custos e não há parada total das máquinas. No caso de canais, deve-se construir uma passarela transversal a ele de forma que permita a um operador manipular o equipamento em toda a seção de medição no sentido vertical e horizontal.

A quantidade de pontos para medição na seção transversal do canal é sugerido em norma [4]. Assim, como primeiro estágio de informatização deste ensaio, elaborou-se um programa digital que forneceu o perfil do canal estabelece o posicionamento vertical a partir da margem de referência e o horizontal a partir da passarela (evidentemente, deve ser fornecido a correspondência entre as voltas do guincho do molinete e o comprimento do cabo). A planilha de dados é emitida pelo computador e preenchida em campo

pelo operador; em posse destes valores, obtém-se o perfil da velocidade para as várias seções e a vazão para uma determinada abertura de forma totalmente automatizada, dispensando o uso de planímetros e reduzindo o trabalho de escritório.

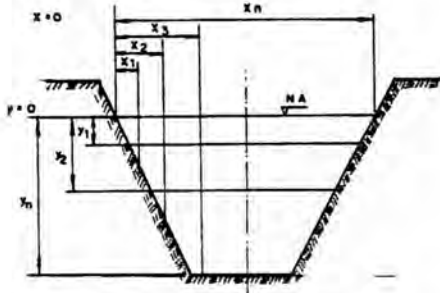


Figura 5 - Seção Transversal do Canal-Exemplo. Princípio do Algoritmo para Locação dos Pontos.

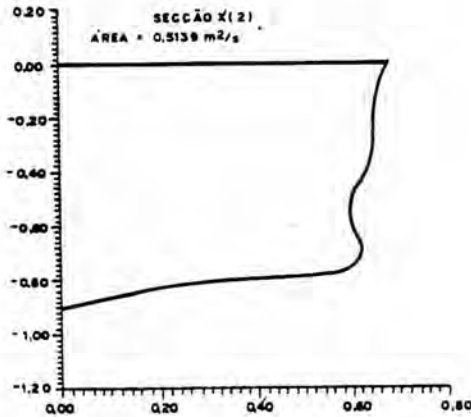


Figura 6 - Perfil de Velocidade para uma seção específica (Velocidade em m/s e Profundidades em m).

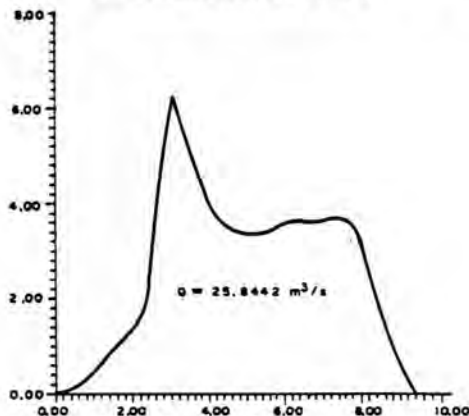


Figura 7 - Área dos Perfis em Função de Distância à Margem de Referência (Abcissas-Distância à Margem de Referência; Ordenadas-Áreas dos Perfis).

Observe-se que o molinete consiste, de forma básica, em uma hélice cuja rotação é proporcio-

nal à velocidade do líquido em uma certa seção do canal e que cada volta é estabelecido um contato elétrico, enviando-se um sinal a um contador digital de voltas e tempo. Atualmente, o contador é operado sobre a passarela, originando a necessidade de planilhas e posterior entrada de dados no microcomputador via teclado. Uma modernização deste sistema foi desenvolvida por Cortez e Santos [5] na EFEI, ou seja, os sinais do contador digital são enviados através de frequência modulada a um receptor na margem (ou na casa de máquinas) e armazenados em diskettes para manipulação posterior. Este equipamento, embora testado e aprovado em laboratório, ainda não foi utilizado em campo.

Um terceiro procedimento foi iniciado (atualmente paralizado) o qual pretende deslocar o molinete na posição horizontal e vertical através de motores de passo controlados por microprocessador.

Evidentemente, para evitar desvios nas medidas, o molinete é calibrado previamente e sua curva integra o programa. O método da cortina salgada, por sua vez, está sendo estudado para aplicações futuras.

Com a medida da altura manométrica dispõe-se da potência hidráulica e, desta forma, a determinação do rendimento da turbina dependerá da possibilidade de se obter o do gerador.

3.2 Rendimento do Gerador

Os procedimentos normalizados para avaliação do rendimento de geradores [6,7,8], em termos práticos, são de difícil aplicação em campo. Em certos casos, de forma restrita, é possível empregar o método do fator de potência nulo ou o calorimétrico.

O método do fator de potência nulo exige a motorização do gerador, o que pode acarretar alguns problemas [1]; no entanto, se aplicável, as conexões para realizá-lo com o sistema de aquisição de dados são as mostradas na Figura 8.

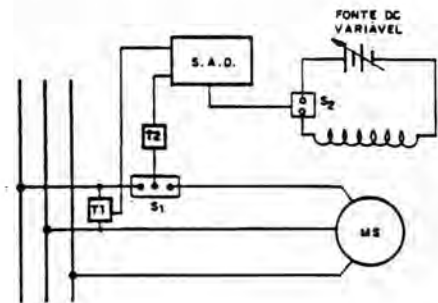


Figura 8 - Método do Fator de Potência Nulo-Conexões.

Neste caso, são aquisitados os pontos correspondentes aos ciclos de tensão e corrente. O software calcula os valores eficazes destas grandezas e verifica o defasamento entre elas; assim, é obtida a potência absorvida, a qual corresponde às perdas para a condição específica de excitação. Naturalmente é feito um ajuste para as condições reais de excitação, o que exige o levantamento da característica à vazio.

O ensaio calorimétrico é de extrema complexidade, principalmente se considerados as necessidades de subdivisão dos dutos de entrada e saída de ar, assim é mais aplicável à máquinas refrigeradas à água, os quais não são empregados nas faixas de potência das PCH's; apesar disto, foi desenvolvida uma rotina para a obtenção do

rendimento através deste método (semelhante ao de vazão).

3.3 Rendimento do Grupo

O rendimento do grupo é feito levantando-se a potência hidráulica (como mostrado) e a potência elétrica à rede. Neste caso, a placa de aquisição de dados substitui os equipamentos de medida tradicionais, de maneira semelhante ao ensaio de fator de potência nulo.

Se o rendimento do gerador foi obtido separadamente, o da turbina será:

$$\eta_{TU} = \frac{\eta_{grupo}}{\eta_{ger}} \quad (1)$$

As Figuras 9 a 12 apresentam os resultados do ensaio de rendimento em uma máquina de 3750 KVA, considerando-se o fator de potência unitário [6]. Note-se que o software fornece uma faixa de erro para as várias curvas. (Tracejado)

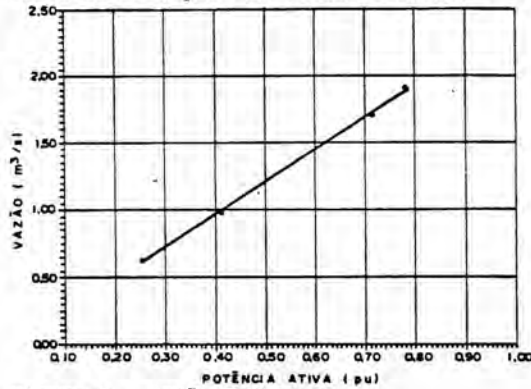


Figura 9 - Vazão Turbinada.

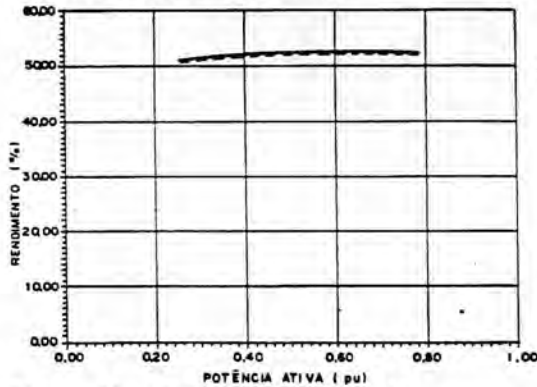


Figura 10 - Rendimento da Turbina.

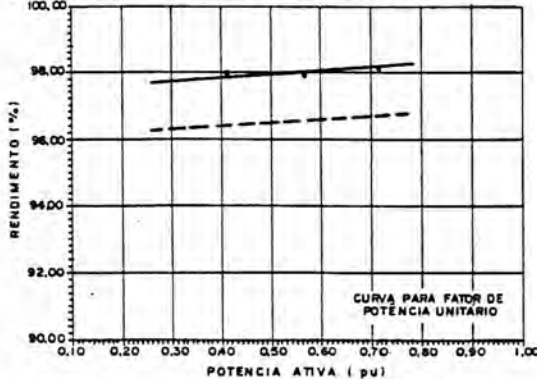


Figura 11 - Rendimento do Gerador (obtido pelo método do Fator de potência nulo).

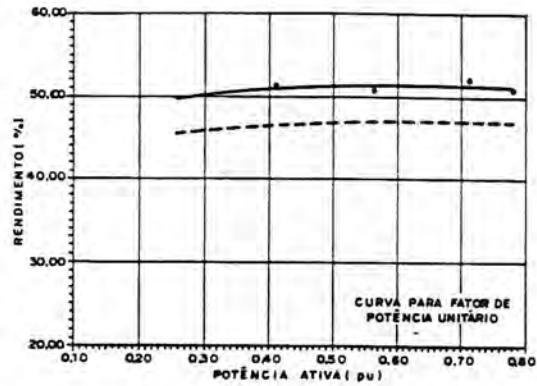


Figura 12 - Rendimento do Grupo Gerador.

4.0 ENSAIOS DE REJEIÇÃO DE CARGA

Nestes casos, o sistema de aquisição de dados substituem os oscilógrafos tradicionais e o trabalho de leitura e interpretação dos oscilogramas.

A execução de ensaio de rejeição de carga para avaliação do regulador de velocidade é definido na referência [10]; assim, deve-se fixar transdutores de velocidade e posição em pontos adequados (para verificar a resposta do regulador e da abertura do distribuidor), adquirir os valores transitórios a partir da abertura do disjuntor de paralelismo (o sinal para a inicialização do processo virá de um contato auxiliar NF, por exemplo, do disjuntor). A Figura 13 mostra o comportamento da abertura da distribuição/"status" do disjuntor, a resposta do regulador de velocidade foi dada na figura 2.

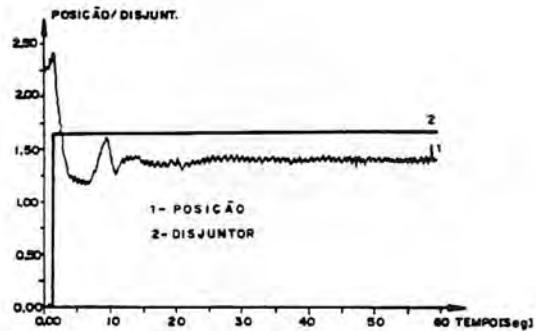


Figura 13 - Posição/"status" do Disjuntor (filtrado).

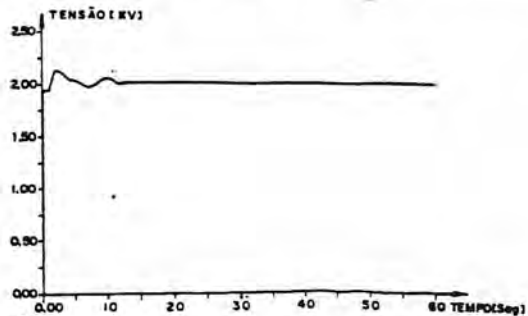


Figura 14 - Comportamento de tensão terminal (filtrado).

A partir destas curvas, o estatismo permanente, a sobrevelocidade, tempo morto, tempo efetivo

de fechamento são facilmente obtidos pelo próprio software.

Naturalmente, é possível adquirir a tensão terminal e corrente de campo do gerador e, assim, determinar todas as suas reatâncias e constante de tempo; esta técnica, entretanto, é analisada com mais detalhes em artigo específico [9] do próprio XI SNTPEE.

5.0 CARACTERÍSTICAS E REATÂNCIAS EM REGIME PERMANENTE

As características em vazio, em curto permanente, reatância de eixo direto e relação de curto-circuito podem ser obtidas com um software aperfeiçoado em relação ao apresentado por Almeida [12] no X SNTPEE; os seus procedimentos e descrição dos software na versão atual encontram-se em [9].

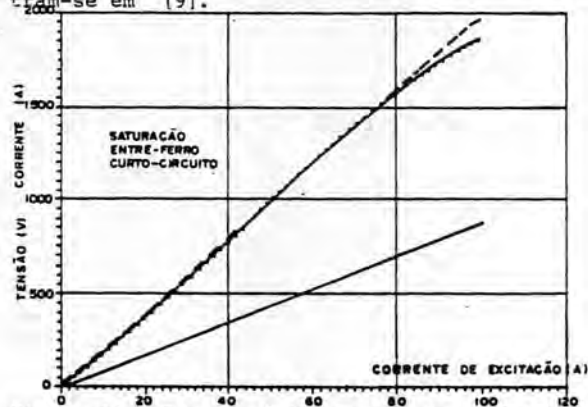


Figura 15 - Característica em Vazio em Curto Permanente Obtido por SAD.

A reatância do eixo em quadratura (X_q) pode ser determinada por vários métodos, inclusive, pelo ensaio em carga com medição do ângulo de carga δ . O ensaio é executado com a máquina funcionando em paralelo com a rede sob carga, no mínimo, igual a metade da potência nominal, sob fator de potência qualquer. Durante sua realização, adquire-se a tensão de armadura (U_A), e calcula-se a potência ativa (P) e a reativa (Q) com uma rotina semelhante à do ensaio de fator de potência nulo. Além disto, é necessário obter-se o ângulo δ utilizando-se de medidor específico, já citado.

Assim, a reatância é calculada por:

$$X_q = \frac{U^2 \operatorname{tg} \delta}{P - Q \operatorname{tg} \delta} \quad (2)$$

Como os reguladores de tensão e velocidade de vem estar em operação e a carga é dinâmica, são adquiridos vários valores e o software determina o valor médio das grandezas para o cálculo de X_q (observe-se que é necessário que as oscilações de potência sejam pequenas).

Obtidos estes valores de reatância, há a opção para o traçado da curva de capacidade e curva "V" do gerador, como mostrado em [10].

6.0 OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL DA CENTRAL

A avaliação dos grupos geradores através de ensaios, em última análise, visa a otimização operacional da central, ou seja, que esta funcione o mais próximo possível de seu rendimento ótimo, e, em conjunto, o gasto seja mínimo. Com este consumo mínimo de vazão, interfere-se diretamente sobre os custos de geração.

As teorias tradicionais de operação de grupos geradores sobre as curvas de rendimentos não podem ser aplicadas para centrais com mais de duas unidades; por esta razão, desenvolveu-se o programa para otimizar a operação dos grupos

geradores [11] utilizando-se os resultados dos demais ensaios relatados nos tópicos anteriores. O citado programa fornece a ordem de funcionamento dos grupos e potências geradas individualmente, frente à disponibilidade dos geradores e a imposição de suprir uma certa demanda solicitada; nestas condições, considera o consumo mínimo de vazão, resultando uma melhor regularização (em consequência um consumo menor de água) diminuindo os custos e maximizando os rendimentos de cada grupo. A rotina emprega técnicas de programação dinâmica, as quais são bastante adequadas para casos como este.

A Figura 17 mostra o caso específico de sua aplicação a um conjunto de cinco geradores.

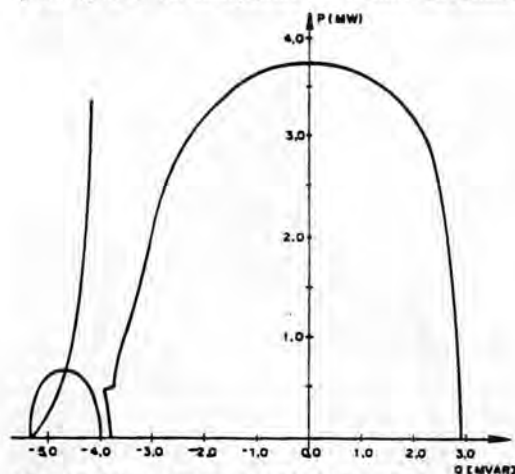


Figura 16 - Curva de capacidade.

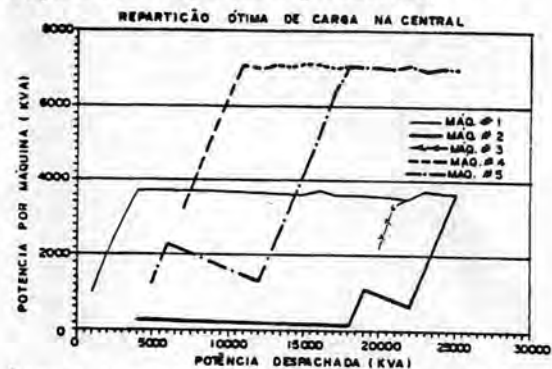


Figura 17 - Operação Otimizada de Geradores.

7.0 CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou algumas aplicações de sistemas de aquisição de dados e microcomputadores em ensaios de pequenas centrais hidrelétricas em operação, bem como, alguns procedimentos ainda em desenvolvimento. Naturalmente, muitas das metodologias apresentadas podem ser usadas em centrais maiores e de outro tipo (por exemplo, centrais térmicas), com ou sem adaptações.

A substituição de oscilógrafos óticos, wattímetros de baixo fator de potência, amperímetros, voltímetros e outros equipamentos de medida por apenas um dispositivo leva a uma inevitável diminuição de custos e aumento de confiabilidade. Além disto, a digitalização das informações permite a manipulação posterior, se desejado.

A principal vantagem, entretanto, consiste na redução dos tempos de execução dos ensaios e, em especial, do despreendido na análise, interpretação e estruturação adequada dos resultados de ensaio; desta forma, há uma queda substancial também no custo do homem-hora. Note-se que

grande parte do relatório técnico pode ser emitido automaticamente.

Além dos procedimentos mostrados estão presentes alguns, sub-produtos importantes, tais como a verificação da calibração dos relés de sobrelavidade e sobretensões e avaliação da necessidade de manutenção corretiva e ajustes nos reguladores de tensão e velocidade, entre outros. Outras facilidades existem na avaliação dos grupos geradores, seja pela utilização de planilhas em campo ou por metodologias específicas, como, por exemplo medição das resistências de isolamento e dos enrolamentos e vibrações.

Os resultados obtidos inclusive, podem ser utilizados para o monitoramento "on line" ou periódico das instalações de geração.

Em face do exposto, conclui-se que a utilização de sistemas de aquisição de dados e micro computador é uma ferramenta poderosa na execução de ensaios e um instrumento eficiente para atividades de manutenção; para tanto, basta a adaptação dos procedimentos tradicionais e o desenvolvimento de softwares e transdutores adequados, como os mostrados.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ALMEIDA, A.T.L.; BELTRAME, E.; SANTOS, A.H.M. - "Aspectos sobre a Determinação do Rendimento de Grupos Geradores de Pequenas Centrais Hidrelétricas em Operação" - II Simpósio Nacional sobre Fontes Novas e Renováveis de Energia - (II SINERGE) - Curitiba, Agosto/1989;
- (2) DATAPOOL LTDA. "Manual de Operação do Sistema de Aquisição de Dados "AD574" - Itajubá/1987;
- (3) SOUZA, Z.; FUCHS, R.D.; SANTOS, A.H.M. - "Centrais Hidro e Termelétricas" - São Paulo - ELETROBRÁS/EFEI, Edgard Blücher - 1983;
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT - "NB-228/1974-Ensaio de Recepção de Turbinas Hidráulicas" - Rio de Janeiro ABNT, 1978;
- (5) CORTEZ, J.A.; SANTOS, D. - "Sistema para Aquisição e Transmissão de Dados até o Centro de Processamento". V Seminário de Pesquisa da EFEI, Itajubá, Outubro/1990;
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT - "NBR-5052 - Máquinas Síncronas- Métodos de Ensaio", Rio de Janeiro, ABNT;
- (7) INTERNATIONAL ELEKTROTECHNICAL COMMISSION- "Rotating Electrical Machines - Part 2". Methods for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electrical Machinery from Tests" IEC Recommendation 34-2A-1974;
- (8) INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS "IEEE Std. 115 - Test Procedures for Synchronous Machines" - IEEE, 1965;
- (9) ALMEIDA, A.T.L.; GUIMARÃES, C.A.M. BORTONI E.C.; RORIS, F.A. - "Identificação das Características e Parâmetros de Geradores Síncronos utilizando-se Sistema de Aquisição de Dados". XI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia (XI SNPTEE), Rio de Janeiro, Outubro, 1991;
- (10) INTERNATIONAL ELEKTROTECHNICAL COMMISSION "International Code for Testing of Speed Governing Systems for Hydraulic Turbines" IEC Recommendation. Pub 308 - 1970;
- (11) SANTOS, A.H.M., et alii - "Repartição Ótima de Carga em Hidrelétrica Existente (RÔCHE)". Programa Digital.
- (12) ALMEIDA, A.T.L.; COGO, J.R. - "Determinação das Reatâncias e Constantes de Tempo de Geradores Síncronos Utilizando Sistemas de Aquisição de Dados". X Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia (X SNPTEE), Curitiba, 1989.

APÊNDICE

As Figuras A.1 e A.2 apresentam exemplos das telas do pacote desenvolvido.

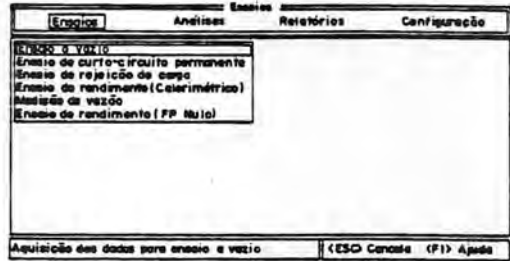


Figura A.1 - Exemplo de Tela.



Figura A.2 - Exemplo de Tela.

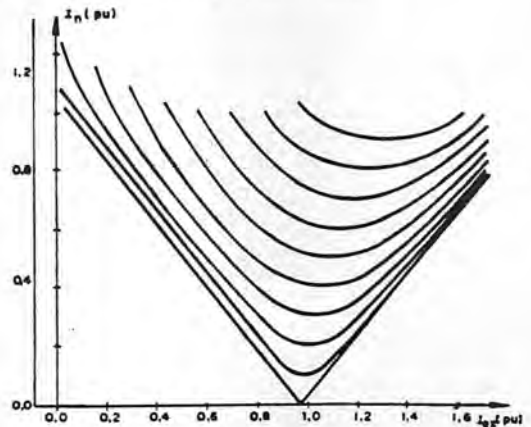


Figura A.3 - Curva "V".