

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

10,0 (Dêz)
Muito bom trabalho
CS Jr.
6/12/84

TORQUÍMETRO ÓTICO - DIGITAL

PARA EIXOS ROTATIVOS

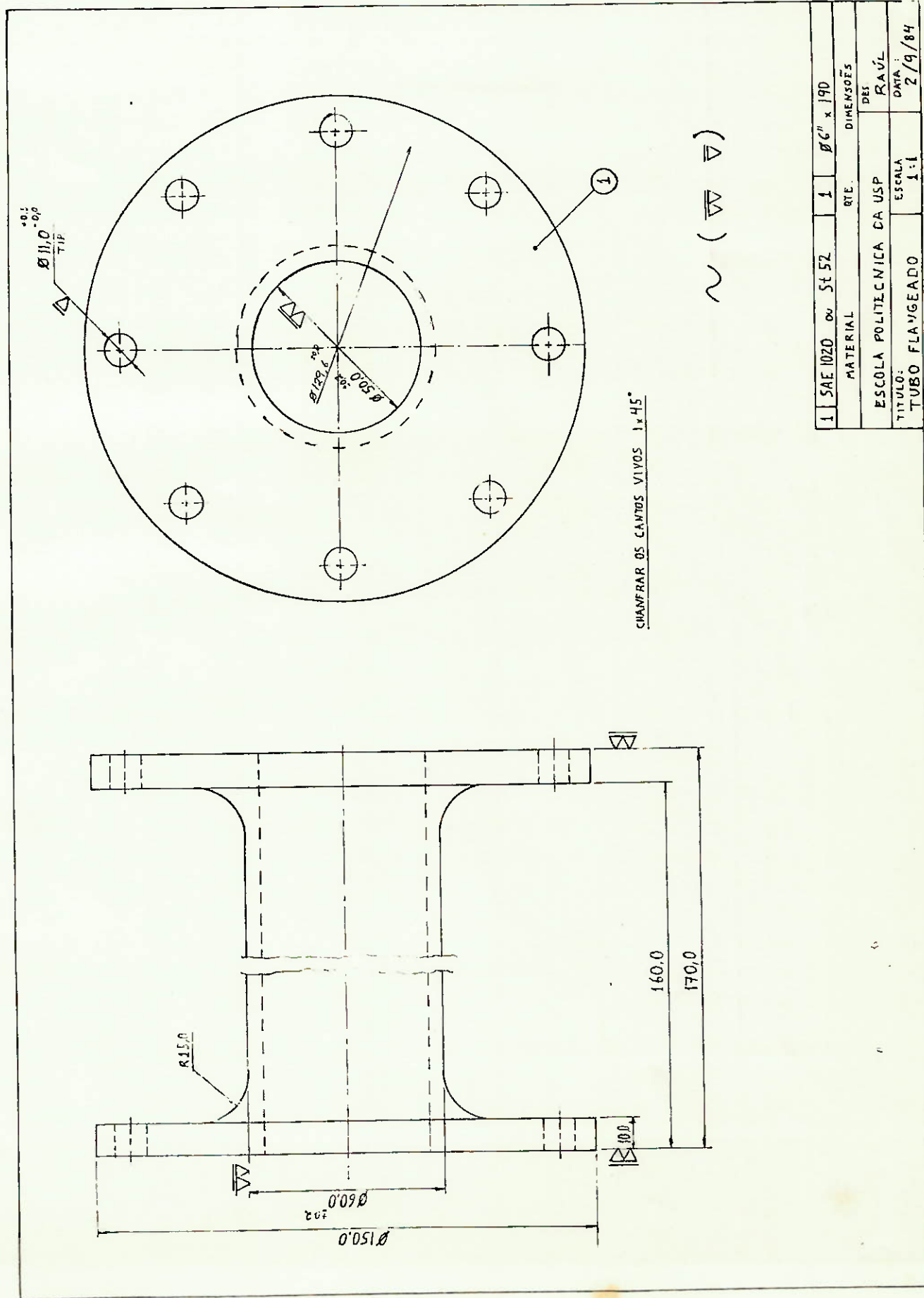
1 9 8 4

Autor: RAÚL GONZÁLEZ LIMA

Orientador: CARLOS CHIENG-CHING TU

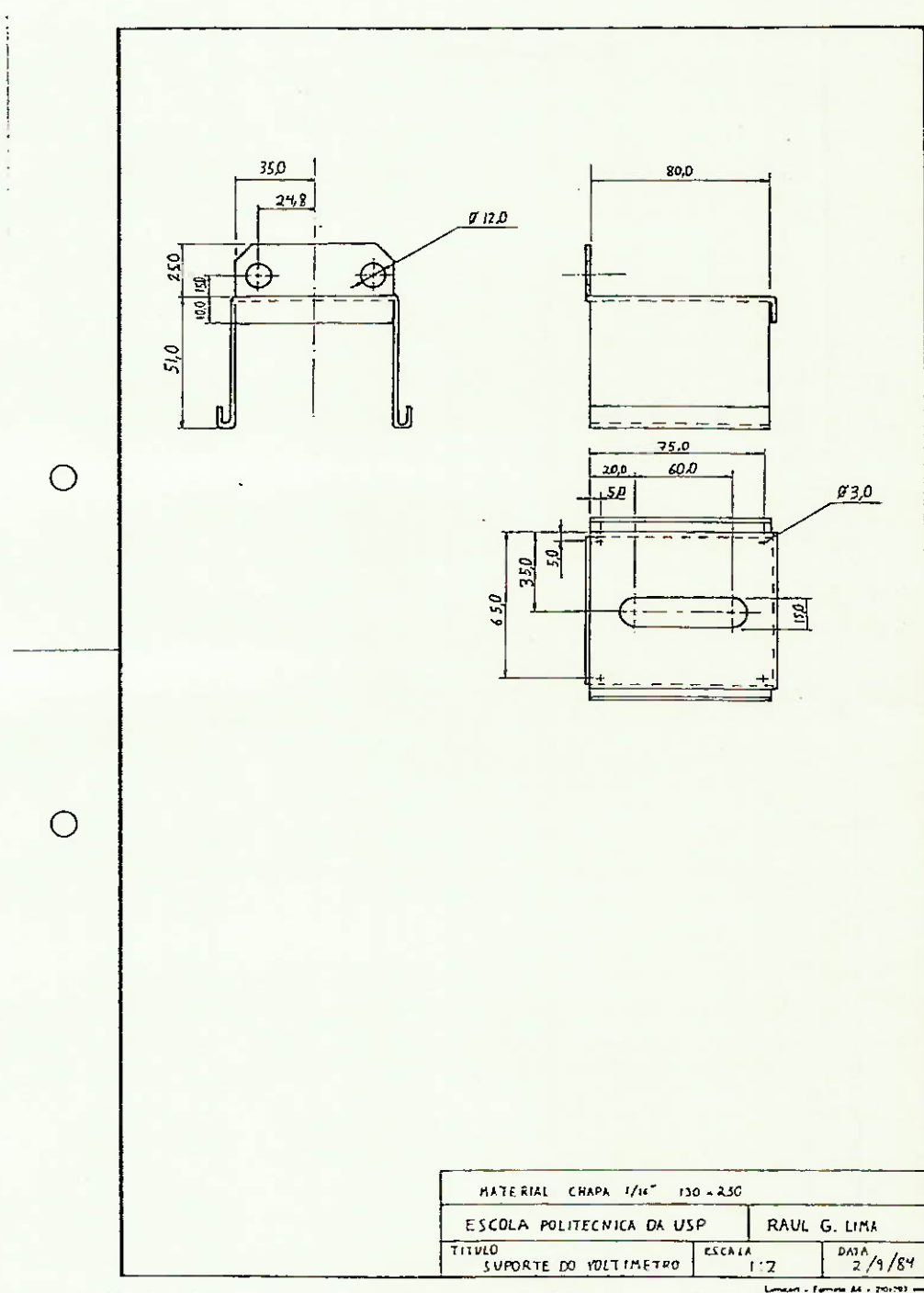
ANEXO E

Desenho de fabricação do eixo (2.4.3)



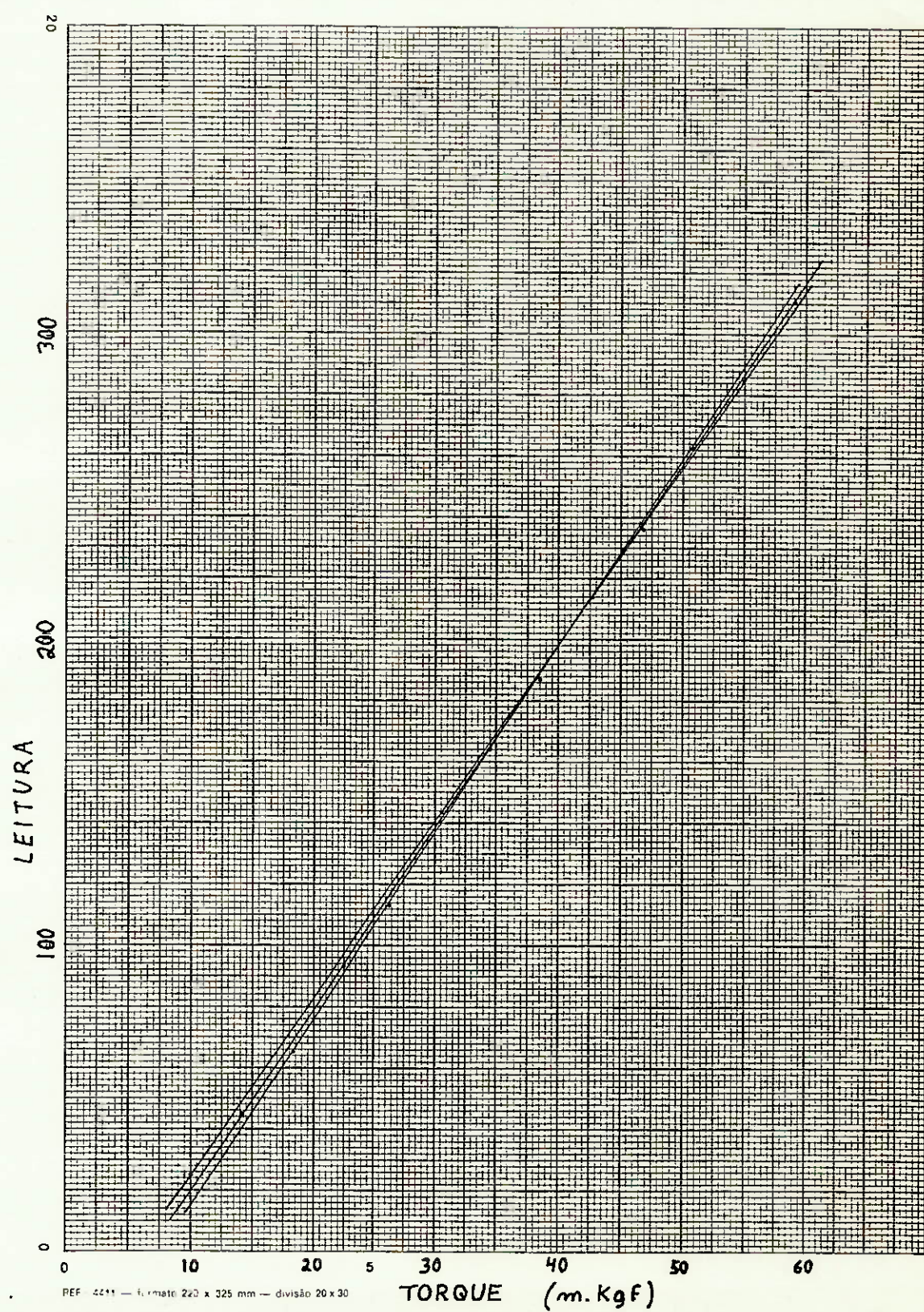
ANEXO F

Desenho de fabricação do suporte (2.5.1)



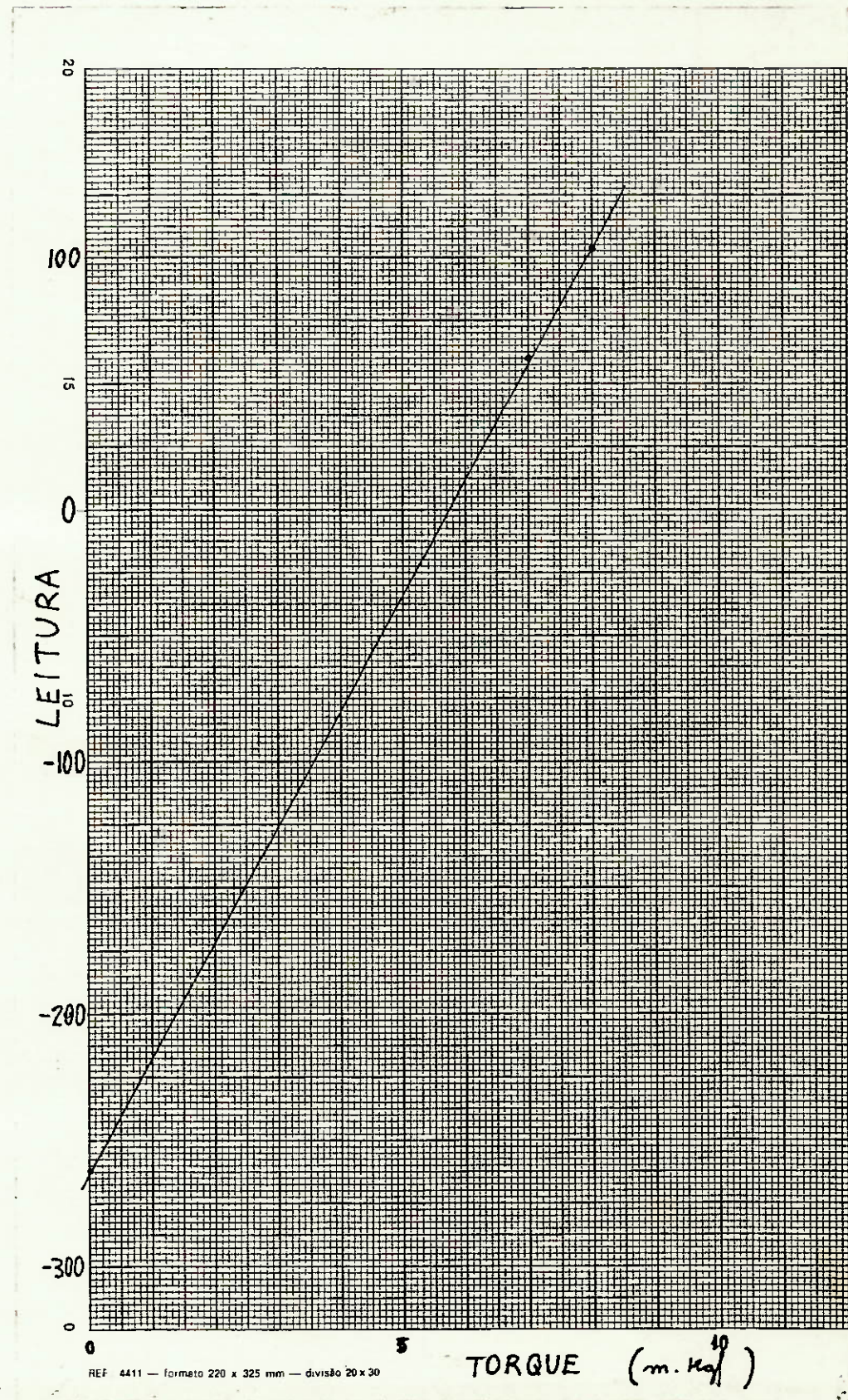
ANEXO G

Gráfico da calibração estática (4.1.1)



ANEXO H

Gráfico do ensaio na bancada dinamométrica (4.2.1)



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOEBELIN, E.O. 1966 - Measurement Systems: Application and Design. McGraw - Hill. 743 p.

BECKWITH, THOMAS G. 1981. Mechanical measurements
3. ed. Addison - Wesley Publishing Co. 730p.

NIEMANN, GUSTAV. 1971. Elementos de Máquinas
São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda.

LEBOW ASSOCIATES, INC CATALOG. 1974. Troy, MI USA.

BLH ELETRONICS. 1964. Dyna-Lastic Strain gages
Waltham, MA USA.

FICHA CATALOGRÁFICA

TF 84 Lima, Raúl González
L 628 t Torquímetro Ótico-Digital para
 Eixos Rotativos; Orientador Prof.
 Carlos Chieng-Ching Tu São Paulo
 EPUSP, 1964
 27 p.; 11us.; Tab.; 30 cm

Bibliografia: pag. 27

Aos meus pais e irmãos,
como primícias,
frutos da terra que me deram para cultivar

A G R A D E C I M E N T O S

Expresso meu sincero reconhecimento ao Prof. Carlos Chieng Ching Tu, meu orientador, por todas as horas que dedicou a este trabalho, com genuíno espírito acadêmico.

Também não tem medida a colaboração do Engº Theodoro Rombauer, Engº José Walter de Campos Pereira, Engº Natal Ulisses Matta, Dârcio Bilababas Cano e ao Prof. Jellil Aslan.

O que em especial me torna grato é o modo fraternal com que me receberam.

R E S U M O

Uma análise dos torquímetros para eixos rotativos atuais revela que seria interessante um instrumento que pudesse ser instalado a um eixo qualquer. Este trabalho investiga a viabilidade física do projeto de um torquímetro que possui uma ponte de Wheatstone de extensômetros elétricos e um voltímetro fixo no eixo rotativo.

O projeto está dimensionado para operar a 5.000 rpm e sob um torque máximo de 100 m.Kgf. Foram realizados ensaios com um protótipo numa bancada dinamométrica.

Um feixe de luz proveniente de uma lanterna incide, a cada volta, sobre um fototransistor que comanda o acendimento do mostrador sempre na mesma posição angular do eixo. Devido ao efeito estroboscópico e à persistência visual do olho humano o mostrador do voltímetro parece parado e legível.

Portanto os únicos vínculos são o feixe de luz da lanterna para o fototransistor do voltímetro e a indicação luminosa do mostrador do voltímetro. Isto confere versatilidade ao instrumento.

S U M Á R I O

DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTO	i
RESUMO	1
1.- INTRODUÇÃO	2
1.1.- Objetivos	2
1.2.- Torquímetros existentes	2
1.3.- Tendências	6
2.- PROJETO DO TORQUÍMETRO	7
2.1.- Possíveis soluções	7
2.2.- Escolha da solução	7
2.3.- O circuito eletrônico	8
2.4.- Cálculo do eixo	8
2.5.- Verificação da resistência do suporte do voltímetro	9
3.- MONTAGEM DO PROTÓTIPO	10
3.1.- Fixação dos extensômetros elétricos	10
3.2.- Montagem dos circuitos eletrônicos	10
3.3.- Montagem da blindagem elétrica	10
4.- EXPERIÊNCIA E RESULTADOS	11
4.1.- Calibração	12
4.2.- Ensaio na bancada dinamométrica	12
5.- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	12
5.1.- Conclusão	13
5.2.- Recomendações	13
ANEXOS	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1.- INTRODUÇÃO

Torque é um parâmetro fundamental na mecânica. É definido como o momento devido a uma força tangencial.

Já existem diversas técnicas para medir torque em eixos rotativos, através de transdutores capacitivos, indutivos, óticos e resistivos. O sinal pode ser encaminhado por anéis deslizantes, pelo campo magnético ou radiotelemetria.

Muitas vezes não é necessário saber o torque a cada instante, interessa a média num certo intervalo de tempo.

Uma análise dos instrumentos existentes revela que somente os que utilizam extensômetros elétricos e radiotelemetria podem ser aplicados a um eixo de diâmetro qualquer e sem alterar a montagem do conjunto a ser analisado.

1.1.- Objetivos

1.1.1.- Projetar, construir e experimentar um torquímetro para eixos rotativos, aplicável a um eixo de diâmetro qualquer. Deve ocupar menos de 200 mm de comprimento e suportar a rotação de 5 000 rpm.

1.2.- Torquímetros existentes.

1.2.1.- Podemos medir o torque reativo, isto é, o esforço reativo entre o motor e o seu suporte, ou o torque diretamente no eixo.

1.2.2.- O torque reativo é medido suspendendo o motor por dois rolamentos e medindo a força que um braço exerce para mantê-lo parado conforme a FIGURA 1. Esta configuração introduz erros devido ao atri

to nos mancais de rolamentos e ao desbalanceamento do motor

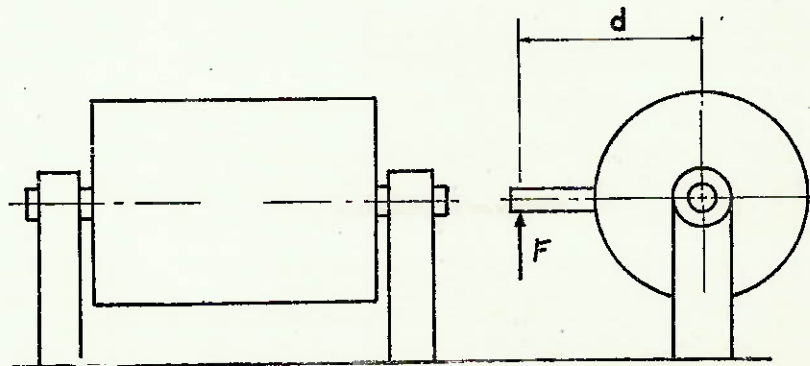


FIGURA 1 - Motor suspenso por mancais de rolamentos e haste restringindo seu movimento.

1.2.3.- Para reduzir os efeitos do atrito e para tornar possível a medição dinâmica de torque a configuração acima é aperfeiçoada, gerando a mesa para medir torque reativo. Quatro barras flexíveis suspendem o suporte do motor, na FIGURA 2.

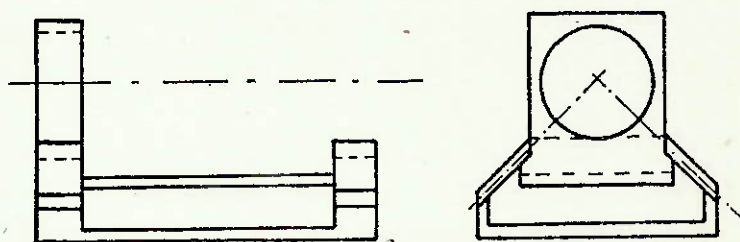


FIGURA 2 - Mesa para medir torque reativo

1.2.4.- Podemos utilizar a deflexão elástica do eixo para medir o torque transmitido. Baseado neste princípio foi construído o instrumento ótico da FIGURA 3.

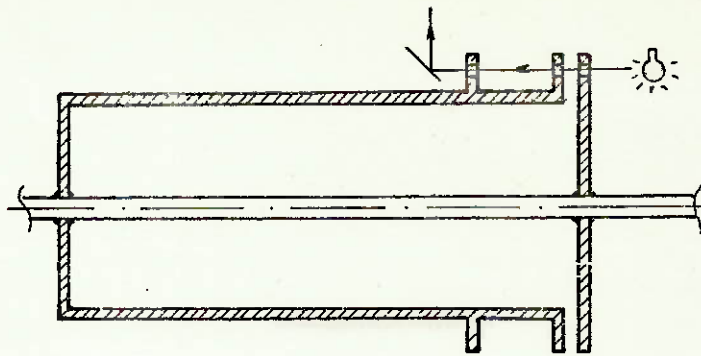


FIGURA 3 - Torquímetro ótico de barra de torção.

1.2.5.- O desejo de ter saídas elétricas e de acompanhar variações rápidas do torque levam ao desenvolvimento de torquímetros com extensômetros elétricos, mostrado na FIGURA 4. Esta configuração dos extensômetros elétricos é insensível à flexão e à variações de temperatura. O sinal é levado do transdutor ao indicador da medida através de anéis deslizantes, radiotelemetria ou por um transformador rotativo.

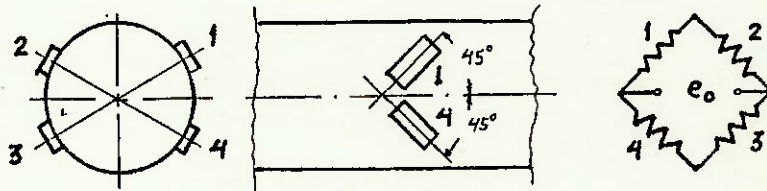


FIGURA 4 - Ponte de Wheststone de extensômetros elétricos.

1.2.6.- O transformador rotativo substitui os anéis deslizantes. O enrolamento primário ou o secundário gira. Um transformador é usado para transmitir corrente alternada para a alimentação da ponte de Wheatstone e o outro recolhe o sinal da saída da ponte. Na FIGURA 5

vê-se o princípio básico destes transformadores que não requerem a manutenção constante dos anéis deslizantes.

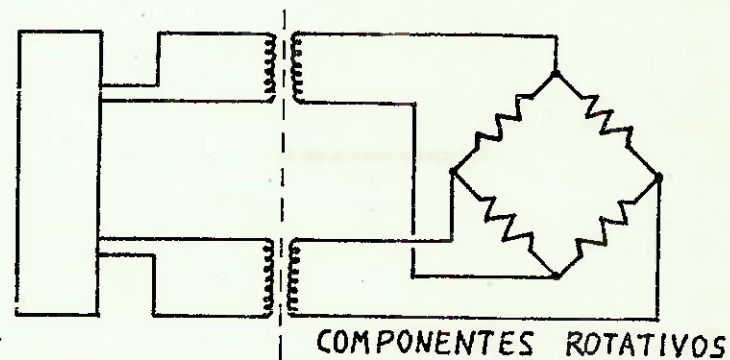


FIGURA 5 - Transformador rotativo, princípio básico.

1.2.7.- Outro transdutor empregado é o "torsional variable differential transformer" (TVDT). Três peças tubulares, de material magnético (A,B,C), são presas ao eixo de material não magnético. Estas peças apresentam fendas inclinadas de 45° em relação ao eixo. Um torque aplicado causa aproximação de uma fenda e o afastamento da outra. Com isto varia a relutância magnética nas fendas. Ao aplicar uma voltagem de corrente alternada nos enrolamentos primários surgirão voltagens diferentes nos secundários, proporcionalmente ao torque. A FIGURA 6 descreve este transdutor.

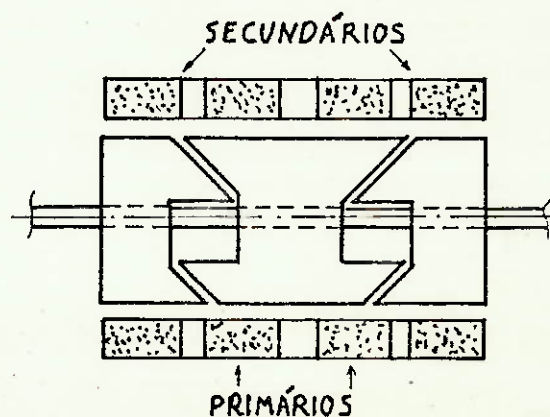


FIGURA 6 - Transformador diferencial variável com a torção

1.2.8.- Além dos elementos mencionados devem ser lembrados os dispositivos que fornecem ou absorvem energia para medir torque, como o freio de Prony, motores ou geradores calibrados. Também existem técnicas que utilizam materiais fotoelásticos e iluminação estroboscópica.

1.3.- Tendências.

1.3.1.- Procura-se evitar os anéis deslizantes pela contínua manutenção e pela alta relação ruído/sinal.

1.3.2.- Seria ideal o torquímetro que não alterasse a montagem já existente, isto é, que pudesse ser aplicado a um eixo qualquer e ocupasse pouco espaço.

1.3.3.- Deve ser insensível a condições atmosféricas e à flexão, fácil de calibrar, leitura digital e baixo custo.

II. PROJETO DO TORQUÍMETRO

2.1 Possíveis Soluções

- 2.1.1 Medir a defasagem entre dois pequenos espelhos colados no eixo.
- 2.1.2 Medir a defasagem entre dois pequenos ímãs colados no eixo.
- 2.1.3 Utilizar uma ponte de Wheatstone de extensômetros elétricos, um voltímetro digital com mostrador de cristal líquido (LCD) girando com o eixo e uma fonte de luz estroboscópica.
- 2.1.4 Utilizar uma ponte de Wheatstone de extensômetros elétricos, um voltímetro digital com mostrador luminoso (LED) girando com o eixo e uma lanterna comum.
- 2.1.5 Utilizar um circuito eletrônico para modular em frequência a voltagem de saída de um transdutor resistivo ou capacitivo.

2.2 Escolha da Solução

- 2.1.1 Na TABELA 1, A representa bom, B representa regular e C representa ruim.

	1	2	3	4	5
Custo	A	A	B	A	C
Ruídos	B	B	B	B	A
Confiabilidade	B	B	B	A	A
Versatilidade	B	B	A	A	B
Sensibilidade	B	C	A	A	A

TABELA 1 - Escolha da solução

2.2.2 O campo magnético é difuso em relação a um feixe de luz portanto, a solução 1 supera a 2 em sensibilidade. A sensibilidade das soluções 1 e 2 dependem da rigidez e do comprimento disponível do eixo o que tira versatilidade a estas soluções.

2.2.3 A solução 5 é comparável ao uso de radiotelemetria além de ser menos sensível a ruídos, porém é cara.

2.2.4 A solução 3 requer uma fonte de luz estroboscópica e o mostrador de cristal líquido tem resistência mecânica incerta.

2.2.5 Portanto, a escolha é a solução 4: Extensômetros elétricos e voltímetro digital, com mostrador LED.

2.3 O circuito eletrônico

2.3.1 Empregou-se um voltímetro digital com base no circuito integrado ICTL 7107 e cujo circuito eletrônico e demais especificações constam nos ANEXOS A e B.

2.3.2 O circuito eletrônico completo pode ser visto no ANEXO C

2.3.3 Fez-se necessário amplificar o sinal de saída dez vezes através do amplificador operacional 741 e a inserção de um capacitor de $10\mu\text{F}$ na entrada deste amplificador como filtro de ruídos.

2.3.4 Todo o circuito é alimentado com 6V exceto o mostrador de LED que tem alimentação de 12V acionada por um fototransistor. Isto foi feito para aumentar a intensidade luminosa do mostrador visto que reduzimos bastante seu tempo aceso.

2.4 Cálculo do eixo

2.4.1 Como se vê na FOTOGRAFIA 1 do ANEXO D, a bancada dinamométrica utilizada nos ensaios não possui um eixo homogêneo para a instalação do torquímetro. Foi projetado um eixo para ser instalado entre o dinamômetro e o eixo articulado.

2.4.2 Material aço SAE 1020

Mt = momento torçor máximo

σ_r = tensão de ruptura

τ = tensão de cisalhamento admissível

Wt = módulo de resistência à torção

da = diâmetro externo

di = diâmetro interno

$$\tau = Mt/Wt \quad e \quad Wt = \frac{\pi (da^4 - di^4)}{16 \times da}$$

sendo: Mt = 100 m.kp

$\sigma_r = 46,6 \text{ kg/mm}^2$

$\tau = 5,75 \text{ kp/mm}^2$

da = 60 mm

resulta: di = 52,6 mm

di = 50mm

2.4.3 No ANEXO E encontra-se o desenho de fabricação do eixo.

2.5 Verificação da resistência do suporte do voltímetro

2.5.1 O suporte do voltímetro pode ser visto na FOTOGRAFIA 2 e no desenho de fabricação do ANEXO F

2.5.2 w = velocidade angular máxima (5.000 rpm)

a = aceleração centrípeta

m = massa do suporte e do voltímetro ou pilhas

σ = tensão de funcionamento

σ_{ad} = tensão admissível do material

A = área da seção transversal do suporte

r = raio

$$a = w^2 \times r \quad ; \quad \sigma = \frac{m \cdot a}{9,8 \times A}$$

$$\sigma < \sigma_{ad}$$

Sendo: $w = 523 \text{ rd/s}$
 $r = 40 \text{ mm}$
 $A = 1,5 \times 70 = 105 \text{ mm}$
 $\sigma_{ad} = 8,8 \text{ kp/mm}^2$
 $m = 270 \text{ g}$

resulta $\sigma = 2,9 \text{ kp/mm}^2 < 8,8 \text{ kp/mm}^2$
 $\sigma \ll \sigma_{ad}$

3. MONTAGEM DO PROTÓTIPO

3.1 Fixação dos extensômetros elétricos

3.1.1 A FIGURA 4 e a FOTOGRAFIA 3 mostram configuração dos extensômetros elétricos.

3.1.2 Recortar numa cartolina a posição dos extensômetros.

Fixar a cartolina ao eixo. Posicionar os extensômetros nos recortes da cartolina. Colar uma fita adesiva transparente, no extensômetro e na cartolina.

Levantar a fita e o extensômetro mantendo a outra extremidade da fita na cartolina. Passar a cola. Comprimir o extensômetro contra a superfície metálica durante o tempo especificado pelo fabricante da cola.

3.1.3 A cola utilizada foi Super Bonder e a compressão foi mantida por 90s. Os extensômetros são da BLH Eletronics.

3.2 Montagem do circuito eletrônico

3.2.1 Devido à rotação os componentes devem ser soldados com os terminais dobrados e encapados com borracha de silicone, por exemplo: Flexite da Alba Química.

3.3 Montagem da blindagem elétrica

3.3.1 A ponte de Wheatstone e o voltímetro devem ser blindados eletricamente para minimizar oscilações provenientes de ruídos. Pode se utilizar folha de flandres como mostra a FOTOGRAFIA 4.

3.3.2 Os extensômetros foram previamente protegidos por fita isolante, uma fita de borracha de câmara de ar e papel de alumínio para garantir a vedação da blindagem.

4. EXPERIÊNCIA E RESULTADOS

4.1 Calibração

4.1.1 Método de calibração: fixar uma flange na placa de um torno travado, parafusar uma barra de 1,5m de comprimento na outra flange, deslocar um peso de 40Kg na extensão da barra. Os resultados estão compilados na TABELA 2 e no gráfico do ANEXO G.

Torque (m.Kgl)	Leitura
10,2	25
14,3	44
18,3	65
22,4	93
26,5	123
30,5	144
34,6	164
38,6	187
42,7	214
46,8	236
50,8	263
54,9	285
58,9	311

TABELA 2 - Resultados da calibração estática.

4.2 Ensaio na bancada dinamométrica.

4.2.1 Na bancada da FOTOGRAFIA 1, obtivemos os resultados da TABELA 3, de torque medido pelo dinamômetro e leitura no mostrador do protótipo.

O gráfico correspondente se encontra no ANEXO H.

Torque (m.Kgl)	Leitura
0	-262
7	59
8	103

TABELA 3 - Resultados do ensaio na bancada dinamométrica.

4.2.2 Tanto o zero da ponte de Wheatstone quanto o fundo de escala do voltímetro podem ser ajustados por resistências variáveis.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

5.1.1 Nada podemos afirmar a respeito da durabilidade do protótipo e seria prematuro afirmar a linearidade da resposta sob rotação, com base apenas nos resultados do item 4.2.1, porém a viabilidade física da solução proposta está provada. A FOTOGRAFIA 5 mostra a leitura durante a rotação do eixo.

5.2 Recomendações

- 5.2.1 Não se sabe qual o efeito a longo prazo de usar 12V no ânodo do mostrador de LED. A corrente que passa pelo mostrador passa também por algumas partes do circuito integrado. Deve-se isolar o mostrador do circuito integrado do voltímetro.
- 5.2.2 Ainda não foi projetado um suporte para o voltímetro de tal forma que este possa ser preso a um eixo de diâmetro qualquer.
- 5.2.3 Deve-se experimentar o comportamento do mostrador de cristal líquido sob 1.000g de aceleração. Ele consome muito menos energia.
- 5.2.4 Durante a geração algumas vezes a ponte de Wheatstone se desbalanceia com a vibração. Isto deve ser corrigido eliminando as resistências variáveis e melhorando o isolamento elétrico de alguns componentes.

Especificações do voltímetro (2.3.1)

INTERFIL

ICL7106/7107
3½-Digit Single Chip
A/D Converter

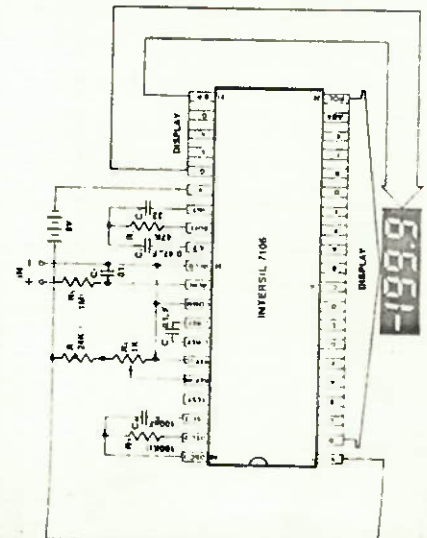
FEATURES

- Guaranteed zero reading for 0 volts input on all scales.
- True polarity at zero for precise null detection.
- 1 pA typical input current.
- True differential input and reference.
- Direct display drive - no external components required. — LCD ICL7106
- LED ICL7107
- Low noise - less than $1\mu\text{V}$ p-p.
- On-chip clock and reference.
- Low power dissipation - typically less than 10mW.
- No additional active circuits required.
- Evaluation Kit available.

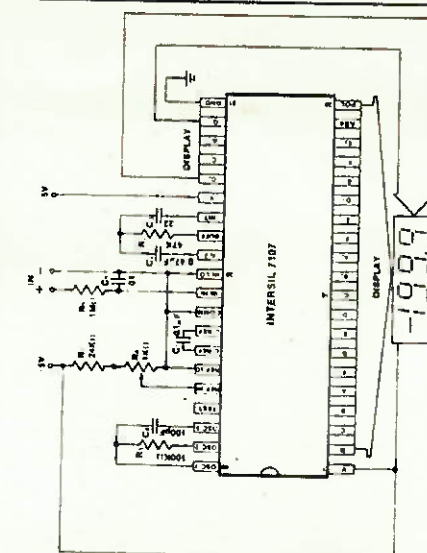
GENERAL DESCRIPTION

The Intersil ICL7106 and 7107 are high performance, low power 3½-digit A/D converters containing all the necessary active devices on a single CMOS i.c. Included are seven-segment decoders, display drivers, reference, and a clock. The 7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a backplane drive; the 7107 will directly drive an instrument-size light-emitting diode (LED) display.

The 7106 and 7107 bring together an unprecedented combination of high accuracy, versatility, and true economy. High accuracy like auto-zero to less than 10 μ V, zero drift of less than 1 μ V/ $^{\circ}$ C, input bias current of 10 pA max., and rollover error of less than one count. The versatility of true differential input and reference is useful in all systems, but gives the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge-type transducers. And finally the true economy of single power supply operation (7106), enabling a high performance panel meter to be built with the addition of only 7 passive components and a display



CL7106 with Liquid Crystal Display



ICL7107 with LED Display

ORDERING INFORMATION

Part	Package	Temp. Range	Order Part #
1106	40 pin ceramic DIP	0°C to +70°C	ICL7106CGL
1106	40 pin plastic DIP	0°C to +70°C	ICL7106CPL
1107	40 pin CERDIP	0°C to +70°C	ICL7107CJL
1107	40 pin CERDIP	0°C to +70°C	ICL7107CJL
1107	40 pin ceramic DIP	0°C to +70°C	ICL7107CGL
1107	40 pin plastic DIP	0°C to +70°C	ICL7107CPL
106 Kit	Evaluation kits contain IC, display, circuit board, passive components and hardware.		
107 Kit			
			ICL7106EVIKit
			ICL7107EVIKit

PIN CONFIGURATION

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
VOLT										CURRENT										TENS										HUNDREDS										THOUSANDS										TENS OF THOUSANDS										HUNDREDS OF THOUSANDS										MILLIONS										TENS OF MILLIONS										HUNDREDS OF MILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS OF DECILLIONS										UNDILLIONS										TENS OF UNDILLIONS										HUNDREDS OF UNDILLIONS										ILLIONS										TENS OF ILLIONS										HUNDREDS OF ILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS OF DECILLIONS										UNDILLIONS										TENS OF UNDILLIONS										HUNDREDS OF UNDILLIONS										ILLIONS										TENS OF ILLIONS										HUNDREDS OF ILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS OF DECILLIONS										UNDILLIONS										TENS OF UNDILLIONS										HUNDREDS OF UNDILLIONS										ILLIONS										TENS OF ILLIONS										HUNDREDS OF ILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS OF DECILLIONS										UNDILLIONS										TENS OF UNDILLIONS										HUNDREDS OF UNDILLIONS										ILLIONS										TENS OF ILLIONS										HUNDREDS OF ILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS OF DECILLIONS										UNDILLIONS										TENS OF UNDILLIONS										HUNDREDS OF UNDILLIONS										ILLIONS										TENS OF ILLIONS										HUNDREDS OF ILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS OF DECILLIONS										UNDILLIONS										TENS OF UNDILLIONS										HUNDREDS OF UNDILLIONS										ILLIONS										TENS OF ILLIONS										HUNDREDS OF ILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS OF DECILLIONS										UNDILLIONS										TENS OF UNDILLIONS										HUNDREDS OF UNDILLIONS										ILLIONS										TENS OF ILLIONS										HUNDREDS OF ILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS OF DECILLIONS										UNDILLIONS										TENS OF UNDILLIONS										HUNDREDS OF UNDILLIONS										ILLIONS										TENS OF ILLIONS										HUNDREDS OF ILLIONS										BILLIONS										TENS OF BILLIONS										HUNDREDS OF BILLIONS										TRILLIONS										TENS OF TRILLIONS										HUNDREDS OF TRILLIONS										QUADRILLIONS										TENS OF QUADRILLIONS										HUNDREDS OF QUADRILLIONS										QUINTILLIONS										TENS OF QUINTILLIONS										HUNDREDS OF QUINTILLIONS										SEXTILLIONS										TENS OF SEXTILLIONS										HUNDREDS OF SEXTILLIONS										SEPTILLIONS										TENS OF SEPTILLIONS										HUNDREDS OF SEPTILLIONS										OCTILLIONS										TENS OF OCTILLIONS										HUNDREDS OF OCTILLIONS										NONILLIONS										TENS OF NONILLIONS										HUNDREDS OF NONILLIONS										DECILLIONS										TENS OF DECILLIONS										HUNDREDS									

Especificações do voltímetro (3.2.1)

ICL7106/ICL7107

TYPICAL APPLICATIONS (Contd.)

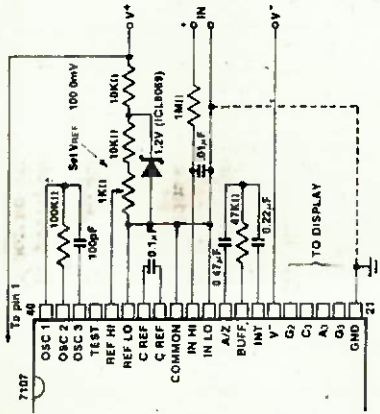


Figure 14: 7107 with an external band-gap reference (1.2V type). IN LO is tied to COMMON, thus establishing the correct common mode voltage. If COMMON is not shorted to GND, the input voltage may float with respect to the power supply and COMMON acts as a pre-regulator for the reference. If COMMON is shorted to GND, the input is single ended (referred to supply ground) and the pre-regulator is over-ridden.

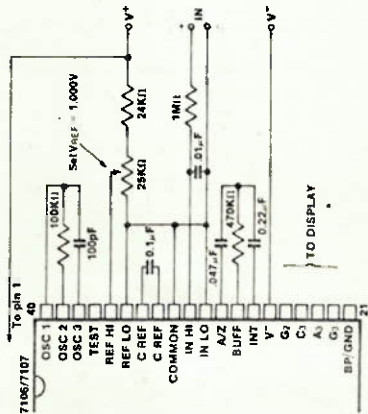


Figure 15: 7106/7107: Recommended component values for 2.000V full scale.

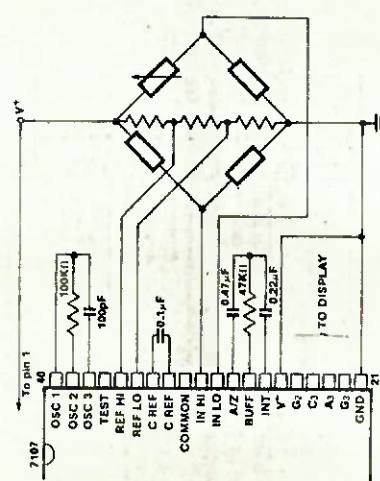


Figure 17: 7107 measuring ratio-metric values of Quad Load Cell. The resistor values within the bridge are determined by the desired sensitivity.

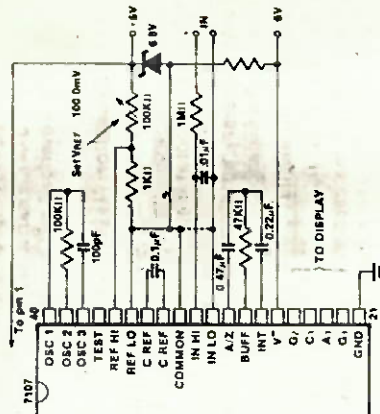


Figure 16: 7107 operated from single +5V supply. An external reference must be used in this application since the voltage between V^+ and V^- is insufficient for correct operation of the internal reference.

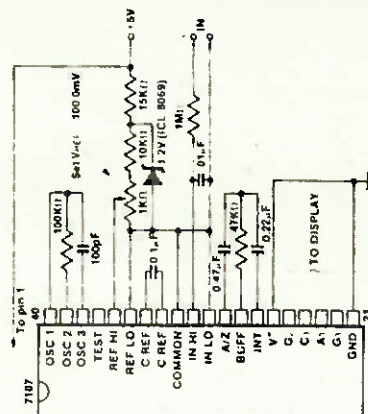
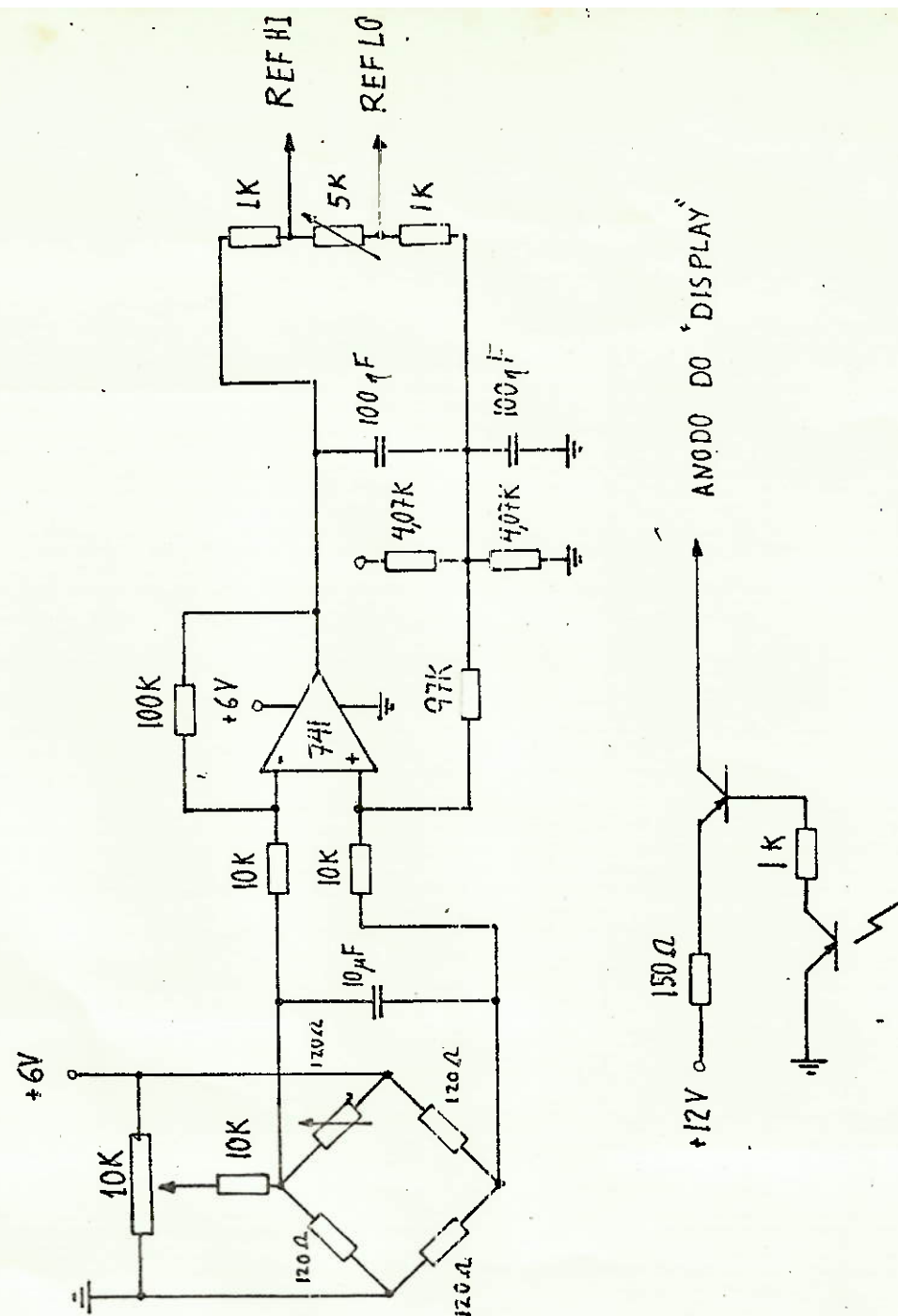


Figure 18: 7106 used as a digital centigrade thermometer. A silicon diode-connected transistor has a temperature coefficient of about $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$. Calibration is achieved by placing the sensing transistor in ice water and adjusting the zeroing potentiometer for a 000.0 reading. The sensor should then be placed in boiling water and the scale-factor potentiometer adjusted for 100.0 reading.

ANEXO C

Circuito eletrônico completo (2.3.2)

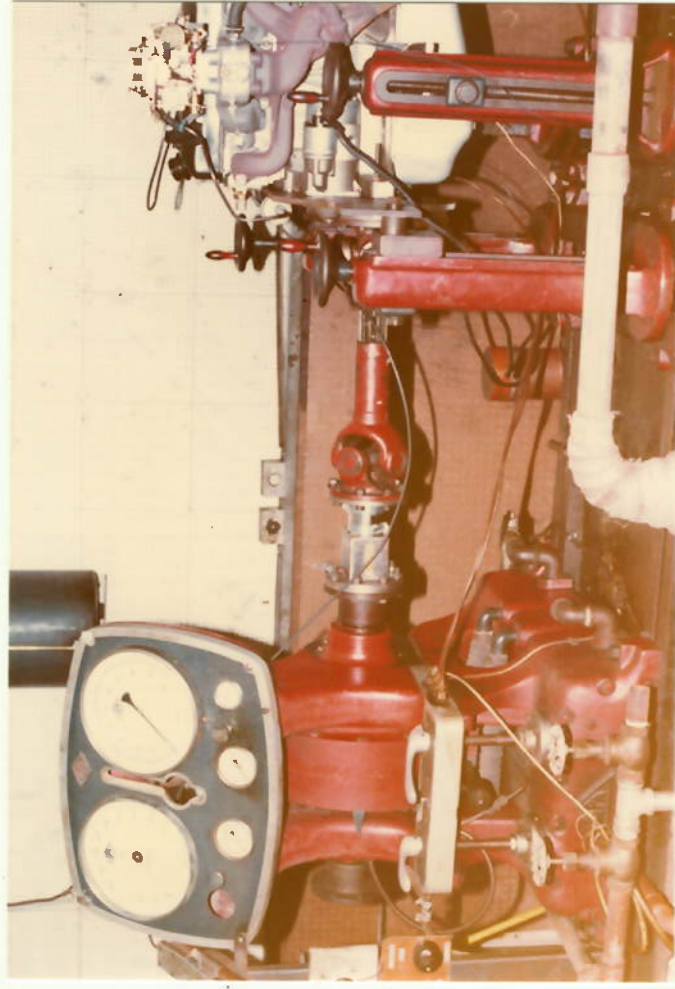


- 17 -

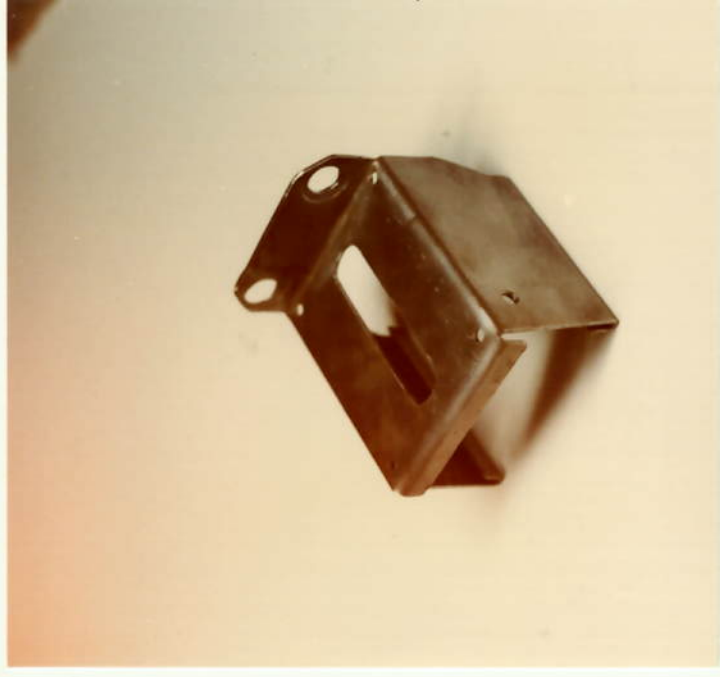
ANEXO D

Fotografias do aparelho

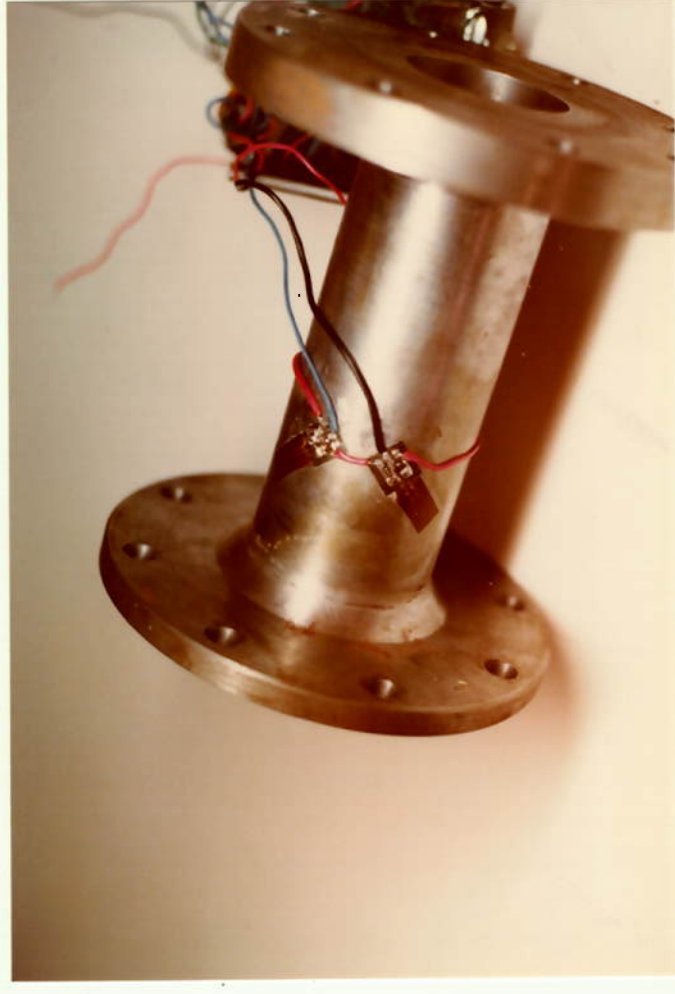
FOTOGRAFIA 1 - Bancada dinamométrica (2.4.1)



FOTOGRAFIA 2 - Suporte do voltímetro (2.5.1)



FOTOGRAFIA 3 - Detalhe dos extensômetros elétricos (3.1.1)



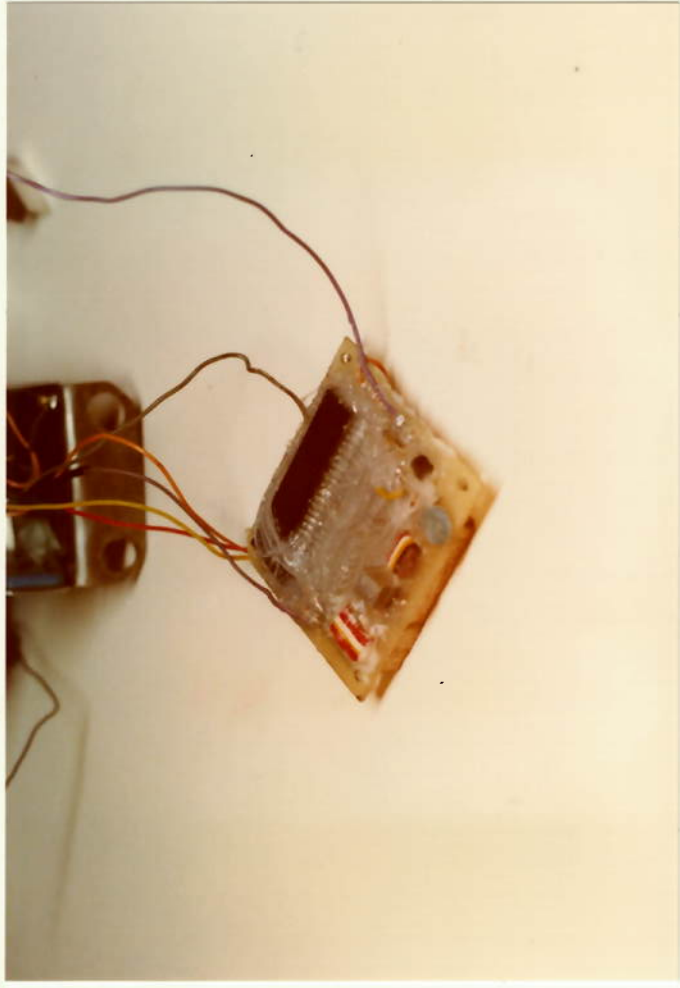
FOTOGRAFIA 4 - Folha de flandres para blindagem
(3.3.1)



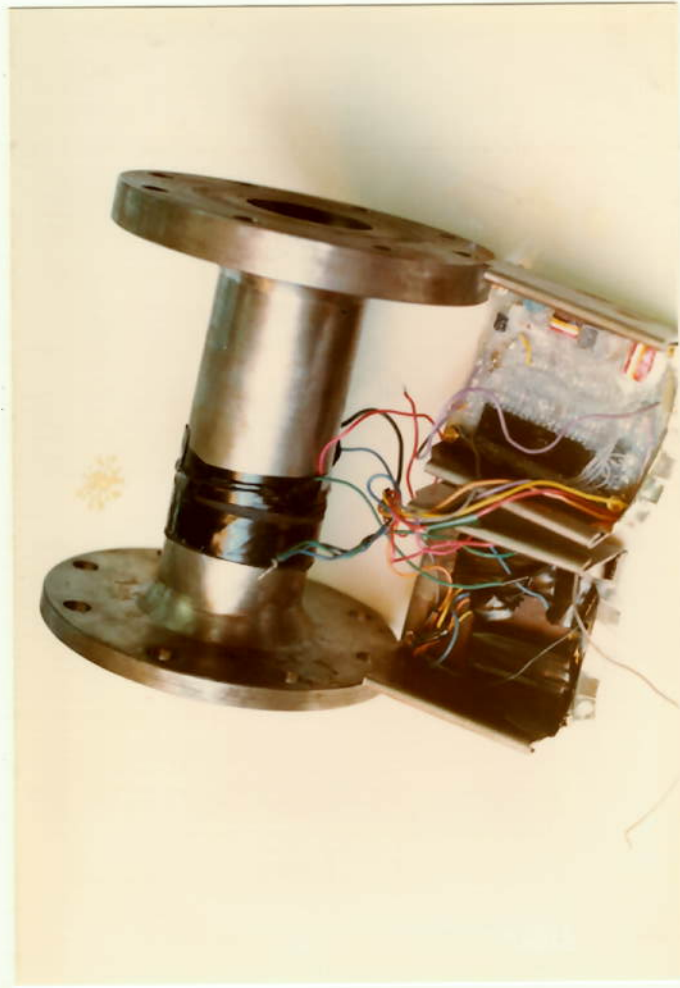
FOTOGRAFIA 5 - Leitura com o eixo girando (5.1.1)



FOTOCRAFIA 6 - Detalhe do voltímetro



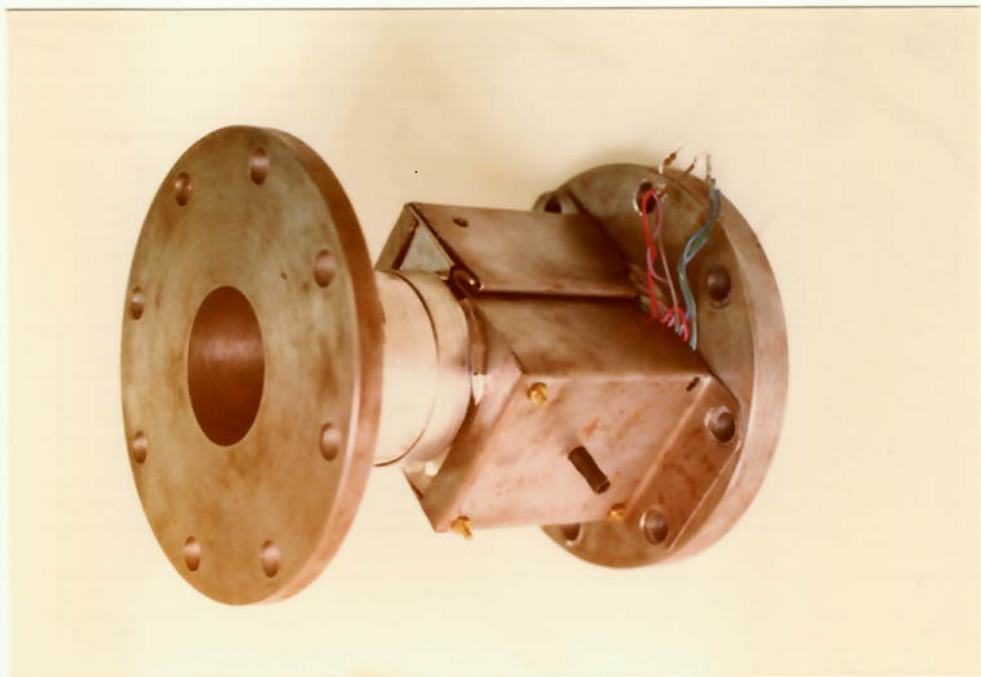
FOTOCRAFIA 7 - Antes de encaixar os suportes.



FOTOGRAFIA 8 - Antes de encaixar os suportes



FOTOGRAFIA 9 - Instrumento montado. Observar o tubo preto onde está o fototransistor.



FOTOGRAFIA 10 - Instrumento montado (vista do mostrador)

