

# SISTEMA DE MEDIÇÃO AUTOMATIZADA PARA TESTES DE MOTORES DE INDUÇÃO E DE CORRENTE CONTÍNUA

João Roberto Cogo\*, Jocélio Souza de Sá\*, Héctor Arango\*

\*Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Av. BPS, 1303 - Caixa Postal 50

37.500 - Itajubá - MG

Artigo apresentado no 1º Simpósio de Automação Integrada do CEFET-PR - Curitiba/PR - 17-21/07/90

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um sistema de medição totalmente automatizado por microcomputadores visando realizar testes em motores de indução e de corrente contínua. Na parte de aquisição de dados, além de se apresentar a parte de hardware do sistema desenvolvido, será também mostrada a relação entre o número de pontos necessários, em 60 [HZ], para que o erro de medição seja minimizado. Além disso, na parte de software serão apresentados todos os critérios de testes para realizar medições de tensão, corrente, torque e velocidade, simultaneamente, visando determinar as características de rendimento, fator de potência, fator de comutação, perdas e outras grandezas necessárias para se conhecer o real desempenho das máquinas em teste.

## AUTOMATIZED MEASUREMENT SYSTEM FOR TESTS OF DIRECT CURRENT AND INDUCTION MOTORS

## ABSTRACT

This work purposes to present a measurement system thoroughly automatized by PCs aiming to make tests in direct current and induction motors. As regards the data acquisition, besides presenting the hardware of the developed system, the relationship of the points number, at 60 [HZ], will be also shown, so that the measurement error should be lessened. Besides, as regards the software, all the tests criteria to make simultaneously, voltage, current, torque and speed measurements will be presented, aiming to determine the characteristics of efficiency, power factor, commutation factor, losses and other quantities needed to know the actual performance of the machines under test.

## 1. AQUISIÇÃO DE DADOS

A aquisição de sinais de tensão e corrente usando-se cálculos exige a necessidade de se efetuar a conversão dos mesmos de analógicos para digitais. Isto está ilustrado na FIGURA 1.

A FIGURA 2 mostra diagrama básico do SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS. O sistema é composto de 6 canais analógicos ( $I_{A1}$ ,  $I_{A2}$ , ...,  $I_{A6}$ ) para a entrada dos sinais.

Optou-se pelo modelo de conversores paralelos, conectados diretamente ao barramento de dados do microcomputador, usando o endereçamento direto de cada conversor para se obter o valor digital. Os conversores usados possuem resolução de 10 [bits], tempo de conversão de 2 [ $\mu$ s] e saídas tristate. A placa dedicada é conectada ao microcomputador através de um de seus slots. O circuito de detector de zero ("zero crossing") é usado para sincronizar o início da amostragem na passagem por zero do sinal analógico do canal 1.

Para cada canal armazena-se um valor do tipo  $(x, t)$  sendo  $x$  o valor da grandeza amostrada no instante  $t$ . O número de pontos aquisitados por ciclo a 60 [HZ] vai definir a precisão dos resultados e a

ordem máxima do harmônico que pode ser utilizado na determinação de cada grandeza de interesse quando por ocasião de efetuar medições visando testes de máquinas rotativas. Os resultados obtidos estão mostrados na TABELA 1.

GRANDEZA	ORDEM DO HARMÔNICO		
	19	31	37
Potência ativa	0,10%	0,13%	0,13%
Valor eficaz da tensão	0,10%	0,10%	0,10%
Valor eficaz da corrente	0,72%	0,47%	0,39%
Potência aparente	0,71%	0,45%	0,38%
Fator de potência	0,72%	0,46%	0,39%

## 2. TESTES EM MOTORES DE INDUÇÃO

Os testes em motores de indução são feitos de acordo com o esquema mostrado na FIGURA 3.

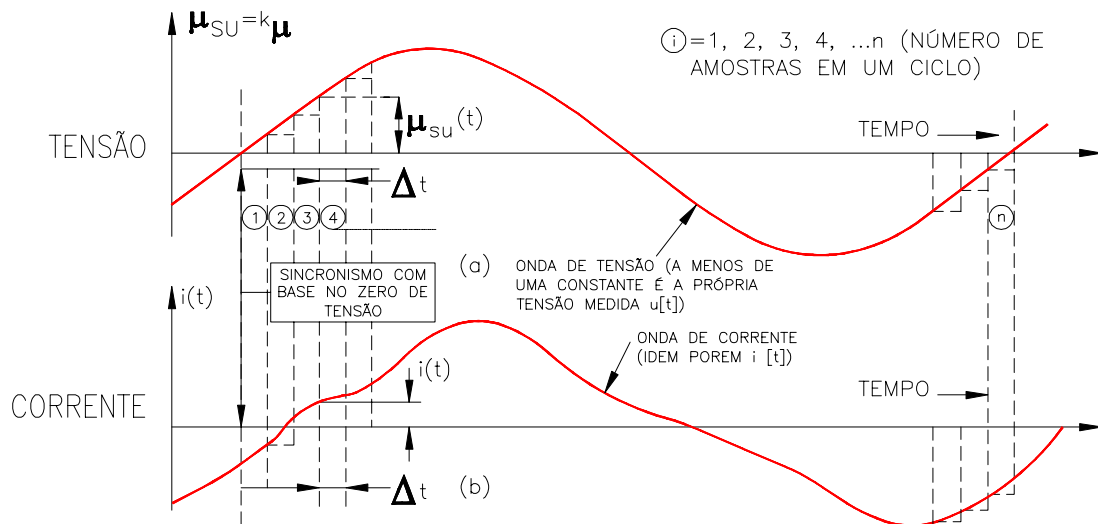
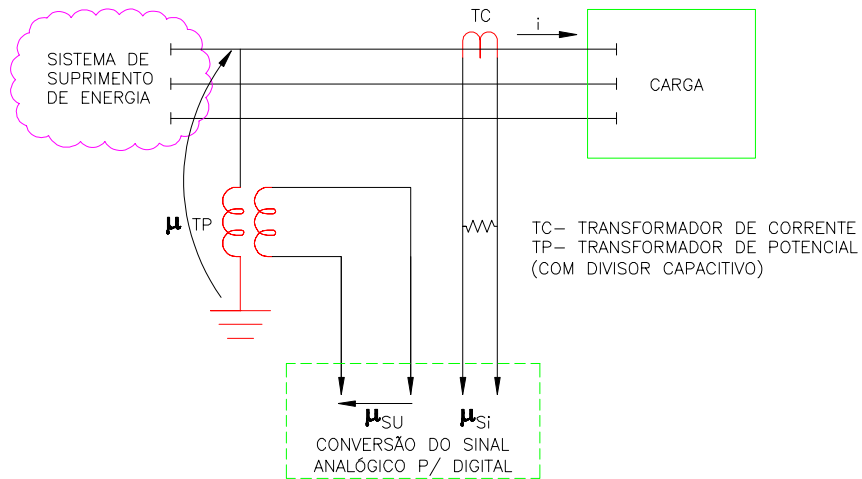


FIGURA 1 - AMOSTRAGEM DOS SINAIS DE TENSÃO  $u(t)$  E DE CORRENTE  $i(t)$ .  
 a - CONVERSÃO DOS SINAIS DE TENSÃO E DE CORRENTE A NÍVEIS COMPATÍVEIS À AQUISIÇÃO;  
 b - SINAIS DIGITALIZADOS.

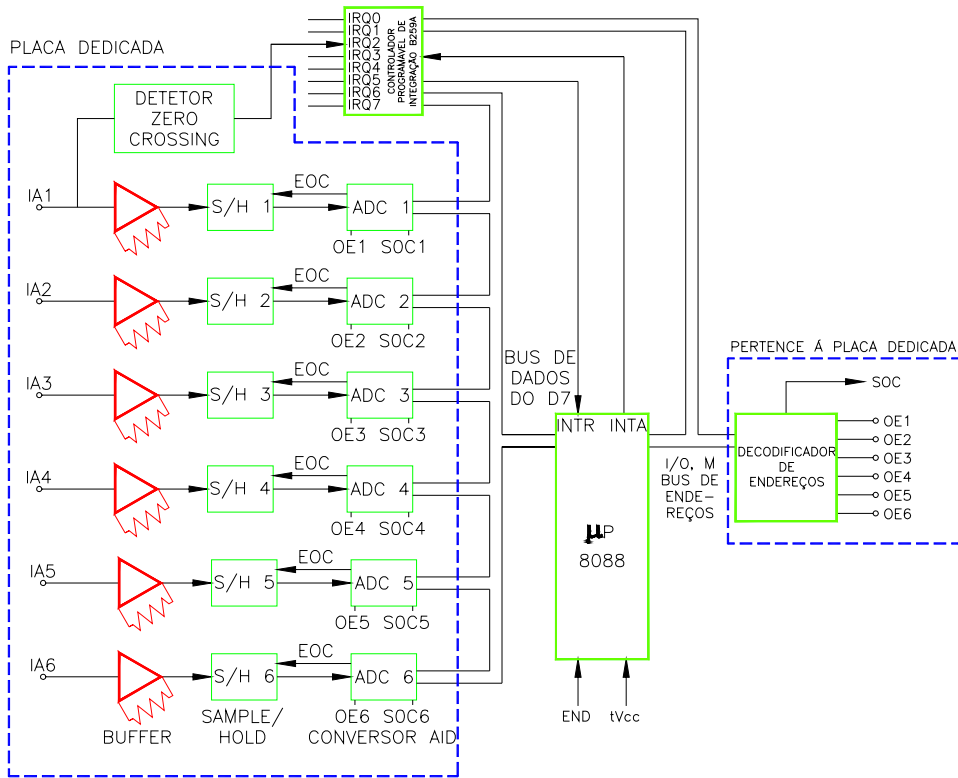


FIGURA 2 - PARTE DE “HARDWARE” DO SISTEMA DESENVOLVIDO

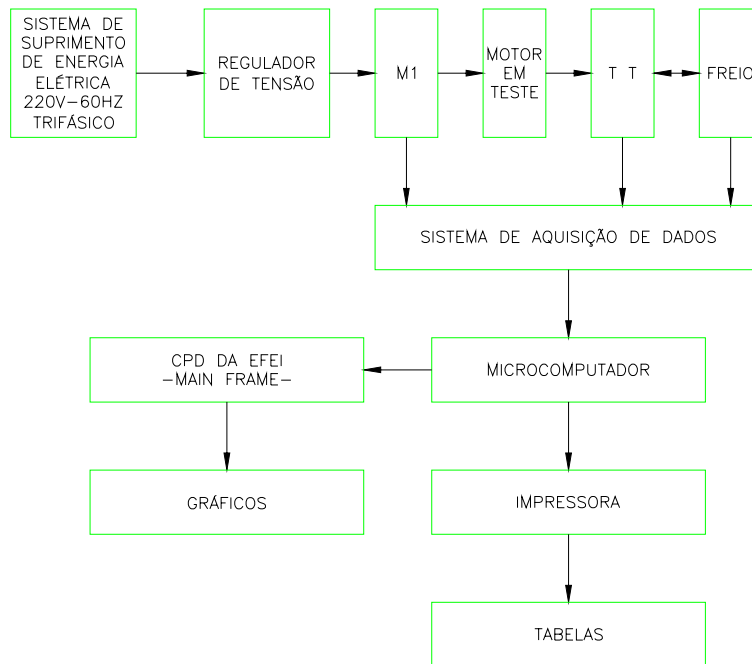


FIGURA 3 - DIAGRAMA DE BLOCOS ILUSTRANDO OS EQUIPAMENTOS USADOS EM TESTES DE MOTORES

No diagrama de blocos ilustrado na FIGURA 3 tem-se:

M1 - Medição da parte de potência. Corresponde à transformação dos sinais de tensão e de corrente (com o uso de transformadores de potencial - TP e de corrente - TC) para valores adequados à aquisição de dados. Esta aquisição é feita digitalizando-se os sinais de tensão e corrente em 128 (cento e vinte oito) pontos a 60 [HZ] para proceder os cálculos:

- do valor eficaz da tensão para cada uma das fases do motor;
- do valor eficaz da corrente para cada uma das fases do motor;
- do ângulo de fase entre a tensão e a corrente para cada fase com a finalidade de se obter o valor do fator de potência por fase e médio;

- da potência elétrica absorvida pelo motor ( $P_1$ ).

TT - Transdutor de torque o qual fornece o valor do conjugado desenvolvido (torque) (M) e a rotação no eixo do motor (n). A partir do conjugado e da rotação calcula-se a potência mecânica ( $P_m$ ) e o escorregamento.

Com base em  $P_1$  e  $P_m$  calcula-se as perdas totais e o rendimento e, com base na rotação e na frequência da rede calcula-se o escorregamento.

O sistema de medição desenvolvido forneceu para um motor de 7,5 [CV], tensão nominal 440 [V] quando se aplica ao mesmo uma tensão em torno de 440 [V], os resultados mostrados na TABELA 2.

Rot [RPM]	Torque [N.a]	P mec. [KW]	I <sub>1</sub> [A]	I <sub>2</sub> [A]	I <sub>3</sub> [A]	Corr. [A]	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	U <sub>3</sub> [V]	Tens. [V]	P. elet. [KW]	FP	Rend %	s %	Perda [KW]
1791	7.291	1.3674	3.95	4.15	4.01	4.04	253.3	255.4	254.7	440.7	1.8247	0.592	74.9	0.5	0.4573
1793	7.182	1.3484	3.92	4.09	3.97	4.00	253.5	255.6	254.7	441.0	1.7767	0.582	75.9	0.4	0.4283
1789	10.198	1.9106	4.45	4.67	4.52	4.55	252.7	254.8	253.8	439.5	2.3719	0.685	80.6	0.6	0.4613
1789	10.157	1.9028	4.47	4.65	4.51	4.54	252.7	254.4	253.5	439.1	2.3729	0.687	80.2	0.6	0.4701
1786	13.140	2.4576	5.07	5.32	5.12	5.17	252.8	255.0	254.3	440.0	2.9638	0.752	82.9	0.8	0.5062
1785	13.202	2.4678	5.09	5.32	5.13	5.18	252.3	254.5	253.4	438.9	2.9809	0.757	82.8	0.8	0.5131
1783	15.523	2.8985	5.54	5.86	5.69	5.69	253.4	255.9	255.0	441.3	3.4330	0.789	84.4	0.9	0.5345
1784	15.470	2.8901	5.52	5.89	5.69	5.70	253.7	256.3	255.8	442.1	3.4393	0.788	84.0	0.9	0.5492
1780	18.162	3.3854	6.21	6.55	6.29	6.35	252.7	255.0	254.3	439.9	3.9832	0.823	85.0	1.1	0.5978
1780	18.211	3.3947	6.18	6.51	6.30	6.33	252.4	254.9	254.3	439.7	3.9735	0.824	85.4	1.1	0.5788
1778	20.758	3.8650	6.80	7.14	6.94	6.96	253.7	256.0	255.6	441.8	4.4951	0.844	86.0	1.2	0.6301
1777	20.675	3.8474	6.78	7.12	6.93	6.94	253.8	255.8	255.1	441.6	4.4770	0.843	85.9	1.3	0.6296
1774	23.856	4.4319	7.64	7.98	7.80	7.80	252.8	254.8	254.5	440.0	5.1441	0.865	86.2	1.4	0.7122
1773	23.867	4.4314	7.62	7.98	7.82	7.81	253.0	254.9	254.8	440.4	5.1506	0.865	86.0	1.5	0.7192
1772	25.564	4.7438	8.11	8.42	8.30	8.28	252.7	254.8	254.6	440.0	5.5190	0.875	86.0	1.6	0.7752
1772	25.406	4.7144	8.05	8.37	8.23	8.22	253.1	254.7	254.8	440.3	5.4674	0.873	86.2	1.6	0.7530
1770	28.149	5.2176	8.82	9.11	8.98	8.97	253.4	255.2	255.1	440.9	6.0537	0.884	86.2	1.7	0.8361
1769	28.137	5.2124	8.81	9.10	8.95	8.96	253.4	255.5	255.0	441.0	6.0384	0.883	86.3	1.7	0.8260
1767	29.885	5.5300	9.32	9.60	9.44	9.45	253.5	255.4	255.0	441.0	6.4168	0.889	86.2	1.8	0.8868
1766	29.932	5.5355	9.39	9.63	9.48	9.50	252.8	254.5	253.6	439.3	6.4384	0.891	86.0	1.9	0.9029
1764	31.860	5.8855	9.92	10.20	9.95	10.02	253.1	255.2	254.6	440.4	6.8444	0.895	86.0	2.0	0.9589
1764	31.212	5.7658	9.67	10.31	9.49	9.82	252.6	256.4	254.1	440.6	6.6952	0.893	86.1	2.0	0.9294
1762	33.668	6.2124	10.30	11.16	10.20	10.55	252.5	257.0	254.7	441.2	7.2426	0.898	85.8	2.1	1.0302
1761	33.580	6.1926	10.28	11.15	10.19	10.54	252.3	256.6	254.5	440.7	7.2270	0.898	85.7	2.2	1.0344
1758	36.010	6.6295	11.03	11.87	10.93	11.28	252.5	256.8	254.6	441.0	7.7727	0.903	85.3	2.3	1.1432
1758	36.025	6.6323	11.00	11.87	10.92	11.26	252.5	257.0	255.1	441.5	7.7773	0.903	85.3	2.3	1.1450
1755	37.466	6.8858	11.45	12.28	11.36	11.70	252.5	256.2	254.4	440.6	8.0778	0.905	85.2	2.5	1.1920
1756	37.552	6.9055	11.41	12.31	11.38	11.70	252.2	256.6	254.7	440.8	8.0844	0.905	85.4	2.4	1.1789

### 3. TESTE EM MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

O diagrama de testes é basicamente aquele mostrado na FIGURA 2 onde após o bloco M1 adiciona-se uma ponte conversora.

Para os motores de corrente contínua a principal dificuldade é a medição da corrente no lado DC. Assim, pelo fato de que na grande maioria

dos motores usam-se pontes conversoras, o esquema adotado é aquele mostrado na FIGURA 4.

As formas de onda das correntes  $i_a$ ,  $i_b$  e  $i_c$  da FIGURA 4 estão mostradas de uma forma linearizada (para fins de esclarecimento do processo de medição) na FIGURA 5. Pode-se notar da FIGURA 5 que em qualquer instante t tem-se:

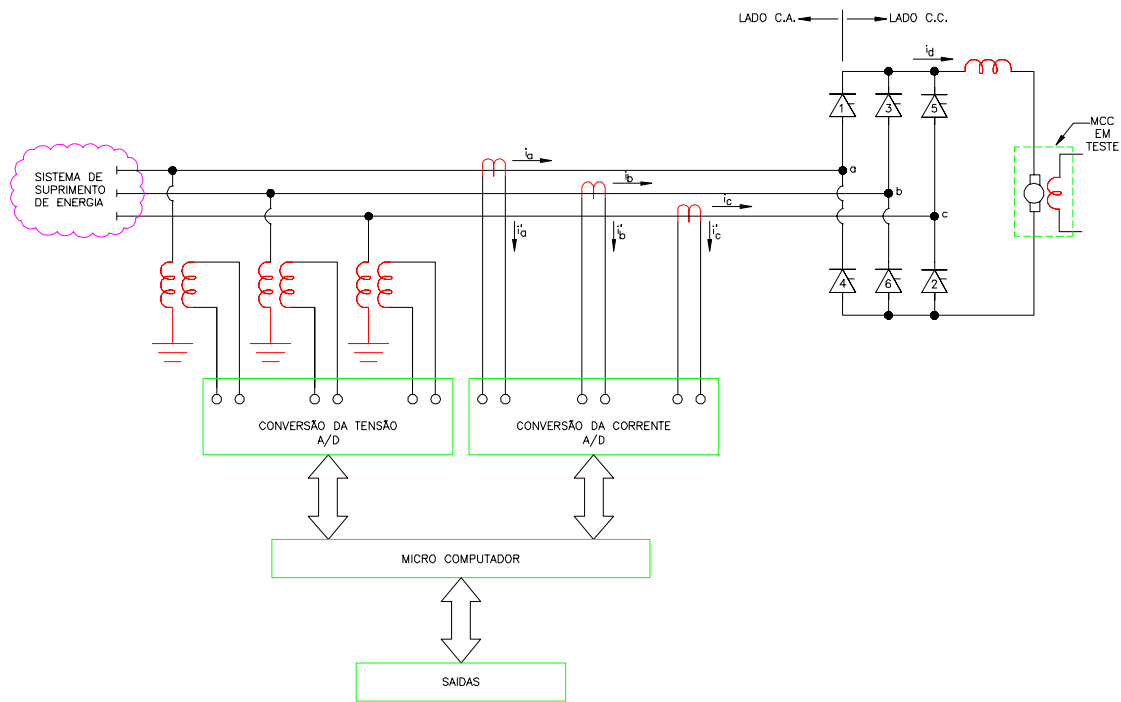


FIGURA 4 - CIRCUITO ELÉTRICO DE ACIONAMENTO DA MÁQUINA DE CORRENTE CONTÍNUA

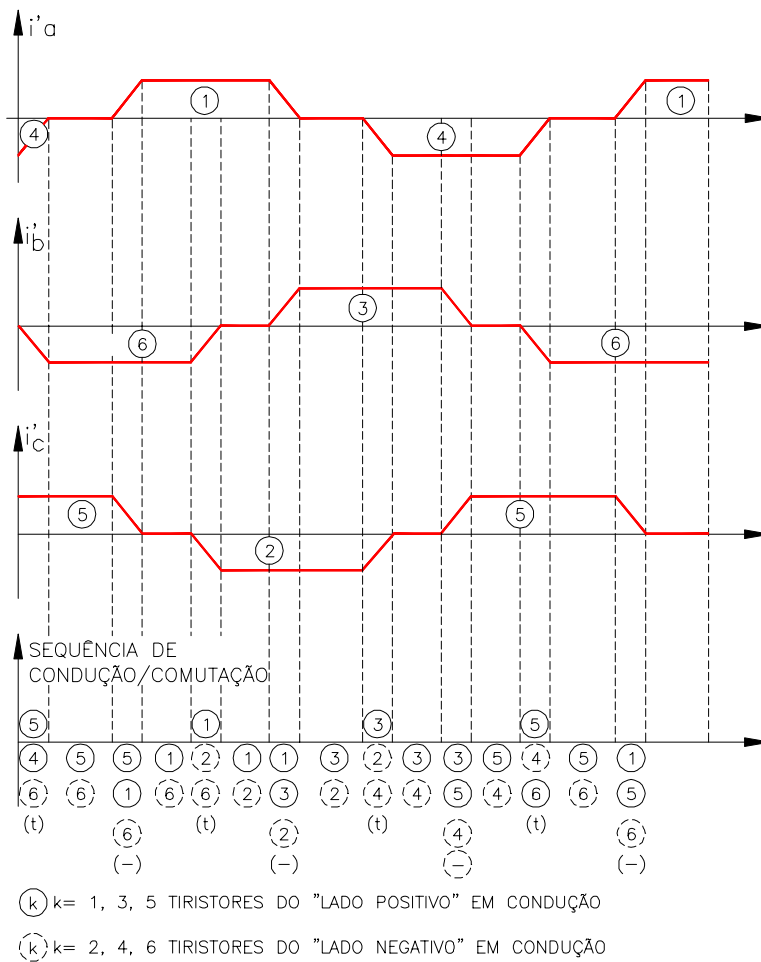


FIGURA 5 - FORMAS DE ONDA DE CORRENTE (LINEARIZADA PARA FINS DE ESCLARECIMENTO) TÍPICA DE UMA MÁQUINA DE CORRENTE CONTÍNUA. (NOTAR QUE (+) SIGNIFICA INTERVALO DE TEMPO NECESSÁRIO À COMUTAÇÃO ENTRE TIRISTORES DO LADO POSITIVO E (-) PARA O LADO NEGATIVO)

$$\frac{|\dot{i}'_a(t)| + |\dot{i}'_b(t)| + |\dot{i}'_c(t)|}{2} = \dot{i}'_d(t) = K \dot{i}'_d(t) \quad |\dot{i}'_{k+}| = |\dot{i}'_{k-}| = \dot{i}'_d$$

A corrente no lado cc é sempre a soma dos módulos instantâneos de corrente do lado CA, os quais são medidos através dos transformadores de corrente.

Pela expressão anterior nota-se que fora dos intervalos de tempo correspondentes à comutação, estão em condução um semiconductor do lado positivo e um do negativo. Assim:

Nos intervalos de tempo onde ocorre a comutação o valor da corrente do semiconductor que entra mais a corrente do semiconductor que sai fornece o valor de  $\dot{i}'_d$ .

Os resultados de testes de uma máquina de corrente contínua para uma condição de carga fixa encontram-se na TABELA 3. Note inclusive a obtenção do fator de comutação.

TABELA 3 - RESULTADOS DE ENSAIOS DE TESTE EM MCC  
COM CARGA CONSTANTE

Rot [RPM]	Conjug [N.a]	P mec. [KW]	I <sub>1</sub> [A]	I <sub>2</sub> [A]	I <sub>3</sub> [A]	Corr. [A]	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>2</sub> [V]	U <sub>3</sub> [V]	Tens. [V]	P elw. [KW]	FP 1	FP 2	FP 3	FP	FdU1	FdU2	FdU3	Reud %	Iarm [A]	F. Com
2457	3.135	0.8066	5.12	5.64	5.23	5.33	128.9	128.0	128.1	222.4	0.9415	0.431	0.423	0.375	0.411	0.014	0.000	0.011	85.7	4.0	0.0392
2457	3.346	0.8610	5.29	5.79	5.69	5.59	129.2	128.4	128.7	223.0	1.0003	0.414	0.435	0.402	0.418	0.019	0.000	0.000	86.1	4.2	0.0415
2459	3.938	1.0142	6.36	6.75	6.42	6.51	129.3	128.2	128.6	222.9	1.1693	0.436	0.429	0.411	0.427	0.018	0.011	0.000	86.7	5.0	0.0492
2460	4.724	1.2169	7.20	8.05	7.35	7.53	129.4	128.8	128.5	223.2	1.3957	0.466	0.458	0.409	0.445	0.019	0.000	0.012	87.2	6.0	0.0589
2460	4.634	1.1936	7.34	7.82	7.35	7.50	128.8	127.9	128.0	222.1	1.3711	0.463	0.443	0.415	0.444	0.018	0.012	0.014	87.0	5.9	0.0584
2462	5.478	1.4122	8.40	8.96	8.70	8.69	128.7	127.8	127.9	221.9	1.6231	0.462	0.473	0.434	0.462	0.017	0.012	0.012	87.0	7.1	0.0699
2464	7.534	1.9442	11.27	11.65	11.33	11.42	129.2	128.4	128.5	222.9	2.2545	0.497	0.492	0.476	0.488	0.013	0.000	0.000	86.2	9.8	0.0964
2467	8.717	2.2519	12.79	13.38	12.90	13.02	129.5	128.7	128.7	223.4	2.6396	0.518	0.509	0.485	0.504	0.015	0.000	0.000	85.3	11.4	0.1128
2468	9.890	2.5564	14.25	14.98	14.68	14.64	129.6	128.9	128.9	223.7	3.0387	0.526	0.532	0.496	0.518	0.013	0.000	0.000	84.1	13.2	0.1302
2471	11.008	2.8487	16.21	16.68	15.94	16.28	129.5	128.7	128.6	223.3	3.4414	0.549	0.531	0.512	0.534	0.013	0.011	0.018	82.8	15.0	0.1479
2474	12.705	3.2916	18.35	19.24	18.43	18.67	129.4	128.4	128.6	223.1	4.0763	0.566	0.555	0.532	0.553	0.011	0.012	0.000	80.7	17.6	0.1746
2473	12.810	3.3180	18.62	19.19	18.54	18.79	129.0	128.1	128.1	222.4	4.1137	0.568	0.555	0.541	0.556	0.013	0.010	0.000	80.7	17.8	0.1759
2475	13.147	3.4080	19.05	19.91	18.75	19.23	128.9	128.2	127.9	222.3	4.2497	0.578	0.564	0.538	0.561	0.016	0.000	0.010	80.2	18.4	0.1818
2478	14.438	3.7467	21.17	21.23	20.75	21.05	128.9	128.4	128.6	222.8	4.7720	0.583	0.568	0.574	0.577	0.013	0.013	0.000	78.5	20.5	0.2033
2480	14.893	3.8680	21.75	22.50	21.49	21.91	129.0	128.0	128.0	222.2	4.9917	0.597	0.582	0.561	0.586	0.019	0.011	0.016	77.5	21.6	0.2140
2480	15.252	3.9610	22.20	22.88	21.73	22.27	128.8	128.0	123.3	222.3	5.1259	0.599	0.589	0.571	0.588	0.017	0.000	0.011	77.3	22.0	0.2182
2481	15.885	4.1271	23.21	23.84	22.88	23.31	129.6	129.0	129.2	224.0	5.3968	0.596	0.586	0.575	0.587	0.018	0.000	0.011	76.5	23.1	0.2288
2481	15.671	4.0718	23.11	23.78	22.71	23.20	129.8	129.0	129.3	224.0	5.3300	0.597	0.580	0.566	0.587	0.019	0.011	0.016	76.4	22.9	0.2277
2480	15.519	4.0306	22.87	23.70	22.34	22.97	129.3	128.6	128.5	223.1	5.2648	0.601	0.580	0.565	0.587	0.019	0.010	0.016	76.6	22.7	0.2252
2480	15.204	3.9481	22.38	23.02	21.93	22.44	128.5	127.8	127.7	221.7	5.1248	0.597	0.585	0.567	0.586	0.017	0.000	0.015	77.0	22.1	0.2194

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados das medições comprovam que o uso de microcomputadores é bastante útil na realização de medições, mesmo de máquinas rotativas.

Os transdutores de torque se comportam, em regime permanente, quando aliados ao uso de microcomputadores que podem fazer uma média das medições, de modo bastante satisfatório.

Cabe ressaltar ainda que este tipo de medição não acarreta a necessidade de anotações e, portanto, evita erros tanto da leitura como dos cálculos. Além disso, o processo é bastante rápido e a emissão do relatório técnico com resultados é possível logo após os testes.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] - Cogo, J. R.; Filho, H. P. - "Análise de Erros na Determinação de Parâmetros de Circuitos Elétricos por Amostragem de Sinais". Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, Volume 15, nº 1, 1989 - pág. 2 a 18.

#### 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro com o qual foi possível utilizar o protótipo do sistema de medição.

A ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras), PROCEL (Programa de Conservação de Energia Elétrica), e CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), por terem apoiado o projeto "Avaliação dos Desempenhos dos Motores de Indução Trifásicos" onde foi possível obter resultados de testes de 31 motores de indução.