

7. APRIMORAMENTO DO SISTEMA METROLÓGICO DO LABORATÓRIO PRIMÁRIO DE TEMPO E FREQUÊNCIA

A gestão de um laboratório Nacional de Metrologia requer o aprimoramento contínuo dos sistemas e técnicas de medição e a expressão das incertezas que lhe são associadas.

Dentre os fatores motivadores desta pesquisa de mestrado, destaca-se a urgente necessidade de adequar a metrologia de tempo e frequência da Divisão Serviço da Hora (DSHO) do Observatório Nacional (ON) às exigências internacionais determinadas pelo MRA e assim garantir o seu amplo reconhecimento no País e no exterior. Contribuindo para a materialização desse propósito, a DSHO beneficia-se das modernas instalações recém-construídas.

Em 2006, ao iniciar-se a transferência dos equipamentos instalados em um antigo prédio para as novas instalações, estava criada a oportunidade para uma análise e aprimoramento da realização das calibrações, incluindo alterações / inclusões de procedimentos com o objetivo de tornar mais robusta a estrutura da DSHO no cumprimento de sua missão de gerar, manter e disseminar a Hora Legal Brasileira e de prestar serviços de calibração em TF.

Objetivando a visibilidade dos pontos relevantes desta mudança e enfatizar os benefícios da análise realizada e das ações propostas para implementação dessa nova estrutura de metrologia do LPTF, o presente capítulo se subdivide em três blocos complementares:

- i. LPTF e sua rastreabilidade ao BIPM;
- ii. LPTF e sua estrutura interna de calibração de TF;
- iii. Caracterização dos sistemas de medição.

Neste capítulo, serão abordados:

- sistemas de medição utilizados e a caracterização das incertezas associadas;
- pontos chaves para aprimoramento e manutenção da rastreabilidade ao BIPM;
- ações propostas a implementar e algumas já implementadas.

Até novembro de 2006, o LPTF apresentava uma estrutura conforme descrição da figura 75.

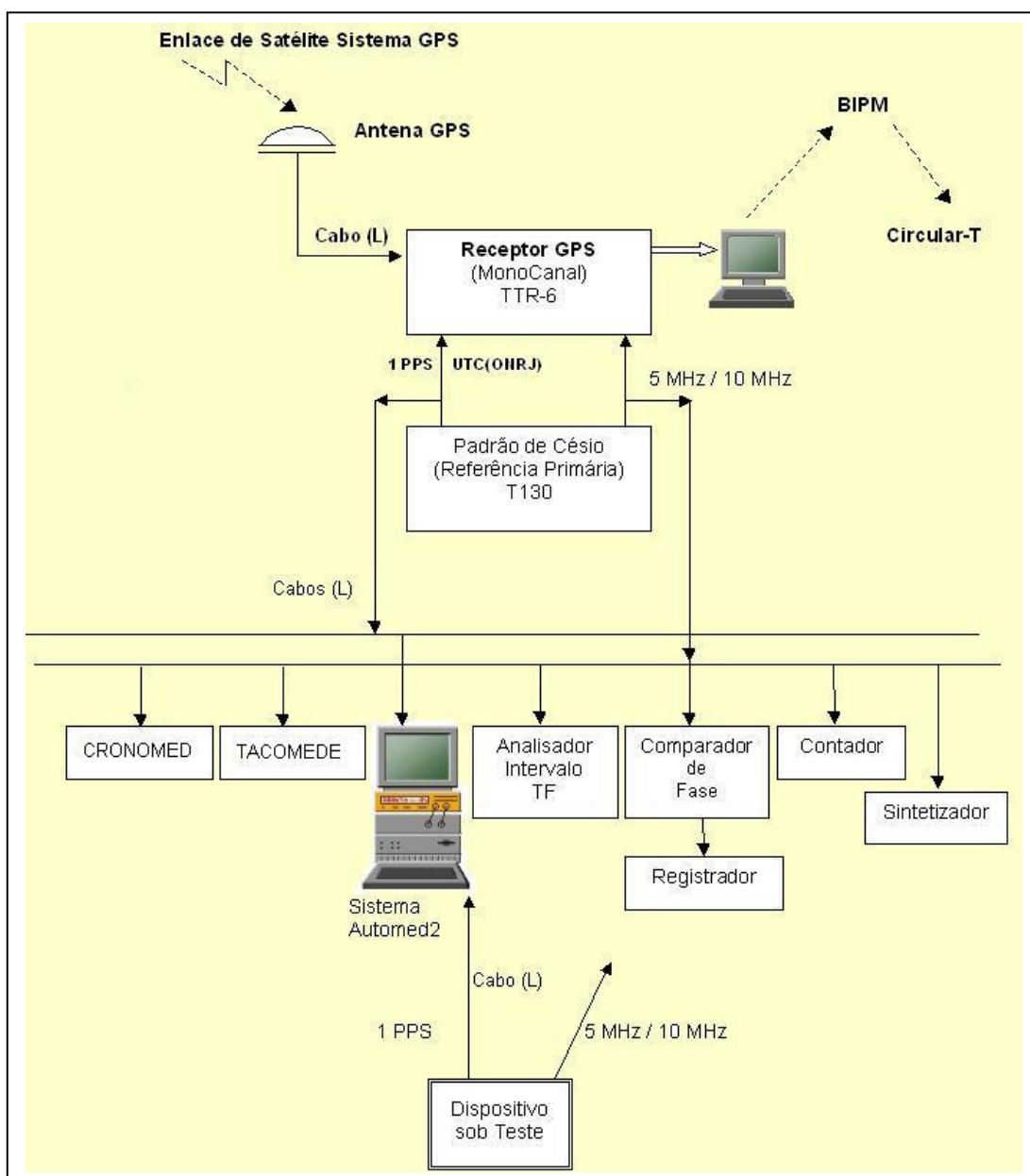


Figura 75 – Estrutura de calibração do Laboratório Primário de Tempo e Freqüência até novembro de 2006

7.1.

O LPTF e sua rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades

Segundo a lógica hierárquica da metrologia, a rastreabilidade de um laboratório nacional de metrologia se dá por intermédio dos padrões internacionais mantidos pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM).

Até novembro de 2006, a rastreabilidade do LPTF aos padrões internacionais mantidos pelo BIPM era assegurada pela estrutura básica ilustrada na parte superior da figura 75, composta pelos seguintes elementos:

- Antena GPS
- Receptor GPS (monocanal) TTR-6
- Padrão de césio (referência primária) T130
- Sistema computadorizado de controle

Nesta estrutura, o padrão de césio identificado como T130 gera o sinal 1PPS que é a referência primária de tempo UTC(ONRJ). Além deste sinal, o T130 também gera os sinais de 5 MHz e 10 MHz que são utilizados como referências primárias de frequência. O sinal UTC(ONRJ) vai para o receptor GPS. Durante um mês, vão sendo coletados dados diários dos valores do UTC(ONRJ) em relação ao GPS *time* e ao tempo do satélite e apresentados em um formato de relatório especificado pelo BIPM: o formato 'GGTTS GPS DATA VERSION 1' ilustrado pela figura 76.

A descrição completa deste padrão adotado pelo BIPM encontra-se no ANEXO D.

Desse relatório, três são os parâmetros de interesse ao desenvolvimento do presente trabalho:

- i. PRN – corresponde ao número pseudo-aleatório PRN (*pseudo random number*) que identifica o satélite rastreado e está associado ao número de código utilizado na codificação C/A do satélite;

```

GPS RCVR: ON463
V9809
MJD= 54102 YR=07 MONTH=01 DAY=02 HMS=11:25:15 (UT)
GGTTS GPS DATA FORMAT VERSION = 01
REV DTE = 2007-01-02
RCVR = ON463R6463 0020001111...
CH = 01
IMS = 99999
LAB = ONRJ
X = +4283667.05 m
Y = -4026010.06 m
Z = -2466096.16 m
FRAME = WGS84
COMMENTS = NOCOMMENTS .....
INT DLY = 50.0 ns
CAB DLY = 0277.0 ns
REF DLY = 0005.0 ns
REF = UTC(ONRJ)
CKSUM = B3
    
```

PRN	CL	MJD	STTIME	TRKL	ELV	AZTH	REFSV	SRSV	REFGPS	SRGPS	DSG	IOE	MDTR	SMDT	MDIO	SMDI	CK
			hhmmss	s	.1dg	.1dg	.1ns	.1ps/s	.1ns	.1ps/s	.1ns		.1ns	.1ps/s	.1ns	.1ps/s	
3	18	54098	115800	765	162	3473	-5088461	-1010	-95429	-22	95	024	289	+87	189	+30	69
8	35	54098	152200	780	118	3121	+820052	-35	-94169	-50	90	027	393	-183	313	-28	29
27	18	54098	153800	780	383	2921	-951564	-76	-94068	-56	62	089	131	-14	192	-14	4B
4	35	54098	173200	780	115	2934	-3597998	-7	-94138	+24	88	029	400	+94	340	+19	38
23	BC	54098	181800	780	327	690	-1536016	-84	-93806	-72	92	020	151	+18	208	+14	4B
13	F8	54098	183400	780	571	893	-1367515	-52	-93866	-12	64	187	97	+3	143	+1	22
13	CA	54098	185000	780	537	757	-1367562	+24	-93874	+64	94	187	101	+5	145	+4	36
13	FB	54098	190600	780	492	644	-1367572	+39	-93846	+78	75	187	108	+8	150	+7	4A
13	FC	54098	192200	780	439	552	-1367606	+20	-93841	+60	73	187	118	+13	158	+10	4B
13	BC	54098	193800	780	380	479	-1367654	-50	-93851	-10	66	187	132	+19	169	+13	60
13	BD	54098	195400	780	317	420	-1367705	-106	-93864	-67	78	187	155	+29	183	+16	78
17	F8	54098	201000	780	408	65	-938335	-12	-93968	-25	58	014	125	-20	154	-25	20
17	FB	54098	202600	780	484	94	-938349	+41	-93996	+28	54	014	109	-14	133	-19	3F
17	FC	54098	204200	780	563	131	-938346	-16	-94006	-30	75	014	98	-9	116	-15	1A
10	18	54098	211400	780	154	3054	-1045137	-68	-94166	-63	66	097	303	+70	234	+8	2B

Figura 76 – Dados do receptor GPS no formato GGTTS GPS DATA VERSION 1.

- ii. REFSV – corresponde à diferença expressa em nanossegundos entre a referência UTC(k) do laboratório k que está recebendo a transmissão e o relógio do satélite. Obs: consta no ANEXO D o acrônimo NML que significa *National Measurement Laboratory*; ou seja, equivale a dizer NMI;
- iii. REFGPS - corresponde à diferença expressa em nanossegundos entre a referência UTC(k) do laboratório k que está recebendo a transmissão e o tempo GPS.

Neste relatório, o cabeçalho ilustrado pela figura 77 traz informações sobre o dia da coleta dos dados, o receptor e a localização da antena cuja identificação de suas coordenadas terrestres é dada por meio da codificação padrão WGS84.


```

GPS RCVR:  ON463
V9809
MID= 54102  YR=07  MONTH=01  DAY=02  HMS=11:25:15 (UT)
GGTTS GPS DATA FORMAT VERSION = 01
REV DTE = 2007-01-02
RCVR = ON463R6463  0020001111...
CH = 01
IMS = 99999
LAB = ONRJ
X = +4283667.05 m
Y = -4026010.06 m
Z = -2466096.16 m
FRAME = WGS84
COMMENTS = NOCOMMENTS
INT DLY = 50.0 ns
CAB DLY = 0277.0 ns
REF DLY = 0005.0 ns
REF = UTC(ONRJ)
    
```

Figura 77 – Cabeçalho do relatório com dados do receptor GPS no formato GGTTS GPS DATA VERSION 1.

O padrão WGS84 é um sistema cartesiano geocêntrico cujas coordenadas X,Y e Z têm sua origem no centro de massa da Terra, conforme ilustração da figura 78 (EUROCONTROL, 1998).

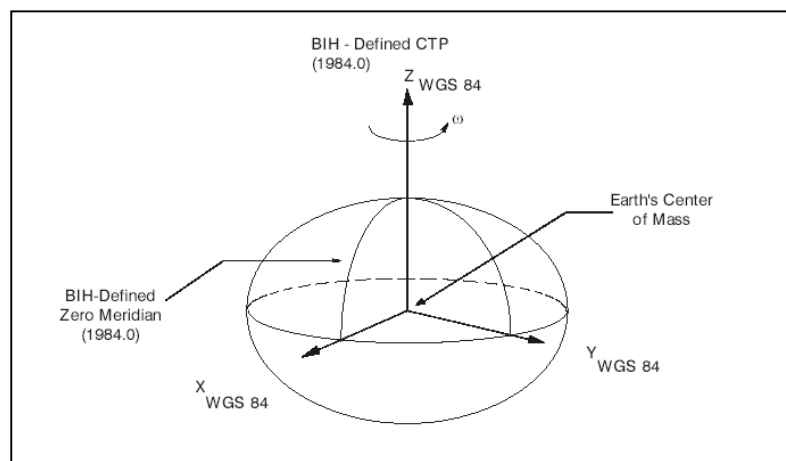


Figura 78 – Coordenadas pelo sistema WGS84

As coordenadas geocêntricas indicadas no exemplo do cabeçalho têm equivalência com as geodésicas mostradas na figura 79.

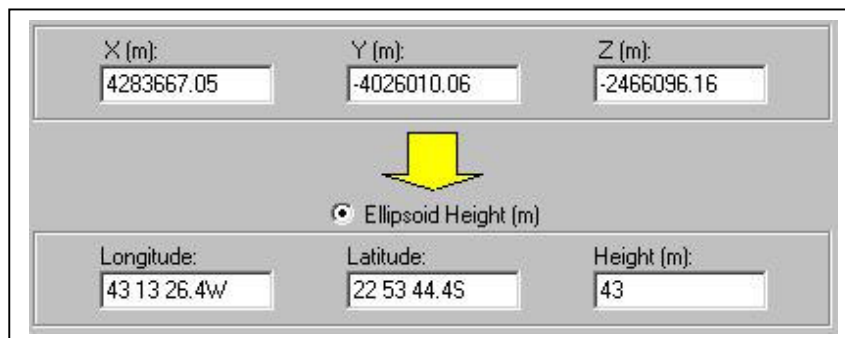


Figura 79 – Equivalência de coordenadas geocêntricas e geodésicas.

Ao fim de cada mês, o laboratório envia os dados coletados ao BIPM que, baseado na metodologia *All-in-View*, calcula e publica em sua Circular-T o desvio UTC-UTC(ONRJ), bem como os valores correspondentes aos relógios dos demais NMI. A divulgação da Circular-T ocorre, normalmente, na faixa de dez a quinze dias do mês seguinte à coleta dos dados.

Assim, para fins da declaração da incerteza de medição nos certificados referentes às calibrações realizadas no mês em curso, e para o período que ainda não se tenha os dados do BIPM, se faz necessário uma projeção de valores. Para isso, há um procedimento técnico que utilizando os dados das cinco últimas Circulares-T determina, por meio de regressão linear, uma tabela com a projeção dos valores do UTC-UTC(ONRJ) para os quarenta e cinco dias seguintes ao último dado publicado pela Circular-T.

Em termos de calibração de tempo, deve-se relembrar do capítulo 3 a necessidade de se levar em consideração os retardos de tempo entre a saída da fonte de referência de tempo e a aplicação final.

Assim, na figura 74 identifica-se a palavra ‘Cabo(L)’ junto à algumas interconexões e cujo objetivo é alertar para a importância de determinar-se os retardos de tempo e considerá-los adequadamente numa calibração ou disseminação de tempo.

Ao se preparar a estrutura de cabeamento de sinais entre as salas do LPTF, foram instalados 20 cabos coaxiais 50 Ω. Com o objetivo de padronização, esses cabos foram cortados com comprimentos iguais de 25 m.

O retardo que cada cabo apresenta para o sinal de 1PPS foi caracterizado por meio de medições realizadas usando-se o sistema e a configuração ilustrados pela figura 80.

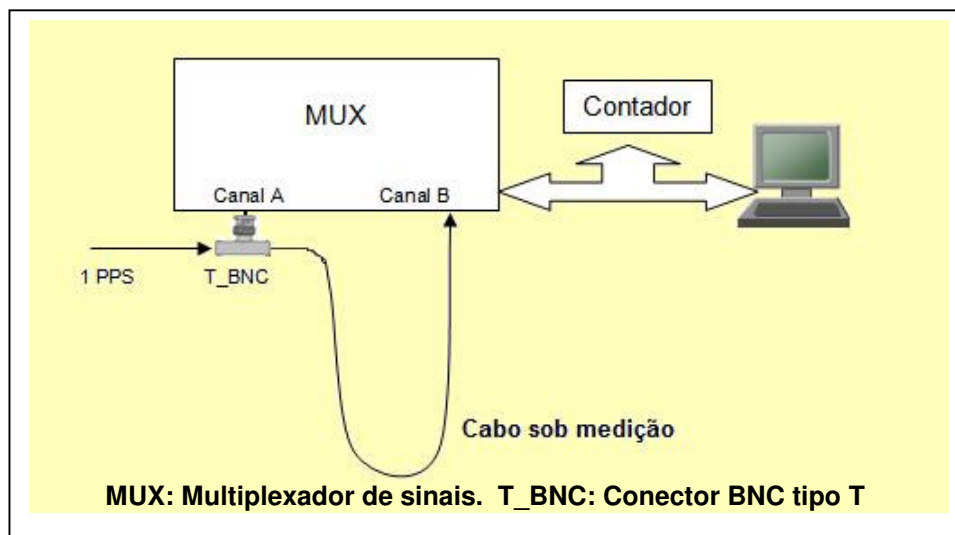


Figura 80 – Sistema de medição de retardo do cabo.

Cada um dos 20 cabos teve o retardo caracterizado por meio de 600 medições. A figura 81 ilustra parte da tabela relativa à medição de um cabo⁹.

Das medições efetuadas nos 20 cabos, foram obtidos os seguintes valores:

- A média dos retardos dos 20 cabos: 135,86 ns.
- Desvio Padrão dos retardos dos 20 cabos: 0,10 ns.
- Fator de abrangência $k = 2,13$ (probabilidade de abrangência de 95,45%) para essas 20 medições.
- Incerteza de 0,22 ns.

⁹ Todos os dados e resultados citados nesta dissertação acham-se disponíveis para consulta na DSHO.

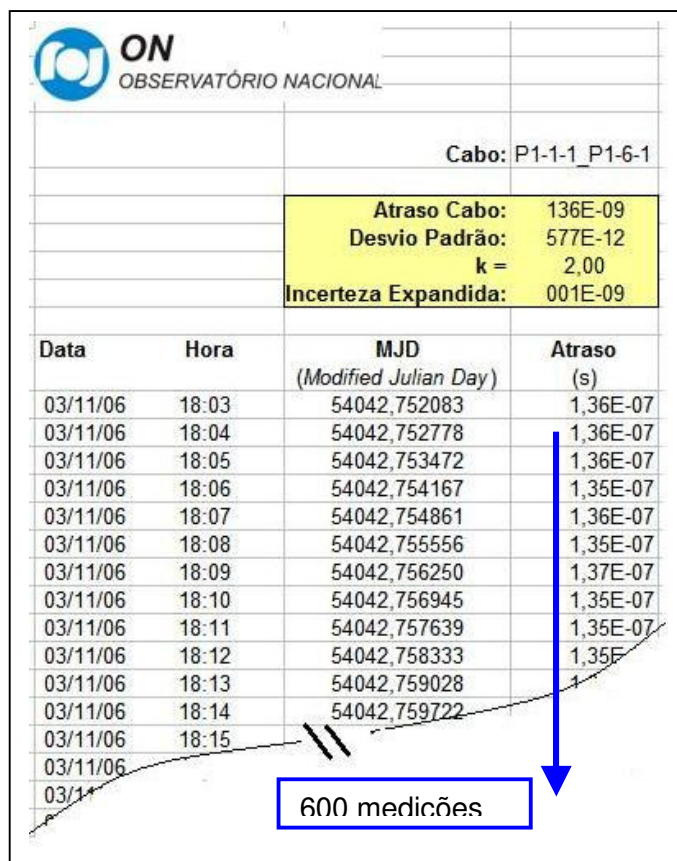


Figura 81 – Extrato dos resultados da medição de retardo de um cabo.

O sistema da figura 80 teve sua incerteza de medição caracterizada. Para isto, foram realizadas 33 medições por meio da configuração indicada na figura 82. Nesta configuração, utilizam-se dois cabos (L1 e L2) com comprimentos aproximadamente iguais e curtos (50 cm de comprimento). O valor obtido para a diferença de tempo entre o pulso que chega ao Canal A e o que chega ao Canal B é a incerteza de medição do sistema.

A figura 83 ilustra parte da tabela para estas 33 medições.

Então, esse sistema apresenta incerteza de medição expandida de 11,3 ps com $k=2,1$ correspondendo a uma probabilidade de abrangência de 95,45%.

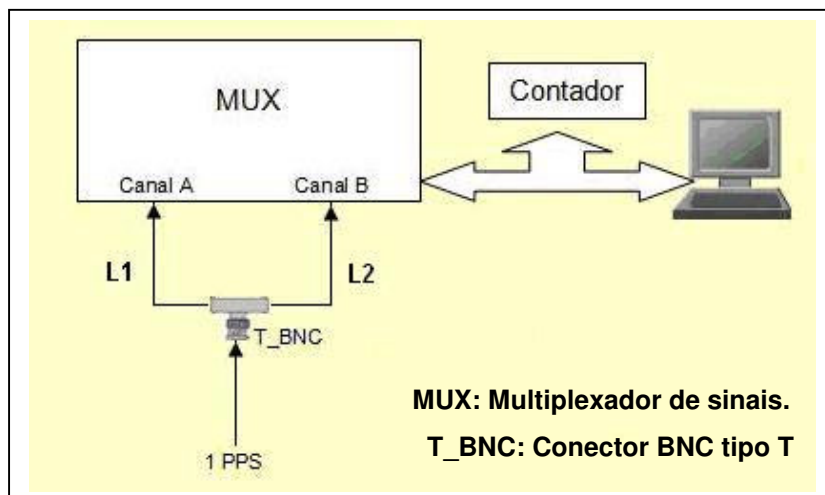


Figura 82 – Configuração para caracterização da incerteza do sistema.

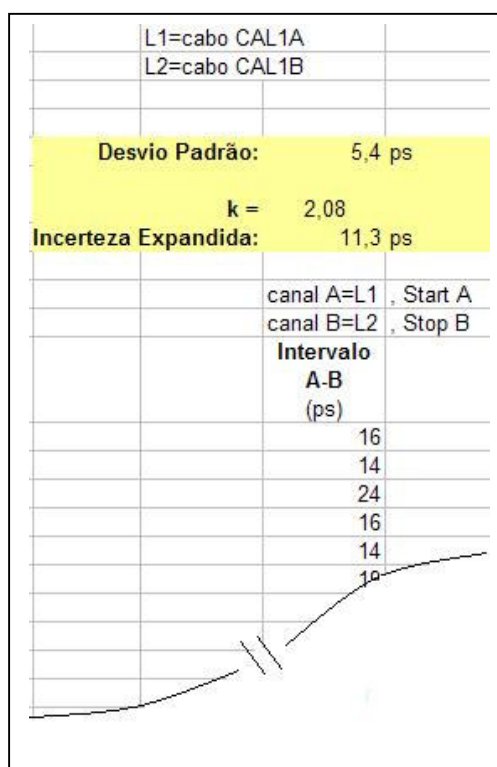


Figura 83 – Resultado das medições para caracterização da incerteza do sistema.

A incerteza de medição associada ao valor do retardo do cabo para o pulso 1 PPS é, portanto a incerteza padrão combinada seguinte:

$$u = \sqrt{(\text{Desv Padrão do Retardo Cabo})^2 + (\text{Incerteza Sist. Medição do Retardo})^2} \tag{7.1}$$

Neste caso, a incerteza do sistema de medição é muito menor que o desvio padrão do retardo do cabo e, portanto, é desprezada.

No curso do desenvolvimento analítico, foi identificada uma discrepância entre o valor utilizado para o retardo do sinal de referência UTC(ONRJ) no receptor GPS monocanal e o valor real do retardo introduzido pelo cabo que levava o sinal 1PPS da fonte primária T130 ao receptor. O valor que estava indicado no receptor (REFERENCE DELAY = REF DLY) era 5 ns conforme indicado na figura 84.

```

GPS RCVR:  ON463
V9809
MJD= 54102  YR=07  MONTH=01  DAY=02  HMS=11:25:15  (UT)
GGTTS GPS DATA FORMAT VERSION = 01
REV DTE = 2007-01-02
RCVR = ON463R6463  0020001111...
CH = 01
IMS = 99999
LAB = ONRJ
X = +4283667.05 m
Y = -4026010.06 m
Z = -2466096.16 m
FRAME = WGS84
COMMENTS = NOCOMMENTS          .....
INT DLY = 50.0 ns
CAB DLY = 0277.0 ns
REF DLY = 0005.0 ns
REF = UTC(ONRJ)
    
```

Figura 84 – REF DLY no receptor monocanal.

O valor medido do retardo desse cabo para o sinal 1PPS, por meio de um conjunto de 170 medições, é de 129,6 ns ± 1,5 ns e está ilustrado pela figura 85.

Em virtude da discrepância observada, fez-se necessária uma correção desse valor no receptor GPS, correção essa que precisou ser informada ao gestor (BIPM) do UTC, já que impacta no valor de referência UTC(ONRJ).

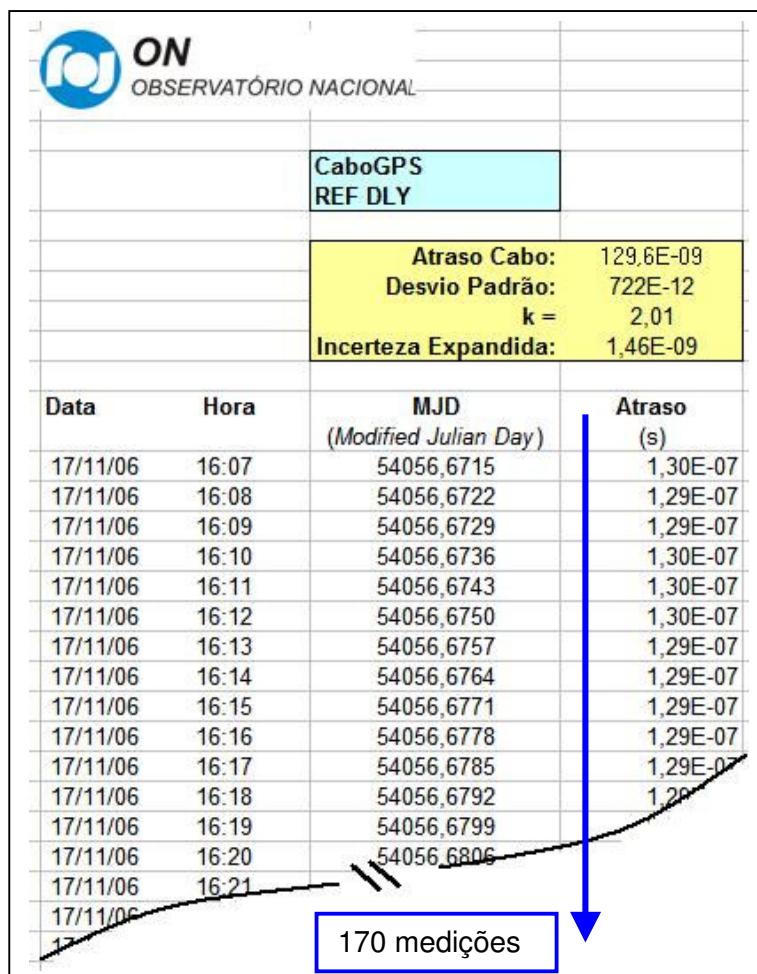


Figura 85 – Extrato dos resultados da medição de retardo do cabo REF DLY .

Beneficiando-se dessa oportunidade de introduzir alterações no sistema e levando-se em conta:

- i. a recomendação do CCDS¹⁰ (*Recommendation S5*, 1993), de que os laboratórios devam manter como meta um valor de UTC(k) dentro de 100 ns do UTC;
- ii. a disponibilidade de um sistema já desenvolvido e operacional na DSHO, fornecendo uma Escala de Tempo Atômico Brasileira (ETAB) que assegura a condição UTC-UTC(k) ≤ 100 ns (De Carvalho, 1994 e 1996);
- iii. a disponibilidade na DSHO de um receptor multicanal operacional;

¹⁰ Em 1997, o Comitê Consultivo para Definição do Segundo (CCDS) foi renomeado para Comitê Consultivo de Tempo e Freqüência (CCTF).

foi implementada uma mudança no sistema de rastreabilidade do LPTF aos padrões internacionais e assim introduzindo as seguintes melhorias ao sistema metrológico brasileiro de TF:

- a. redução da incerteza Tipo A associada ao enlace de tempo do UTC(ONRJ), em decorrência da substituição de um receptor monocanal por um multicanal;
- b. a manutenção da condição $UTC-UTC(k) \leq 100$ ns, em virtude da utilização de um sistema de Escala de Tempo Atômico Brasileira (ETAB).

Essas melhorias se tornaram de conhecimento público a partir da Circular-T 227 do BIPM (ANEXO G), publicada em 13 de dezembro de 2006. A Figura 86 ilustra esta a nova estrutura de geração do UTC(ONRJ), que passou a constituir-se na nova referência de tempo para o cálculo de UTC-UTC(ONRJ).

Oportuno lembrar que já antes da publicação da referida Circular-T 227, a DSHO já enviava ao BIPM os dados dos relógios utilizados na ETAB, bem como o valor da TA(ONRJ), esta publicada pela primeira vez em 13 de julho de 2006, na Circular-T 222 (ANEXO E).

Com esta mudança, o sinal UTC(ONRJ) deixou de estar baseado em uma única referência que era o padrão primário T130, passando a ser gerado a partir da Escala de Tempo Atômico Brasileira (ETAB).

Esta escala ETAB é obtida por meio de um algoritmo que atualmente trata os dados de cinco padrões de césio e cujo valor resultante é aplicado ao equipamento Micro-Defasador (*Micro-Phase Stepper*) que conectado ao Relógio Digital gera o sinal 1PPS que é o novo UTC(ONRJ) e o qual se mantém dentro de 100 ns do UTC.

Além desta mudança realizada no LPTF, houve em 2006 um outro fato:

- o BIPM promoveu uma alteração na metodologia de cálculo do TAI e dos valores UTC-UTC(k) passando a utilizar o método AV (*All-in-View*) ao invés do CV, conforme Circular-t 225 de outubro de 2006 (ANEXO F).

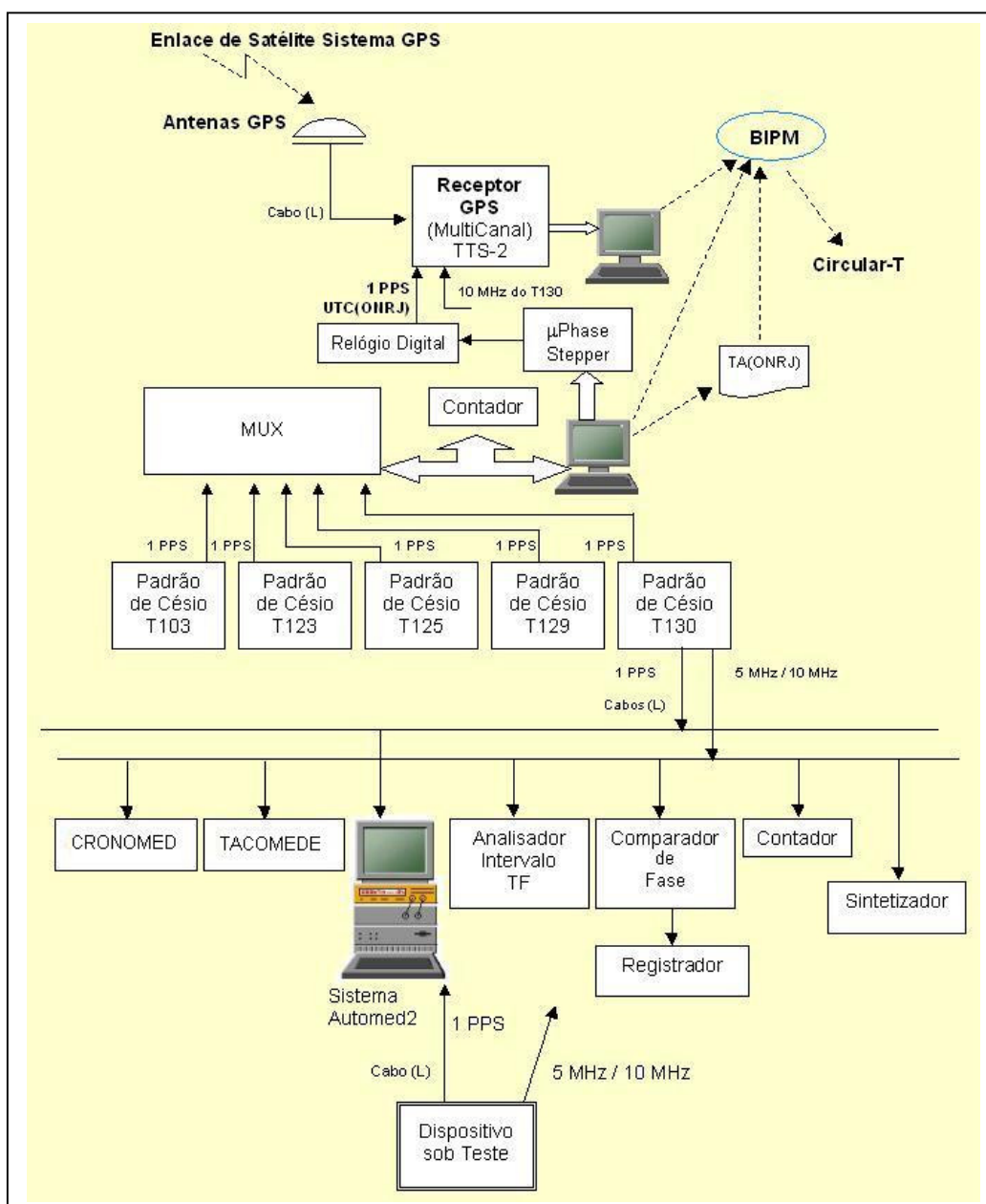


Figura 86 – Estrutura de calibração do Laboratório Primário de Tempo e Freqüência após novembro de 2006

A tabela 7 a seguir ilustra as incertezas declaradas pelas Circulares-T¹¹ emitidas pelo BIPM relativas ao enlace de tempo para o ONRJ.

¹¹ O item-6 da Circular-T do BIPM descreve os enlaces de tempo utilizados para o cálculo do TAI, bem como a metodologia e as incertezas Tipo A e Tipo B associadas.

Tabela 7 – Incertezas associadas ao enlace de tempo para o ONRJ

Circular-T		Incertezas rastreabilidade ao BIPM			
Data		ONRJ			
		ua (ns)	ub (ns)	u (ns)	
216	2006 JANUARY 11, 14h UTC	5,0	20,6	21,2	
217	2006 FEBRUARY 09, 19h UTC	5,0	20,5	21,1	
218	2006 MARCH 15, 17h UTC	5,0	20,4	21,0	
219	2006 APRIL 11, 16h UTC	5,0	20,4	21,0	
220	2006 MAY 16, 15h UTC	5,0	20,4	21,0	
221	2006 JUNE 15, 11h UTC	5,0	20,4	21,0	
222	2006 JULY 13, 09h UTC	5,0	20,5	21,1	Dados relógios e TA(ONRJ)
223	2006 AUGUST 10, 14h UTC	5,0	20,5	21,1	
224	2006 SEPTEMBER 08, 14h UTC	5,0	20,5	21,1	
225	2006 OCTOBER 12, 13h UTC	7,0	19,9	21,1	BIPM passou a calcular usando All-in-view
226	2006 NOVEMBER 16, 14h UTC	7,0	19,9	21,1	
227	2006 DECEMBER 13, 16h UTC	4,0	20,0	20,4	UTC(ONRJ) = ETAB
228	2007 JANUARY 11, 17h UTC	4,0	20,0	20,4	
229	2007 FEBRUARY 13, 14h UTC	4,0	20,0	20,4	
230	2007 MARCH 09, 16h UTC	4,0	20,0	20,4	
231	2007 APRIL 16, 10h UTC	4,0	20,0	20,4	

Conforme a Circular-T 225, pode-se observar que com a alteração da metodologia de cálculo do TAI, o BIPM elevou o nível de incerteza Tipo A de 5,0 para 7,0 ns.

Quando a DSHO mudou a forma de geração do UTC(ONRJ) passando a utilizar um receptor multicanal, houve uma melhora significativa de 7,0 para 4,0 ns, conforme Circular-T 227 de dezembro de 2006 (ANEXO G).

Independente da alteração que mudou a forma de geração do UTC(ONRJ), fez-se necessária também a mudança do REFERENCE DELAY do receptor monocanal para continuar a usá-lo como sistema complementar para rastreabilidade e intercomparações dos relógios atômicos do LPTF e continuar com o histórico do conjunto. É mais uma ferramenta para assegurar monitoramento dos padrões de TF por meios diversos, aumentando a confiabilidade e robustez das medições e tendo referências alternativas.

A correção no receptor monocanal foi executada em 30 de março de 2007, passando o valor REF DLY para 129 ns conforme ilustrado pela figura 87.

```

GPS RCVR:  ON463
V9809
MJD= 54217  YR=07 MONTH=04 DAY=27 HMS=11:58:31 (UTC)
GGTTS GPS DATA FORMAT VERSION = 01
REV DATE = 2007-04-27
RCVR = ON463R6463  0020001111...
CH = 01
IMS = 99999
LAB = ONRJ
X = +4283667.05 m
Y = -4026010.06 m
Z = -2466096.16 m
FRAME = WGS84
COMMENTS = NOCOMMENTS      .....
INT DLY = 50.0 ns
CAB DLY = -0277.0 ns
REF DLY = 0129.0 ns
REF = UTC(ONRJ)
    
```

Figura 87 – REF DLY no receptor monocanal, após correção.

Na configuração de rastreabilidade ao BIPM usando o receptor monocanal, o UTC(ONRJ) é o T130, conforme ilustrado pela figura 75.

Desde a entrada em operação 21/02/2005 (MJD=53422), o T130 (padrão de césio HP5071A) vem acumulando um desvio de aproximadamente 50 ns/dia em relação ao UTC e apresentava em 30 de março de 2007 (MJD=54189) um valor de UTC-UTC(ONRJ) de aproximadamente 10280 ns.

Para verificar-se o impacto da correção do REF DLY, se utilizou os dados obtidos diretamente das medições CV do receptor monocanal.

Para isso, foram usados os dados de março e abril de 2007 referentes ao parâmetro REFGPS e que corresponde a UTC(ONRJ)-[GPS Time], obtendo-se o gráfico da figura 88.

Por meio deste gráfico, identifica-se o ajuste do valor do REF DLY no receptor GPS que corresponde à discontinuidade de 124 ns ocorrida na ‘marcha’ do UTC(ONRJ). Este gráfico foi elaborado a partir dos dados obtidos diretamente dos satélites GPS, antecipando os resultados futuros e oficiais do BIPM a serem divulgados posteriormente na Circular-T.

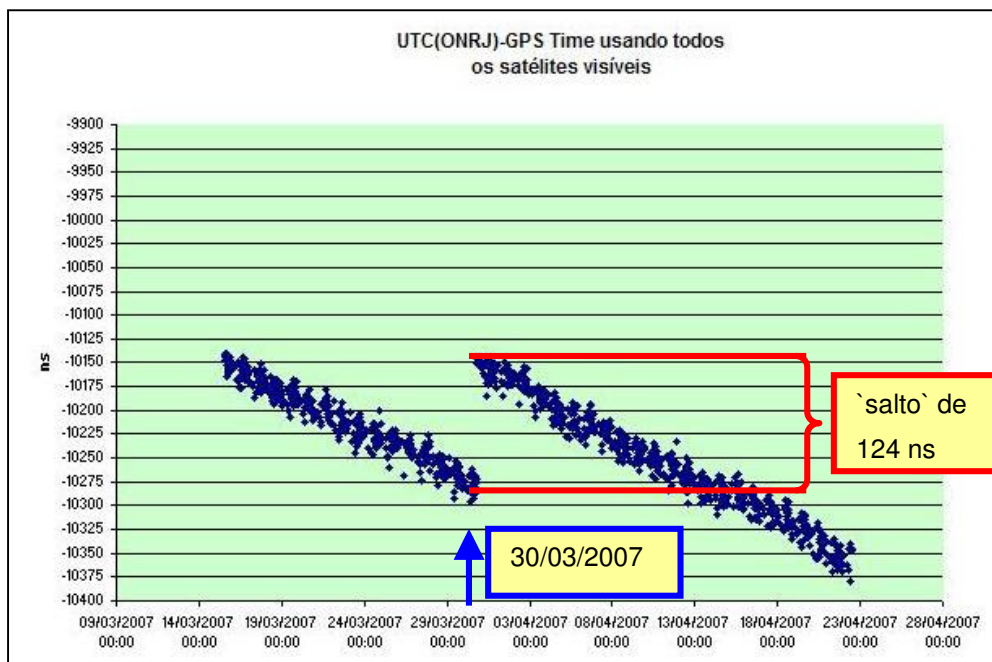


Figura 88 – Correção do REF DLY no receptor monocanal.

A seguir será descrita a metodologia constante de um procedimento técnico da DSHO e que utiliza os dados das cinco últimas Circulares-T para determinar, por meio de regressão linear, uma tabela com a projeção dos valores do UTC-UTC(ONRJ) para os quarenta e cinco dias seguintes ao último dado publicado pela Circular-T. Os dados utilizados são referentes ao período junho a outubro de 2006 e aplicados inicialmente à uma planilha associada ao procedimento e ilustrada pela figura 89.

A partir dos valores de UTC-T130 para intervalos de 5 dias, calcula-se o valor do desvio de freqüência relativo ($\Delta f / f$) conforme indicado na figura 89.

Com estes valores, pode-se o traçar os gráficos ($\Delta f / f$) versus data-hora e UTC-UTC(ONRJ) versus data-hora e calcular o desvio de Allan apresentados nas figuras 90, 91 e 92, lembrando que neste caso o UTC(ONRJ) é o T130.

ON OBSERVATÓRIO NACIONAL		DSHO Divisão Serviço da Hora			
Circular BIPM	Data	MJD	UTC - T130 (ns)	MJD (médio k.k.1)	$\Delta f/f$ (UTC-T130) Média de 5 dias
T 222	03-jun-06	53889	7255,2	26944,5	
	08-jun-06	53894	7302,5	53891,5	-1,0949E-13
	13-jun-06	53899	7355,9	53896,5	-1,2361E-13
	18-jun-06	53904	7415,8	53901,5	-1,3866E-13
	23-jun-06	53909	7472,2	53906,5	-1,3056E-13
	28-jun-06	53914	7524,1	53911,5	-1,2014E-13
T 223	03-jul-06	53919	7568,6	53916,5	-1,0301E-13
	08-jul-06	53924	7624,1	53921,5	-1,2847E-13
	13-jul-06	53929	7672,2	53926,5	-1,1134E-13
	18-jul-06	53934	7726	53931,5	-1,2454E-13
	23-jul-06	53939	7770	53936,5	-1,0185E-13
	28-jul-06	53944	7821,6	53941,5	-1,1944E-13
T 224	02-ago-06	53949	7871,3	53946,5	-1,1505E-13
	07-ago-06	53954	7922	53951,5	-1,1736E-13
	12-ago-06	53959	7977,8	53956,5	-1,2917E-13
	17-ago-06	53964	8028,8	53961,5	-1,1806E-13
	22-ago-06	53969	8085,9	53966,5	-1,3218E-13
	27-ago-06	53974	8132	53971,5	-1,0671E-13
T 225	01-set-06	53979	8175,3	53976,5	-1,0023E-13
	06-set-06	53984	8223,6	53981,5	-1,1181E-13
	11-set-06	53989	8275,7	53986,5	-1,2060E-13
	16-set-06	53994	8330,3	53991,5	-1,2639E-13
	21-set-06	53999	8384,7	53996,5	-1,2593E-13
	26-set-06	54004	8437,3	54001,5	-1,2176E-13
T 226	01-out-06	54009	8485,6	54006,5	-1,1181E-13
	06-out-06	54014	8543,8	54011,5	-1,3472E-13
	11-out-06	54019	8595,7	54016,5	-1,2014E-13
	16-out-06	54024	8639,5	54021,5	-1,0139E-13
	21-out-06	54029	8697,9	54026,5	-1,3519E-13
	26-out-06	54034	8751,4	54031,5	-1,2384E-13
	31-out-06	54039	8797,1	54036,5	-1,0579E-13

Figura 89 – Planilha UTC junho a outubro 2006.

A partir do gráfico UTC-UTC(ONRJ) versus data-hora (figura 91), determina-se a regressão linear e então faz-se uma projeção de valores para os próximos dois meses, obtendo-se tabela conforme ilustrado pela figura 93.

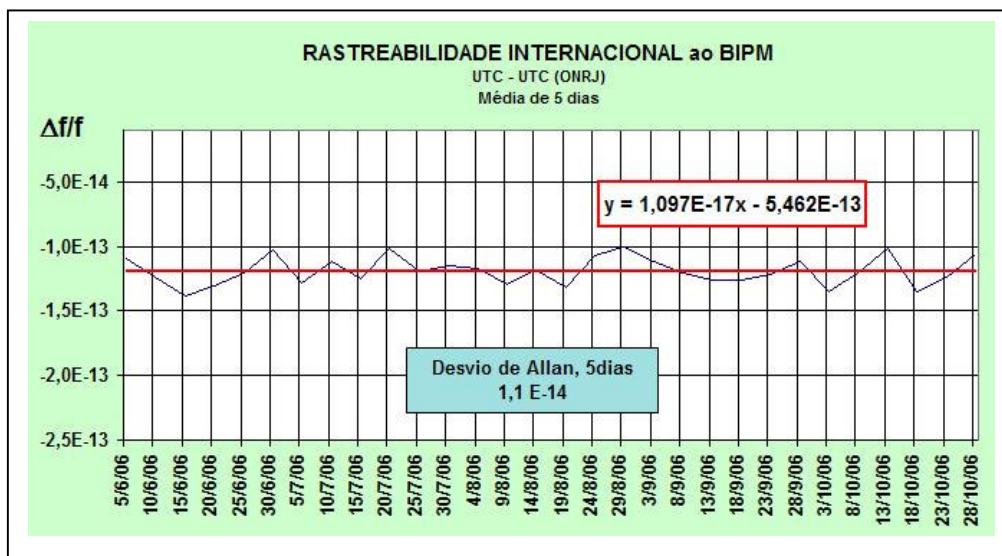


Figura 90 – Gráfico ($\Delta f / f$) versus data-hora junho a outubro 2006.

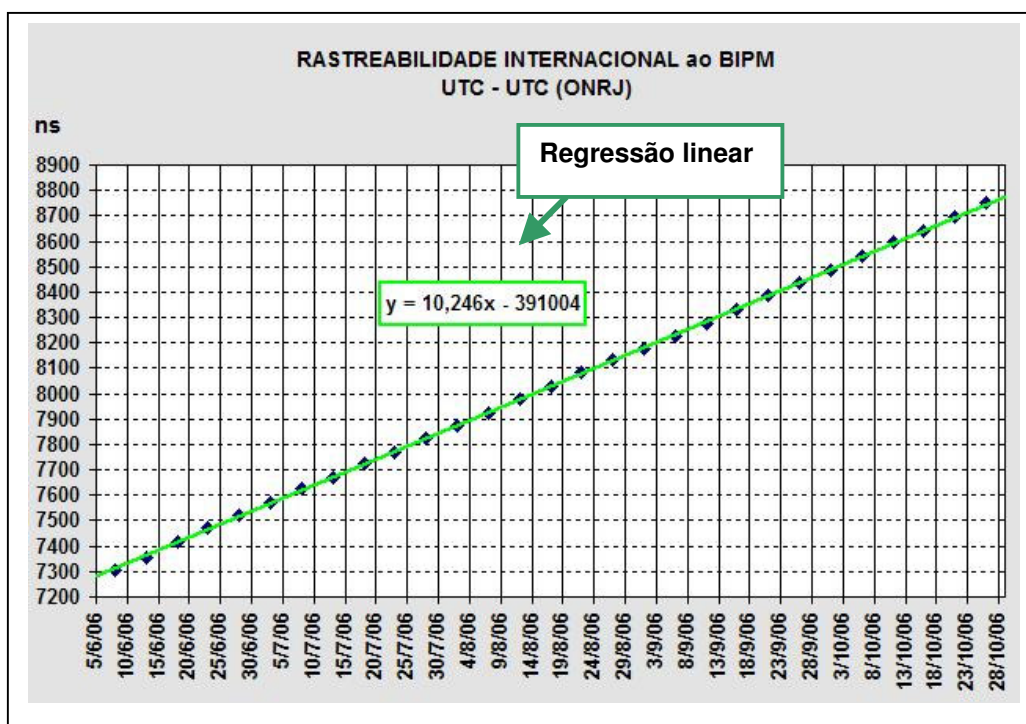


Figura 91 – Gráfico UTC-UTC(ONRJ) versus data-hora junho a outubro 2006.


 ON OBSERVATÓRIO NACIONAL		DSHO Divisão Serviço da Hora	
Variância de Allan Intervalo de 5 dias $\tau = 5$			
UTC - T130	f_k	$(f_{k+1} - f_k)^2$	Data:
(ns)			17/11/06
7255,2			
7302,5	1,0949E-13		
7355,9	1,2361E-13	1,9938E-28	
7415,8	1,3866E-13	2,2639E-28	
7472,2	1,3056E-13	6,5640E-29	
7524,1	1,2014E-13	1,0851E-28	
7568,6	1,0301E-13	2,9342E-28	
7624,1	1,2847E-13	6,4836E-28	
7672,2	1,1134E-13	2,9342E-28	
...			
8330,3	1,2639E-13	3,2639E-28	
8384,7	1,2593E-13	2,143E-28	
8437,3	1,2176E-13	1,7361E-28	
8485,6	1,1181E-13	9,9076E-29	
8543,8	1,3472E-13	5,2517E-28	
8595,7	1,2014E-13	2,1267E-28	
8639,5	1,0139E-13	3,5156E-28	
8697,9	1,3519E-13	1,1422E-27	
8751,4	1,2384E-13	1,2865E-28	
8797,1	1,0579E-13	3,2600E-28	
Desvio de Allan		1,1032E-14	

Figura 92 – Desvio de Allan junho a outubro 2006.

Este procedimento não inclui uma avaliação explícita dos valores que haviam sido previstos a partir da extrapolação por reta de regressão, 45 dias antes da publicação da Circular-T, em relação aos reais valores divulgados posteriormente pelo BIPM.

Para isso, criou-se um novo procedimento em que se faz uma comparação dos dados publicados na Circular-T com os dados obtidos anteriormente por meio da reta de regressão (sobre os dados das cinco últimas Circulares-T) e também sobre os dados obtidos diretamente dos satélites GPS. Para isso, foram elaboradas planilhas eletrônicas com novas colunas de dados de entrada e que estão explicadas e ilustradas por meio das figuras 94, 95, 96, 97, 98 e 99 a seguir.




TABELA COM VALORES EXTRAPOLADOS

Data	MJD	UTC - T130 (extp.) (ns)	Δf (T130 - UTC)
31-out-06	54039	8796,3002	-1,1815E-13
02-nov-06	54041	8816,7917	-1,18129E-13
04-nov-06	54043	8837,2833	-1,18107E-13
06-nov-06	54045	8857,7748	-1,18085E-13
08-nov-06	54047	8878,2663	-1,18063E-13
10-nov-06	54049	8898,7579	-1,18041E-13
12-nov-06	54051	8919,2494	-1,18019E-13
14-nov-06	54053	8939,7409	-1,17998E-13
16-nov-06	54055	8960,2325	-1,17976E-13
18-nov-06	54057	8980,7240	-1,17954E-13
20-nov-06	54059	9001,2155	-1,17932E-13
22-nov-06	54061	9021,7071	-1,1791E-13
24-nov-06	54063	9042,1986	-1,17888E-13
26-nov-06	54065	9062,6901	-1,17866E-13
28-nov-06	54067	9083,1817	-1,17844E-13
30-nov-06	54069	9103,6732	-1,17822E-13
02-dez-06	54071	9124,1647	-1,178E-13
04-dez-06	54073	9144,6563	-1,17778E-13
06-dez-06	54075	9165,1478	-1,17756E-13
08-dez-06	54077	9185,6393	-1,17734E-13
10-dez-06	54079	9206,1308	-1,17712E-13
12-dez-06	54081	9226,6224	-1,1769E-13
			-1,17668E-13
			-1,17647E-13

Figura 93 – Dados extrapolados novembro e dezembro 2006.

O que se pretende é utilizar os dados diários [T130-GPS Time] e alguns métodos de projetar os valores de [UTC-T130] para depois compará-los com os valores publicados na Circular-T e avaliar o que mais se aproxima dos valores divulgados.

A figura 95 ilustra parte da listagem de dados obtidos diretamente do receptor GPS monocanal TTR-6.

No caso em que não há na listagem do GPS o MJD exato (zero hora), é preciso obter o valor por meio de interpolação. Por exemplo, no caso do MJD=53994, foi preciso obter-se o valor de [T130-GPS Time] por meio de interpolação, utilizando os valores de MJD=53943,97 e MJD=53944,01. Esta interpolação forneceu o valor de -7830,12 ns conforme indicado na coluna I da figura 96. A coluna O da figura 95 traz os valores de [T130-GPS Time]

calculados por meio da reta de regressão ilustrada pela figura 94 e são transpostos para a coluna L da figura 97.

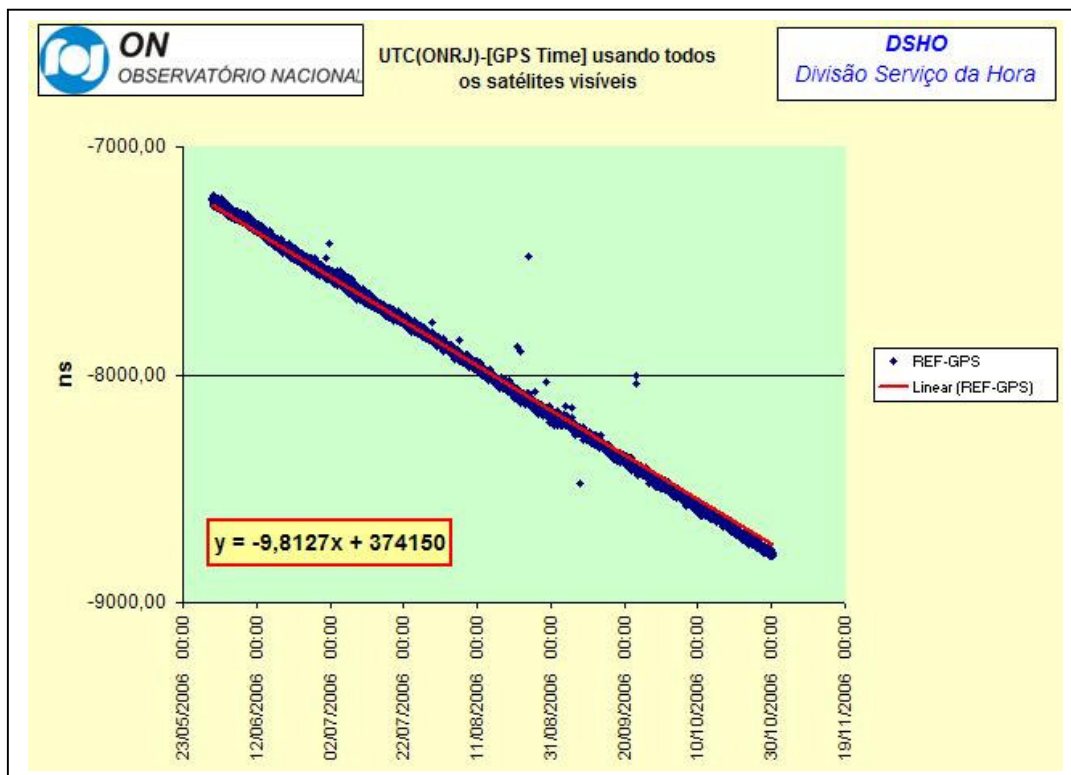


Figura 94 – Gráfico com dados obtidos direto dos satélites por meio do receptor GPS monocanal TTR-6.

A figura 97 traz um extrato contendo os seguintes parâmetros: a coluna G e H trazem a relação [UTC-GPS Time] e respectivos valores divulgados pelas Circulares-T, enquanto a coluna I contém os valores de [T130-GPS Time] obtidos diretamente do receptor GPS monocanal TTR-6. Ao se subtrair de [UTC-GPS Time] o valor [T130-GPS Time] se obtém [UTC-T130].

Os dados de [UTC-T130] da coluna J foram obtidos de H-I e correspondem a utilizar o [UTC-GPS Time] da Circular-T menos o valor de [T130-GPS Time] obtido diretamente do receptor GPS TTR-6. Com estes valores traçou-se o gráfico ilustrado pela figura 98.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2	ON														
3	OBSERVATÓRIO NACIONAL														
4															
5	PRN	MJD	data	STTIME		STTIME	MJD_STTIME	data-hora	REFSV	SRSV	REFGPS	REFGPS	SRGPS	REFG	
6		dia	dd/mm/aa	h	min	s	total s		.1 ns	.1ps/s	.1 ns	ns	.1ps/s	ns	
7															$y=-9,8127x$
8	1	53886,00	31/05/06	0	2	0	120	53886,00	31/05/2006 00:02	-635035	-37	-72319	-7231,90	-12	
9	1	53886,00	31/05/06	0	18	0	1080	53886,01	31/05/2006 00:18	-635054	-12	-72315	-7231,50	13	
10	1	53886,00	31/05/06	0	34	0	2040	53886,02	31/05/2006 00:34	-635069	19	-72306	-7230,60	44	
11	15	53886,00	31/05/06	0	50	0	3000	53886,03	31/05/2006 00:50	-6282279	34	-72332	-7233,20	95	
12	1	53886,00	31/05/06	1	6	0	3960	53886,05	31/05/2006 01:06	-635098	-50	-72287	-7228,70	-25	
13	1	53886,00	31/05/06	1	22	0	4920	53886,06	31/05/2006 01:22	-635160	-101	-72325	-7232,50	-76	
14	1	53886,00	31/05/06	1	38	0	5880	53886,07	31/05/2006 01:38	-635192	19	-72333	-7233,30	44	
15	1	53886,00	31/05/06	2	10	0	7800	53886,09	31/05/2006 02:10	-635231	-6	-72323	-7232,30	19	
16	1	53886,00	31/05/06	2	26	0	8760	53886,10	31/05/2006 02:26	-635259	6	-72327	-7232,70	31	
17	23	53886,00	31/05/06	2	42	0	9720	53886,11	31/05/2006 02:42	-1477110	22	-72466	-7246,60	16	
18	10	53886,00	31/05/06	2	58	0	10680	53886,12	31/05/2006 02:58	-635142	100	-72350	-7235,00	00	
19	10	53886,00	31/05/06	2	58	0	10680	53886,12	31/05/2006 02:58	-635142	100	-72350	-7235,00	00	
20	10	53886,00	31/05/06	2	58	0	10680	53886,12	31/05/2006 02:58	-635142	100	-72350	-7235,00	00	
21	10	53886,00	31/05/06	2	58	0	10680	53886,12	31/05/2006 02:58	-635142	100	-72350	-7235,00	00	
22	10	53886,00	31/05/06	2	58	0	10680	53886,12	31/05/2006 02:58	-635142	100	-72350	-7235,00	00	
23	10	53886,00	31/05/06	2	58	0	10680	53886,12	31/05/2006 02:58	-635142	100	-72350	-7235,00	00	
24	10	53886,00	31/05/06	2	58	0	10680	53886,12	31/05/2006 02:58	-635142	100	-72350	-7235,00	00	
25	10	53886,00	31/05/06	2	58	0	10680	53886,12	31/05/2006 02:58	-635142	100	-72350	-7235,00	00	
254	1	53943,00	27/07/06	21	46	0	78360	53943,91	27/07/2006 21:46	-755429	21	-78198	-7819,80	42	
255	1	53943,00	27/07/06	22	18	0	80280	53943,93	27/07/2006 22:18	-755468	-71	-78194	-7819,40	-50	
256	1	53943,00	27/07/06	22	34	0	81240	53943,94	27/07/2006 22:34	-755485	-59	-78192	-7819,20	-38	
257	23	53943,00	27/07/06	22	50	0	82200	53943,95	27/07/2006 22:50	-1458859	-82	-78362	-7836,20	-85	
258	19	53943,00	27/07/06	23	6	0	83160	53943,96	27/07/2006 23:06	-113267	-100	-78278	-7827,80	-73	
259	11	53943,00	27/07/06	23	22	0	84120	53943,97	27/07/2006 23:22	-3495505	22	-78303	-7830,30	44	
2520	11	53944,00	28/07/06	0	10	0	600	53944,01	28/07/2006 00:10	-3495559	0	-78296	-7829,60	21	
2521	11	53944,00	28/07/06	0	38	0	2280	53944,03	28/07/2006 00:38	-3495581	-15	-78258	-7825,80	7	
2522	11	53944,00	28/07/06	0	54	0	3240	53944,04	28/07/2006 00:54	-3495609	22	-78264	-7826,40	43	
2523	8	53944,00	28/07/06	2	23	30	8610	53944,10	28/07/2006 02:23	660224	176	-78393	-7839,30	164	
2524	23	53944,00	28/07/06	4	54	0	17640	53944,20	28/07/2006 04:54	-1458546	-86	-78095	-7809,50	-88	
2525	13	53944,00	28/07/06	6	30	0	23400	53944,27	28/07/2006 06:30	-886230	-13	-78174	-7817,40	18	

Figura 95 - Extrato da planilha com os dados obtidos direto dos satélites por meio do receptor GPS monocanal TTR-6.

	A	B	C	D	E	F	G	H
4								
5								
6			DSHO Divisão Serviço da Hora					direto do
7								recept
8								Mod T
9			das Circulares-T				das Circulares-T	das Circulares-T
10	Circular BIPM	Data	MJD	UTC - T130	MJD	Δff (UTC-T130)	UTC-GPS time	C0
11				(ns)	(médio k,k+1)	Média de 5 dias		(ns)
12		03-jun-06	53889	7255,2	26944,5			-13,2
13		08-jun-06	53894	7302,5	53891,5	-1,0949E-13		-14,4
14	T 222	13-jun-06	53899	7355,9	53896,5	-1,2361E-13	[UTC-GPS time] =	-11,0
15		18-jun-06	53904	7415,8	53901,5	-1,3866E-13	-14 s + C0	-15,4
16		23-jun-06	53909	7472,2	53906,5	-1,3056E-13		-7,7
17		28-jun-06	53914	7524,1	53911,5	-1,2014E-13		-8,2
18		03-jul-06	53919	7568,6	53916,5	-1,0301E-13		-5,8
19		08-jul-06	53924	7624,1	53921,5	-1,2847E-13		-2,6
20	T 223	13-jul-06	53929	7672,2	53926,5	-1,1134E-13	[UTC-GPS time] =	-2,1
21		18-jul-06	53934	7726	53931,5	-1,2454E-13	-14 s + C0	-2,7
22		23-jul-06	53939	7770	53936,5	-1,0185E-13		-1,9
23		28-jul-06	53944	7821,6	53941,5	-1,1944E-13		-2,6
24		02-ago-06	53949	7871,3	53946,5	-1,1505E-13		0,8
25		07-ago-06	53954	7922	53951,5	-1,1736E-13		-5,4
26	T 224	12-ago-06	53959	7977,8	53956,5	-1,2917E-13	[UTC-GPS time] =	-2,4
27		17-ago-06	53964	8028,8	53961,5	-1,1806E-13	-14 s + C0	-5,1
28		22-ago-06	53969	8085,9	53966,5	-1,3218E-13		-2,2
29		27-ago-06	53974	8132	53971,5	-1,0671E-13		-7,9
30		01-set-06	53979	8175,3	53976,5	-1,0023E-13		-8,6
31		06-set-06	53984	8223,6	53981,5	-1,1181E-13		-6,6
32	T 225	11-set-06	53989	8275,7	53986,5	-1,2060E-13	[UTC-GPS time] =	-8,2
33		16-set-06	53994	8330,3	53991,5	-1,2639E-13	-14 s + C0	-1134,90
34		21-set-06	53999	8384,7	53996,5	-1,2593E-13		1132,20
35		26-set-06	54004	8437,3	54001,5	-1,2176E-13		1116,6
36		01-out-06	54009	8485,6	54006,5	-1,1181E-13		-7792,60
37		06-out-06	54014	8543,8	54011,5	-1,3472E-13		-7830,12
38		11-out-06	54019	8595,7	54016,5	-1,2014E-13		-7872,85
39	T 226	16-out-06	54024	8639,5	54021,5	-1,0139E-13	[UTC-GPS time] =	-7932,10
40		21-out-06	54029	8697,9	54026,5	-1,3519E-13	-14 s + C0	
41		26-out-06	54034	8751,4	54031,5	-1,2384E-13		1,8

-1134,90 1132,20 1116,6
 -7792,60 7790,70 7767,7
 -7830,12 **obtido pela interpolação de:**
 -7872,85 53943,97 --> -7830,30
 -7932,10 53944,01 --> -7829,60

Figura 96 – Extrato da planilha com inclusão de dados obtidos direto dos satélites visíveis e [UTC-GPS Time] das Circulares-T.

		G	H	I	J	K	L	M	N
	4				H-I			H-L	
	5					direto dos satélites	direto dos satélites		previsão
	6			direto dos satélites	direto dos satélites	com reta de ajuste	com reta de ajuste	direto dos satélites	valores extrapolados
ACIONAL	7					$y = 10,22x - 389927$	$y = -9,8127x + 374150$	com reta de ajuste	das 5 últimas
	8			receptor AOA	e UTC-GPS Time	destes valores	receptor AOA	e UTC-GPS Time	Circulares-T
	9	das Circulares-T	das Circulares-T	Mod. TTR-6/6A	das Circulares-T	(ver gráfico abaixo)	Mod. TTR-6/6A	das Circulares-T	pela reta de regressão
MJD	10	UTC-GPS time	C0	T130-GPS Time	UTC - T130	UTC - T130	T130-GPS Time	UTC - T130	UTC - T130
	11		(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)
53889	12		-13,2	-7250,50	7237,30	7256,88	-7279,46	7266,26	7278,91
53894	13		-14,4	-7308,80	7294,40	7307,97	-7328,53	7314,13	7334,99
53899	14	[UTC-GPS time] =	-11,0	-7354,40	7343,40	7359,06	-7377,59	7366,59	7391,07
53904	15	-14 s + C0	-15,4	-7425,80	7410,40	7410,15	-7426,65	7411,25	7447,14
53909	16		-7,7	-7476,30	7468,60	7461,24	-7475,72	7468,02	7503,22
53914	17		-8,2	-7541,60	7533,40	7512,33	-7524,78	7516,58	7559,29
53919	18		-5,8	-7571,20	7565,40	7563,42	-7573,84	7568,04	7591,05
53924	19		-2,6	-7628,00	7625,40	7614,51	-7622,91	7620,31	7645,92
53929	20	[UTC-GPS time] =	-2,1	-7678,70	7676,60	7665,60	-7671,97	7669,87	7700,79
53934	21	-14 s + C0	-2,7	-7734,90	7732,20	7716,69	-7721,03	7718,33	7755,65
53939	22		-1,9	-7792,60	7790,70	7767,78	-7770,10	7768,20	7810,52
53944	23		-2,6	-7830,12	7827,52	7818,87	-7819,16	7816,56	7865,38
53949	24		0,8	-7872,85	7873,65	7869,96	-7868,22	7869,02	7892,24
53954	25		-5,4	-7932,10	7926,70	7921,05	-7917,29	7911,89	7945,57
53959	26	[UTC-GPS time] =	-2,4	-7982,30	7979,90	7972,14	-7966,35	7963,95	7998,91
53964	27	-14 s + C0	-5,1	-8036,96	8031,86	8023,23	-8015,41	8010,31	8052,24
53969	28		-2,2	-8091,38	8089,18	8074,32	-8064,48	8062,28	8105,58
53974	29		-7,9	-8145,69	8137,79	8125,41	-8113,54	8105,64	8158,91
53979	30		-8,6	-8185,12	8176,52	8176,50	-8162,60	8154,00	8190,47
53984	31		-6,6	-8242,08	8235,48	8227,59	-8211,67	8205,07	8242,56
53989	32	[UTC-GPS time] =	-8,2	-8290,76	8282,56	8278,68	-8260,73	8252,53	8294,65
53994	33	-14 s + C0	-7,8	-8343,44	8335,64	8329,77	-8309,80	8302,00	8346,74
53999	34		-7,8	-8407,37	8399,57	8380,86	-8358,86	8351,06	8398,83
54004	35		-7,6	-8448,00	8440,40	8431,95	-8407,92	8400,32	8450,92
54009	36		-6,2	-8474,18	8467,98	8483,04	-8456,99	8450,79	8503,01
54014	37		-1,1	-8528,20	8527,10	8534,13	-8506,05	8504,95	8555,10
54019	38		-4,0	-8594,50	8590,50	8585,22	-8555,11	8551,11	8607,19
54024	39	[UTC-GPS time] =	-2,1	-8629,80	8627,70	8636,31	-8604,18	8602,08	8659,28
54029	40	-14 s + C0	-4,0	-8686,70	8682,70	8687,40	-8653,24	8649,24	8711,37
54034	41		1,8	-8736,10	8737,90	8738,49	-8702,30	8704,10	8763,46
54039	42		-2,8						

Figura 97 – Extrato da planilha contendo cálculos a partir dos dados dos satélites visíveis e [UTC-GPS Time] das Circulares-T

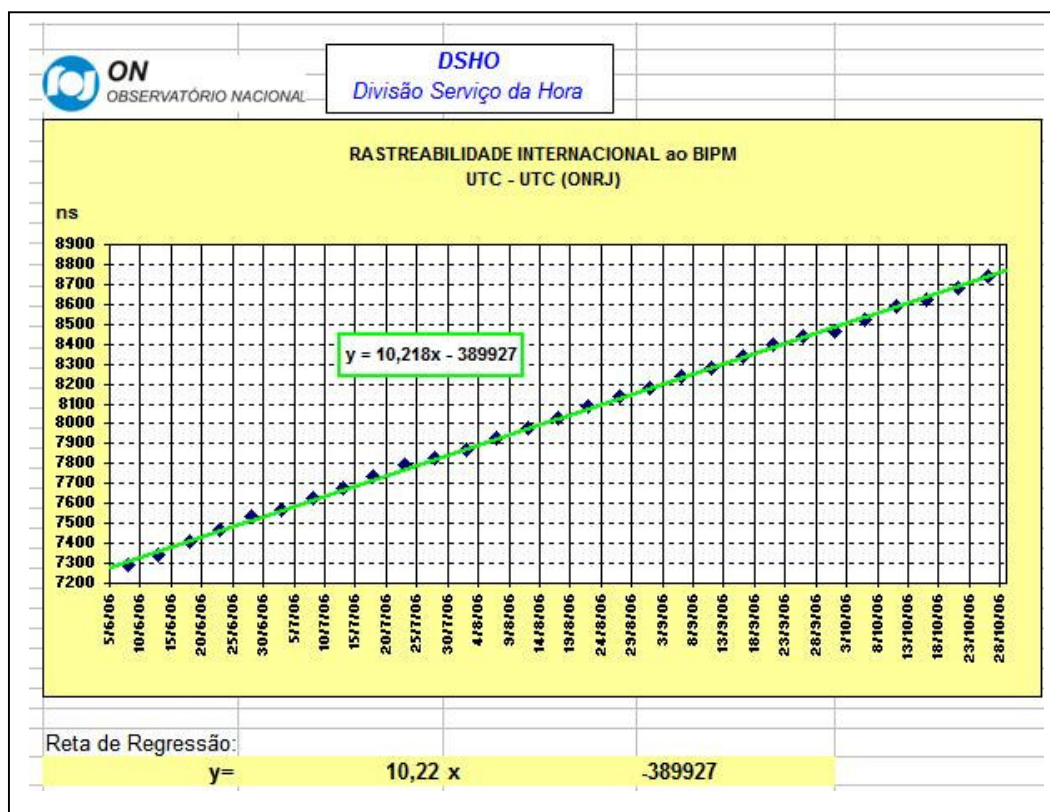


Figura 98 – Gráfico combinando dados direto do receptor GPS TTR-6 e Circular-T.

A partir da reta de regressão indicada na figura 98, calcularam-se os valores [UTC-T130] da coluna K, na figura 97.

Os valores de [UTC-T130] da coluna M foram obtidos de H-L e correspondem à utilização dos valores obtidos por meio da reta de regressão indicada no gráfico da figura 94 com dados obtidos diretamente dos satélites por meio do receptor GPS monocanal TTR-6.

Os valores de [UTC-T130] da coluna N foram obtidos por extrapolação das 5 últimas Circulares-T por meio da sua reta de regressão.

Associadas a cada uma dessas três colunas foram obtidas as três colunas O, P e Q ilustradas na figura 99 correspondendo aos ajustes aplicados a [UTC-T130] para obter os mesmos valores das Circulares-T.

M	N	O	P	Q
PS Time	Circulares-T			
culares-T	pela reta de regressão			
- T130	UTC - T130	ajuste UTC-T130 (D-M)	ajuste UTC-T130 (D-M)	ajuste UTC-T130 (D-K)
(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)
36,26	7278,91	-11,06	-23,71	-1,68
14,13	7334,99	-11,63	-32,49	-5,47
36,59	7391,07	-10,69	-35,17	-3,16
11,25	7447,14	4,55	-31,34	5,65
38,02	7503,22	4,18	-31,02	10,96
16,58	7559,29	7,52	-35,19	11,77
38,04	7591,05	0,56	-22,45	5,18
20,31	7645,92	3,79	-21,82	9,59
39,87	7700,79	2,33	-28,59	6,60
18,33	7755,65	7,67	-29,65	9,31
38,20	7810,52	1,80	-40,52	2,22
16,56	7865,38	5,04	-43,78	2,73
39,02	7892,24	2,28	-20,94	1,34
11,89	7945,57	10,11	-23,57	0,95
33,95	7998,91	13,85	-21,11	5,66
10,31	8052,24	18,49	-23,44	5,57
32,28	8105,58	23,62	-19,68	11,58
15,64	8158,91	26,36	-26,91	6,59
14,00	8190,47	21,30	-15,17	-1,20
15,07	8242,56	18,53	-18,96	-3,99
52,53	8294,65	23,17	-18,95	-2,98
12,00	8346,74	28,30	-16,44	0,53
51,06	8398,83	33,64	-14,13	3,84
10,32	8450,92	36,98	-13,62	5,35
10,79	8503,01	34,81	-17,41	2,56
14,95	8555,10	38,85	-11,30	9,67
15,11	8607,19	44,59	-11,49	10,48
12,08	8659,28	37,42	-19,78	3,19
13,24	8711,37	48,66	-13,47	10,50
04,10	8763,46	47,30	-12,06	12,91
	média:	17,08	-23,14	4,54
	desvio padrão:	17,68	8,70	5,21
	desvio médio quadrático:	636,31	652,08	50,19

Figura 99 – Ajustes referentes previsão [UTC-T130] e menor desvio médio quadrático.

Resumindo, apresentou-se três diferentes metodologias para se fazer uma predição de [UTC-T130] para 45 dias futuros:

- 1) A partir de valores [T130-GPS] obtidos diretamente do receptor GPS TTR6 e correspondentes aos MJDs da Circular-T, combina-se com os valores de [UTC-GPS] da Circular-T para se gerar [UTC-T130] e calcular sua regressão linear, obtendo-se daí uma predição de [UTC-T130] para os próximos 45 dias.

2) A partir de todos os valores [T130-GPS] obtidos diretamente do receptor GPS TTR6, calcula-se a regressão linear e obtêm-se então valores [T130-GPS] para os MJDs correspondentes da Circular-T e combinando-se com os valores de [UTC-GPS] da Circular-T, obtêm-se uma predição de [UTC-T130] para os próximos 45 dias.

3) A partir dos valores de [UTC-T130] da Circular-T calcula-se sua regressão linear e daí obtêm-se uma predição de [UTC-T130] para os próximos 45 dias.

A metodologia (1) e (2) são propostas novas e a (3) é a que se utiliza atualmente.

Utilizando-se estas três estimativas e comparando-se os valores [UTC-T130] obtidos com os correspondentes valores publicados na Circular-T, foram calculados os ajustes correspondentes. Então, analisando-se estes resíduos pelo método dos mínimos quadrados, concluiu-se que a melhor estimativa de [UTC-T130] foi a obtida pela modelagem da metodologia (1).

Tais resultados merecem uma análise futura para buscar-se o porquê de tais diferenças e também observar a influência de se utilizar períodos mais longos no cálculo da regressão linear e sobre estas estimativas.

Ao procedimento já existente que determina o Desvio de Allan do UTC-T130, utilizando as cinco últimas Circulares-T, e também às novas planilhas, acrescentou-se uma outra ferramenta de avaliação da estabilidade de frequência:

- o cálculo do Desvio de Allan acumulando os dados das Circulares-T desde o instante em que o padrão de referência T130 entrou em operação até à última Circular-T emitida. Para isso, a cada divulgação de nova Circular-T, acrescenta-se os dados mais recentes do [UTC-T130] e calcula-se o Desvio de Allan, obtendo-se resultados conforme ilustra a figura 100.

Observa-se que:

- Na medida em que o padrão de referência mantém sua operação normal, sem alteração de sua estabilidade de frequência, o Desvio de Allan vai diminuindo.

- Caso algum evento provoque alteração na estabilidade de freqüência, há aumento do Desvio de Allan.

Na figura 100, acha-se assinalada uma primeira alteração ocorrida em fevereiro de 2006 e que se identificou ter sido provocada por uma variação excessiva da temperatura ambiente, ainda nas antigas instalações do laboratório.

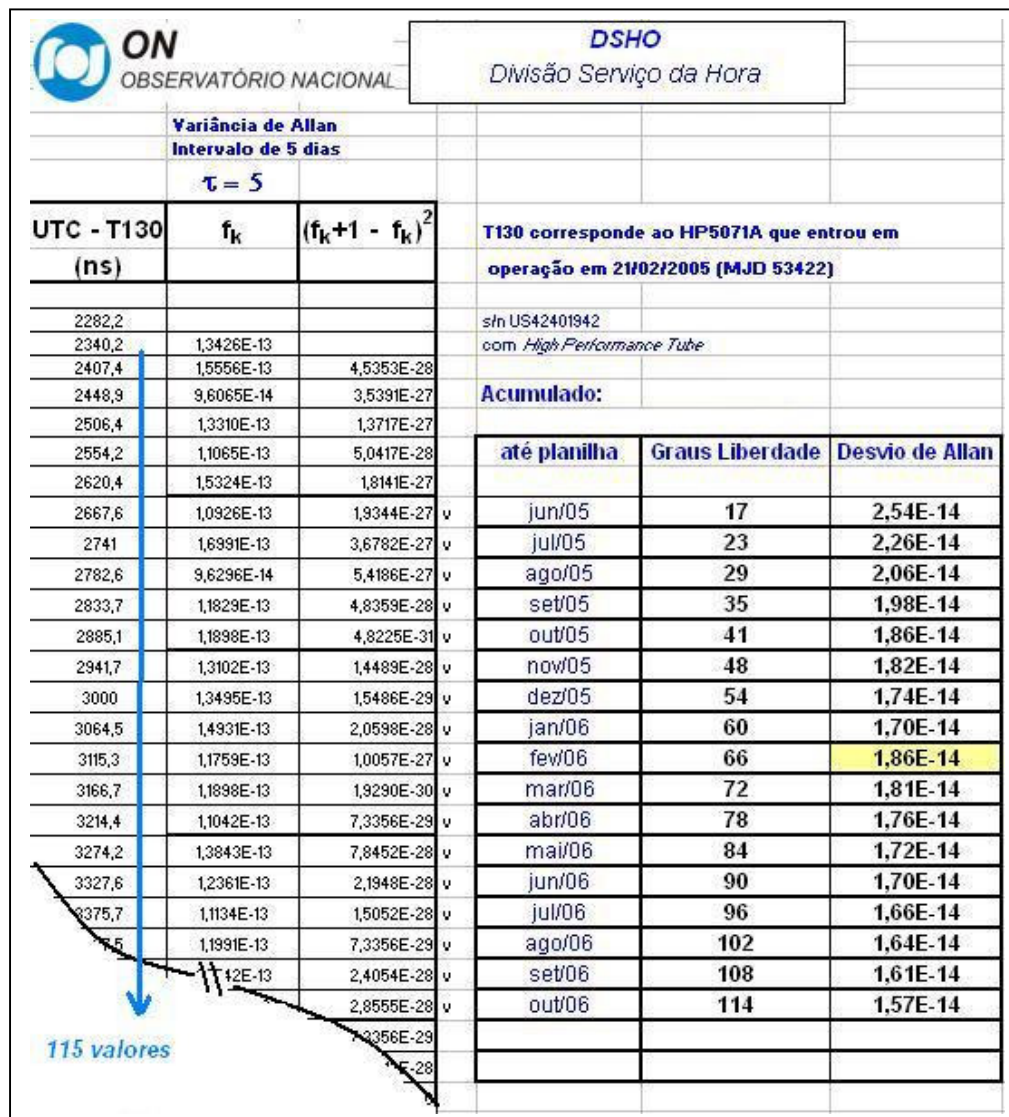


Figura 100 – Extrato da planilha desvio de Allan acumulado para o T130.

Este processo pode ser usado utilizando-se os dados diários obtidos diretamente dos satélites por meio do método CV e permitindo assim uma outra forma de uma monitoração diária da estabilidade de freqüência do padrão de referência.

7.2. LPTF e sua estrutura interna de calibração de TF

Na parte inferior das figuras 75 e 86 está ilustrada a estrutura básica utilizada na calibração de TF realizada internamente e reproduzida na figura 101 e composta dos seguintes equipamentos:

- CRONOMED – para calibração de cronômetros e temporizadores.
- TACOMEDE – para calibração de tacômetros ópticos.
- Sistema AUTOMED2 – para calibração de sinais 1PPS e freqüência utilizando o método do contador de intervalo de tempo descrito no item 3.3.
- Analisador de Intervalo de Tempo e Freqüência – para calibração de freqüência de sinais senoidais.
- Comparador de Fase + Registrador – para calibração de TF de sinais senoidais.
- Contador e Sintetizador – instrumental de uso geral que compõe sistemas de calibração de TF.

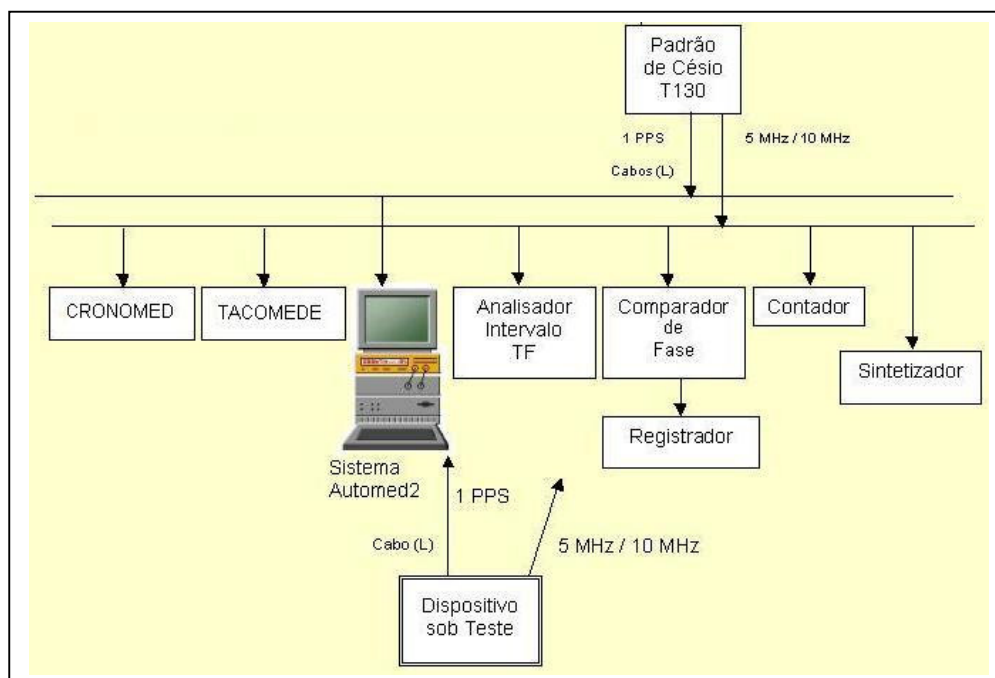


Figura 101 – Estrutura básica de calibração de TF realizada internamente.

7.3.

Caracterização dos sistemas de medição e incertezas associadas

Tendo por base as duas grandes estruturas descritas nos itens 7.1 e 7.2, serão aqui detalhados os sistemas de medição, os equipamentos que os compõem e o instrumental de uso geral, bem como suas incertezas de medição associadas.

7.3.1.

Sistemas de rastreamento de satélites

Neste item, os sistemas de rastreamento de satélites serão caracterizados e detalhados quanto à propagação de incertezas de medição. Estas incertezas estão associadas ao enlace de tempo do ONRJ e publicadas na Circular-T do BIPM e cujo resumo está na tabela 7.

7.3.1.a.

Receptor GPS monocanal TTR-6

Este receptor de satélites GPS modelo TTR-6/6A é fabricado por ALLEN OSBORNE ASSOCIATES. Trata-se de um receptor monocanal com um contador de tempo interno com resolução de 0,1 ns.

Em termos de rastreabilidade e propagação de incertezas, valem para este receptor os valores indicados na tabela 7 até outubro de 2006 inclusive (Circular-T 226), lembrando que êle é utilizado no sistema que assegura a rastreabilidade ao BIPM conforme figura 75.



Figura 102 – Receptor GPS TTR6.

7.3.1.b. Receptor GPS multicanal TTS-2

Este receptor de satélites GPS modelo TTS-2 é fabricado por EMDE *Electronics* em cooperação com Borowiec AOS (*Astrogeodynamical Observatory*). Trata-se de um receptor multicanal capaz de rastrear até 8 satélites simultaneamente.

Em termos de rastreabilidade ao BIPM e propagação de incertezas, valem para este receptor os valores indicados na tabela 7, a partir de novembro de 2006 inclusive (Circular-T 227), lembrando que êle é utilizado no sistema que atualmente assegura a rastreabilidade ao BIPM conforme estrutura ilustrada pela figura 86.



Figura 103 – Receptor GPS TTS-2.

7.3.1.c. Receptor GPS multicanal SIM

Este receptor de satélites GPS faz parte do ‘Sistema de Medição de Tempo SIM’. Este sistema monitora os padrões primários de TF dos laboratórios participantes, utilizando a Internet para transmissão dos dados de cada UTC(k), a cada 10 minutos, para o servidor WEB localizado no NIST. Assim, é possível um acompanhamento em tempo real através das informações que o NIST divulga em seu *site* (<http://gps.nist.gov/sim>).



Figura 104 – Receptor SIM GPS CV.

Trata-se de um receptor multicanal capaz de rastrear até 8 satélites simultaneamente e entrou em operação na DSHO em 13 de maio de 2007. Este mais novo receptor GPS garante, juntamente com os outros dois já existentes, uma maior confiabilidade e robustez ao LPTF quanto à rastreabilidade. A sua integração completa ao sistema metrológico da DSHO se dará com a futura sistematização da utilização dos dados fornecidos por este novo receptor.

7.3.2. Sistemas de calibração interna

Os equipamentos utilizados em calibração interna (realizada nas dependências do LPTF) estão descritos a seguir, com a caracterização do padrão de referência, do instrumental de uso geral e sistemas de medição.

7.3.2.a.
Padrão de freqüência de feixe de césio

O padrão primário de TF que a DSHO utiliza atualmente é referenciado pela sigla T130 e corresponde a um padrão de freqüência de feixe de césio modelo HP5071A (*High Performance*) e cuja curva de estabilidade de freqüência fornecida pelo fabricante está apresentada na figura 105

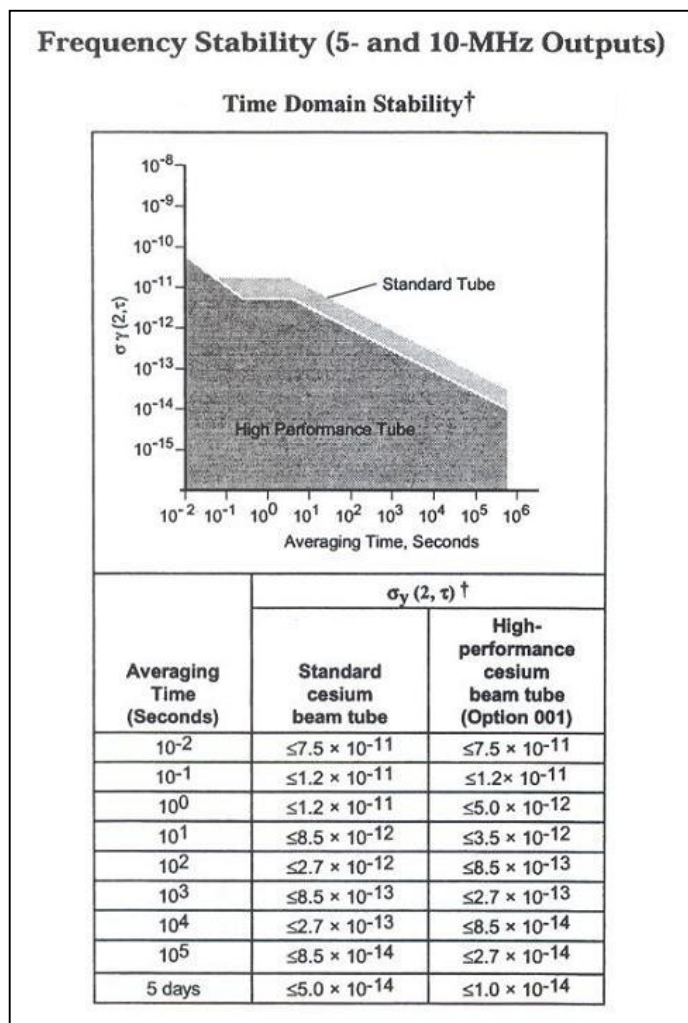


Figura 105 – Estabilidade de freqüência do HP5071A.

Estas características são utilizadas para extrapolar valores de incerteza combinada de freqüência, conforme diretriz do CCTF (seção 6.3), e utilizando as publicações das Circulares-T e os cálculos descritos na seção 7.1 para média de 5 dias.

Na figura 105, observa-se que de 1 h para 5 dias o ruído é branco, valendo então a seguinte relação (Allan, 1987, 1991):

$$\sigma_{\tau} = kx\tau^{-1/2} \quad (7.2)$$

Tendo-se calculado o desvio de Allan (σ_{τ}) a partir dos dados [T130-UTC] publicados na Circular-T para 5 dias ($\tau = 5 \times 86400$ s), calcula-se o valor de k:

$$k = (\text{desvio de Allan para 5 dias}) / (5 \times 86400)^{-1/2} \quad (7.3)$$

A partir do valor calculado de k, pode-se fazer a extrapolação e calcular o desvio de Allan para $\tau = 1$ h = 3600 s:

$$\sigma_{\tau} = kx(3600)^{-1/2} \quad (7.4)$$

A incerteza total combinada é a raiz quadrada da soma dos quadrados da incerteza para τ igual a 5 dias e da incerteza obtida por extrapolação para $\tau = 1$ h.

7.3.2.b.

Amplificador distribuidor

É um equipamento de suporte destinado a receber um sinal senoidal e distribuí-lo para diversos pontos. O modelo utilizado é o HP5087A fabricado por *Hewlett-Packard*.

Tendo em vista sua utilização para conexão dos sinais de 1 MHz, 5 MHz e 10 MHz do padrão de referência aos sistemas de medição, foi caracterizada sua incerteza de medição, incluindo o cabo de conexão, por meio da configuração ilustrada pela figura 106.

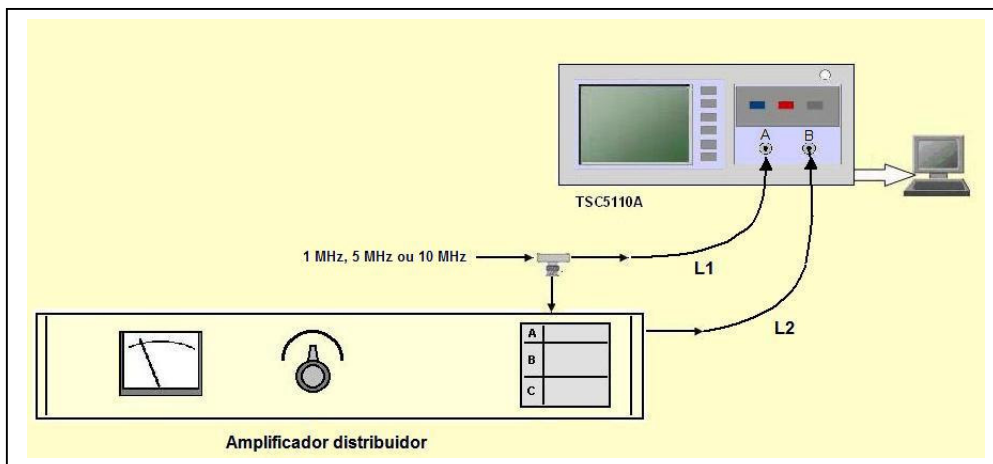


Figura 106 – Caracterização de incerteza de medição do sistema amplificador distribuidor e cabo.

Para cinco dias de medição (de MJD54280 a MJD54284) com frequência de 5 MHz, foi obtido o gráfico de desvio de Allan apresentado na figura 107.

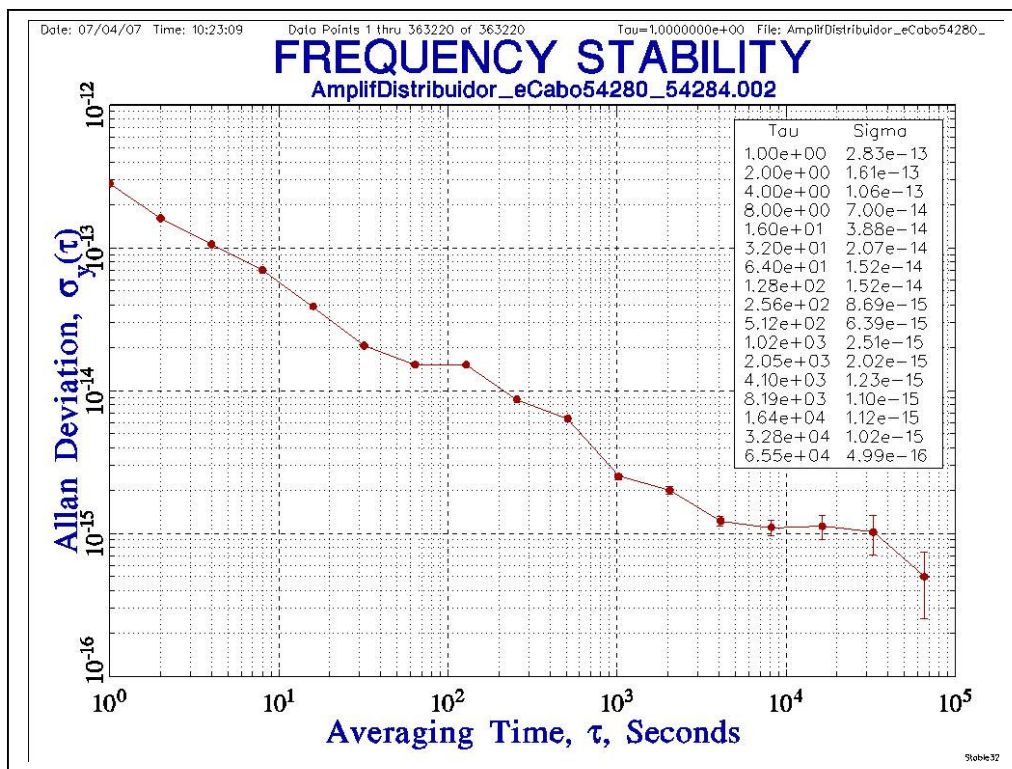


Figura 107 – Desvio de Allan considerando o amplificador distribuidor e cabo.

7.3.2.c.

Contador de intervalo de tempo

O contador utilizado é o modelo SR-620 fabricado por *Stanford Research Systems, Inc.*

Conforme especificações fornecidas pelo fabricante, foram elaboradas as planilhas eletrônicas que se acham ilustradas pelas figuras 108, 109, 110, 111, 112, 113 e 114 a seguir.

Cada uma destas planilhas está associada às contribuições de incerteza dadas pela base de tempo e pelo *trigger* e correspondentes cálculos de incerteza de medição de intervalo de tempo, frequência, período, fase e contagem.

Tendo em vista que este contador é sempre utilizado com base de tempo externa conectada ao padrão de referência, a contribuição de incerteza da base de tempo segue a especificação ilustrada pela figura 108; ou seja:

- para períodos de medição 'curtos' (< 50 ms), as características de "*clock*" são determinadas pelo "*jitter*" interno do PLL do SR-620;

- para períodos de medição 'longos' (acima de 50 ms) a estabilidade de frequência da base de tempo é dada pela base de tempo externa, ou seja, o padrão de referência atualmente utilizado (T130).

1	ON	DSHO	Planilha																														
2	OBSERVATÓRIO NACIONAL	Divisão Serviço da Hora	1206.4.xy																														
4	Especificações do Contador STANFORD SR620																																
7	Data da Calibração:	As células marcadas com fundo verde claro são campos a serem preenchidos com os dados de cada medição.																															
8	dd/mm/aaaa																																
10	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO :		x/aa																														
12	N ("Number of Samples Averaged") =		1																														
14	TIMEBASE SPECIFICATIONS																																
16	The specifications of the timebase affect both the resolution and error of measurements made with the SR620. A timebase may be specified by two parameters: its short-term stability and its long-term stability.																																
19	SHORT-TERM STABILITY																																
20	The short-term stability of an oscillator is a measure of the changes in the output frequency of the oscillator on a short time scale- seconds or less. These changes in the frequency are usually random and are due to internal oscillator noise, output level modulation, etc. These random changes in frequency affect the resolution of the measurement just as other internal noise does. The short-term stability of an oscillator is usually characterized by specifying either its Allan variance or its phase noise. The SR620's timebase short-term stability is specified by its Allan variance. Typical values for several gate times are:																																
27	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>standard oscillator</th> <th>oven oscillator</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.0s gate</td> <td>1.2x10⁻¹⁰</td> <td>2.3x10⁻¹¹</td> </tr> <tr> <td>10s gate</td> <td>2.3x10⁻¹⁰</td> <td>1x10⁻¹¹</td> </tr> <tr> <td>100s gate</td> <td>1.25x10⁻⁹</td> <td>4.2x10⁻¹¹</td> </tr> <tr> <td>spec. limit at ts</td> <td>2x10⁻¹⁰</td> <td>5x10⁻¹¹</td> </tr> </tbody> </table>				standard oscillator	oven oscillator	1.0s gate	1.2x10 ⁻¹⁰	2.3x10 ⁻¹¹	10s gate	2.3x10 ⁻¹⁰	1x10 ⁻¹¹	100s gate	1.25x10 ⁻⁹	4.2x10 ⁻¹¹	spec. limit at ts	2x10 ⁻¹⁰	5x10 ⁻¹¹															
	standard oscillator	oven oscillator																															
1.0s gate	1.2x10 ⁻¹⁰	2.3x10 ⁻¹¹																															
10s gate	2.3x10 ⁻¹⁰	1x10 ⁻¹¹																															
100s gate	1.25x10 ⁻⁹	4.2x10 ⁻¹¹																															
spec. limit at ts	2x10 ⁻¹⁰	5x10 ⁻¹¹																															
32	The resolution of the SR620 is specified as $resolution = ((25ps)^2 + (time\ interval \times short\ term\ stability)^2)^{1/2}$ ms so for time interval greater than 125ms (standard oscillator) or 500ms (oven oscillator) the short-term stability of the timebase will dominate the resolution limit of the SR620.																																
37	Timebase																																
38	Frequency	Standard	Option/01																														
39	Type	10.000 MHz	10.000 MHz																														
40		TCVCXO	Ovenized VCXO																														
41	Aging	1x10 ⁻⁹ /yr	5x10 ⁻¹⁰ /day																														
42	Allan Variance (1s)	2x10 ⁻¹⁰	5x10 ⁻¹¹																														
43	Stability 0-50° C	1 ppm	0.005 ppm																														
44	Setability	0.01 ppm	0.001 ppm																														
45	External	User may supply 5 or 10 MHz timebase. 1 Volt nominal.																															
46	É esta opção																																
48	"Time Base Error" =																																
49	"Short-Term Stability" =																																

MEASUREMENT ACCURACY

The following equations allow one to calculate the SR620's resolution and error in the various measurement modes. The SR620's typical specification are used in the following equations. For worst case bounds simply replace the typical with the worst case numbers.

NOTE: The quantities added to calculate the SR620's resolution are independent rms quantities and must be added in quadrature:

$$total = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots}$$

NOTE: "timebase error" refers to the sum of aging and temperature effects.

LONG-TERM STABILITY

The long-term stability of an oscillator is a measure of its changes in frequency over long time intervals- hours, days, months, or years. It is the long term stability of the timebase that will ultimately limit the absolute accuracy of the SR620 and determines the calibration interval necessary to maintain a desired error limit. The long-term stability consists of two components: oscillator aging and oscillator temperature response. The aging of an oscillator is the change in frequency over time due to physical changes in the components (usually the crystal) and is usually specified as a fractional frequency change over some measurement period. Temperature response is due to changes in the oscillator characteristics as a function of ambient temperature and is specified as a fractional frequency change over some temperature range. The timebase for the SR620 is specified as:

	standard oscillator	oven oscillator
aging	1x10 ⁻⁶ /yr	5x10 ⁻¹⁰ /day
temperature response	1x10 ⁻⁶ 0 to 50°C	5x10 ⁻⁹ 0 to 50°C

So, for example, with the oven oscillator 30 days after calibration the oscillator may have drifted at most 30 x 5x10⁻¹⁰ x 10MHz = 0.15Hz. Also, a worst case temperature variation must be assumed when evaluating the worst case error. That is, for example, the optional oscillator must be assumed to be at worst 5ppb in error because the conditions when the SR620 was calibrated are unknown.

EXTERNAL TIMEBASES

The SR620 has a rear panel input that will accept either a 5 or 10MHz external timebase. The SR620 phase-locks its internal timebase to this reference. The phase-locked loop has a bandwidth of about 20Hz and thus the characteristics of the SR620's clock, for measurement times longer than 50ms, become that of the external source. For shorter measurement times the clock characteristics are unimportant compared to the internal jitter (25ps rms) of the SR620. Thus, if the signal from a Cesium clock is input into a SR620 with a standard TCXO oscillator the short-term and long-term stability of the SR620 will become that of the Cesium clock.

Para intervalos de medição curtos (< 50 ms), as características de "clock" são determinadas pelo "jitter" interno do PLL do SR-620

Figura 108 – Incerteza característica do contador SR-620 – Base de Tempo.

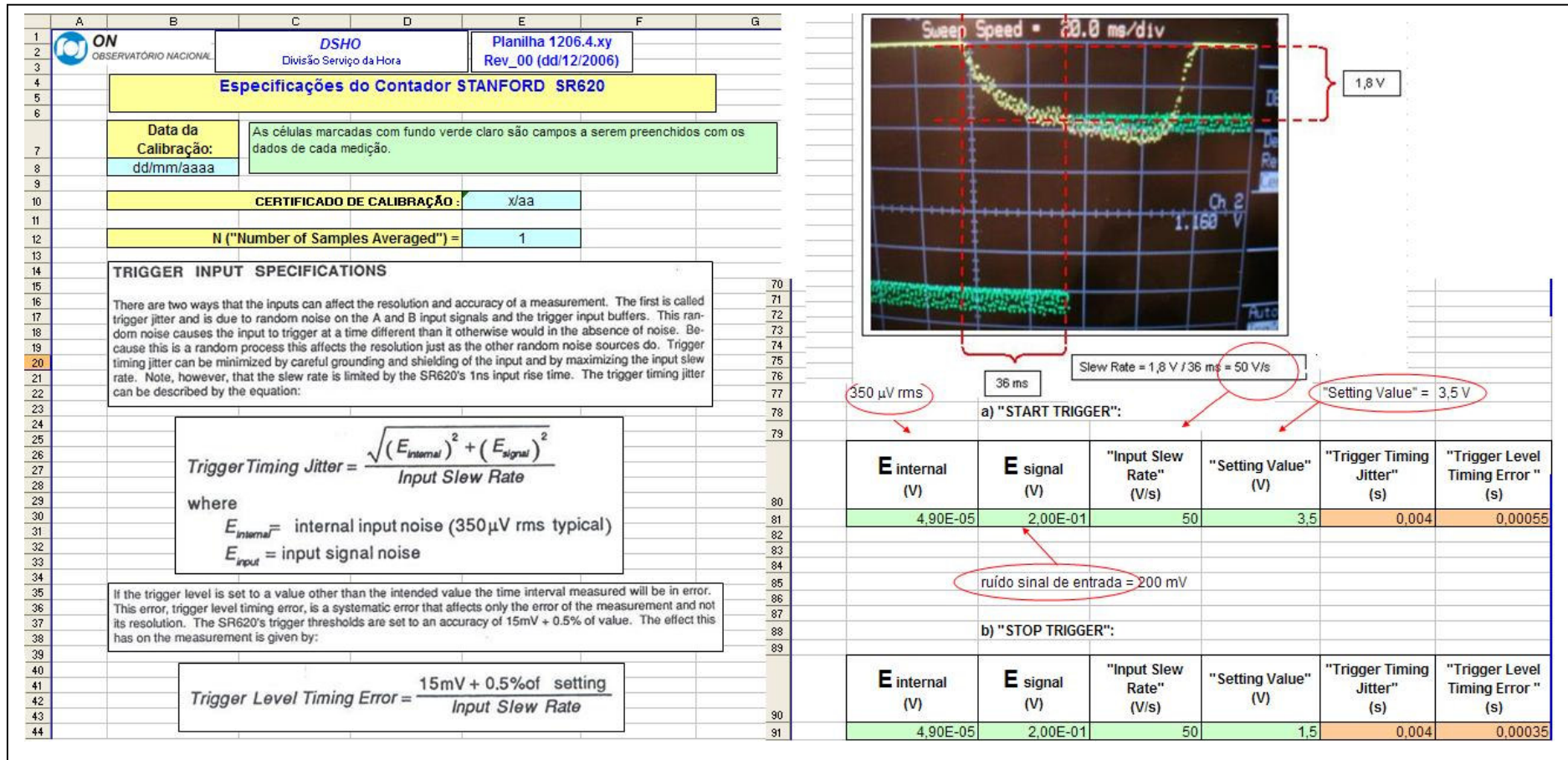


Figura 109 – Incerteza característica do contador SR-620 – trigger.

Observação: Na figura 109, a forma de onda apresentada é um exemplo de uma medição.


A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	 ON OBSERVATÓRIO NACIONAL	DSHO Divisão Serviço da Hora		Planilha 1206.4.xy Rev_00 (dd/12/2006)					
4	Especificações do Contador STANFORD SR620								
7	Data da Calibração: dd/mm/aaaa	As células marcadas com fundo verde claro são campos a serem preenchidos com os dados de cada medição.							
10	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO :				x/aa				
12	N ("Number of Samples Averaged") =				1				
14	TIME INTERVAL, WIDTH, RISE/FALL TIME MODES:								
17	In the time measurement modes the measurement resolution and error are given by:								
19	N = number of samples averaged								
25	$\text{Resolution} = \pm \sqrt{\frac{(25\text{ps})^2 + (\text{time interval} \times \text{short term stability})^2 + (\text{start trigger jitter})^2 + (\text{stop trigger jitter})^2}{N}}$								
29	$\text{Error} = \pm \text{resolution} \pm (\text{timebase error} \times \text{time interval}) \pm \text{starttrigger level error} \pm \text{stop trigger level error} \pm 0.5\text{ns}$								
31									
32	"time interval" (minuto)	"short-term stability"	"start trigger jitter" (s)	"stop trigger jitter" (s)	"Start-trigger level error (trigger level timing error)" (s)	"Stop-trigger level error (trigger level timing error)" (s)	"time base error"	Resolução = +/- (s)	Erro = +/- (s)
33	1	0,00E+00	0,004	0,004	0,00055	0,00035	0	0,005656854	0,006556855
34	2	0,00E+00	0,004	0,004	0,00055	0,00035	0	0,005656854	0,006556855
35	4	0,00E+00	0,004	0,004	0,00055	0,00035	0	0,005656854	0,006556855
36	8	0,00E+00	0,004	0,004	0,00055	0,00035	0	0,005656854	0,006556855

Figura 110 – Incerteza característica do contador SR-620 – intervalo de tempo.


	A	B	C	D	E	F	G	H
1		ON	DSHO		Planilha 1206.4.xy			
2		OBSERVATÓRIO NACIONAL	Divisão Serviço da Hora		Rev_00			
3								
4	Especificações do Contador STANFORD SR620							
5								
6								
7	Data da Calibração:		As células marcadas com fundo verde claro são campos a serem preenchidos com os dados de cada medição.					
8	dd/mm/aaaa							
9								
10	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO :				x/aa			
11								
12	N ("Number of Samples Averaged") =				1			
13								
14	FREQUENCY MODE							
15	In frequency mode the measurement resolution and error are given by:							
16	N = number of samples averaged							
17								
18								
19								
20								
21								
22	$\text{Resolution} = \pm \frac{\text{frequency}}{\text{gate time}} \sqrt{\frac{(25\text{ps})^2 + (\text{short term stability} \times \text{gate time})^2 + 2 \times (\text{trigger jitter})^2}{N}}$							
23								
24								
25								
26	$\text{Error} = \pm \text{resolution} \pm (\text{timebase error} \times \text{frequency}) \pm \frac{100\text{ps}}{\text{gate time}} \times \text{frequency}$							
27								
28								
29								
30								
31								
32		frequência	"gate time"	"short-term stability"	"time base error"	"trigger jitter"	Resolução = +/-	Erro = +/-
33							#DIV/0!	#DIV/0!
34								

Figura 111 – Incerteza característica do contador SR-620 – frequência.


	A	B	C	D	E	F	G	H
1	 ON OBSERVATÓRIO NACIONAL		DSHO Divisão Serviço da Hora		Planilha 1206.4.xy Rev_00			
4	Especificações do Contador STANFORD SR620							
7	Data da Calibração:		As células marcadas com fundo verde claro são campos a serem preenchidos com os dados de cada medição.					
8	dd/mm/aaaa							
10	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO :				x/aa			
12	N ("Number of Samples Averaged") =				1			
14	<p>PERIOD MODE</p> <p>In period mode the measurement resolution and error are given by:</p> <p><i>N</i> = number of samples averaged</p> $\text{Resolution} = \pm \frac{\text{period}}{\text{gate time}} \sqrt{\frac{(25\text{ps})^2 + (\text{short term stability} \times \text{gate time})^2 + 2 \times (\text{trigger jitter})^2}{N}}$ $\text{Error} = \pm \text{resolution} \pm (\text{timebase error} \times \text{period}) \pm \frac{100\text{ps}}{\text{gate time}} \times \text{period}$							
29	Período	"gate time"	"short-term stability"	"time base error"	"trigger jitter"	Resolução = +/-	Erro = +/-	
30						#DIV/0!	#DIV/0!	

Figura 112 – Incerteza característica do contador SR-620 – período.


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	 ON		DSHO		Planilha 1206.4.xy							
2	OBSERVATÓRIO NACIONAL		Divisão Serviço da Hora		Rev_00							
3												
4	Especificações do Contador STANFORD SR620											
5												
6												
7	Data da Calibração:		As células marcadas com fundo verde claro são campos a serem preenchidos com os dados de cada medição.									
8	dd/mm/aaaa											
9												
10	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO :					x/aa						
11												
12	N ("Number of Samples Averaged") =					1						
13												
14	PHASE MODE											
15	In phase mode the measurement resolution and error are given by:											
16	<i>N</i> = number of samples averaged											
17	note: the <u>gate time</u> is 10ms in internal mode											
18												
19												
20												
21												
22												
23	Resolution = $\pm 0.00 \text{ p} \pm 360 \sqrt{\frac{(25\text{ps})^2 + (\text{gate time} \times \text{short term stability})^2 + 2 \times (\text{trigger jitter})^2 \left(1 + \left(\frac{\text{phase} \times \text{period}}{360 \times \text{gate time}}\right)^2\right)}{\text{period}^2 \times N}}$											
24												
25												
26	Error = $\pm \text{resolution} \pm \frac{(\text{timebase error} \times \text{timeinterval}) \pm \text{start trigger level error} \pm \text{stop trigger level error} \pm 0.5 \text{ ns}}{\text{timebase error} \times \text{period} \pm 1 \times 10^{-9} \times \text{period}} \times 360^\circ$											
27												
28												
29												
30												
		Fase	Período	"gate time"	"Time Interval"	"short-term stability"	"time base error"	"trigger jitter"	"Start-trigger level error (trigger level timing error)"	"Stop-trigger level error (trigger level timing error)"	Resolução = +/-	Erro = +/-
31												
32											#DIV/0!	#DIV/0!

Figura 113 – Incerteza característica do contador SR-620 – fase.


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	 ON OBSERVATÓRIO NACIONAL	DSHO Divisão Serviço da Hora			Planilha 1206.4.xy					
2		Especificações do Contador STANFORD SR620								
3		Data da Calibração:		As células marcadas com fundo verde claro são campos a serem preenchidos com os dados de cada medição.						
4	dd/mm/aaaa									
5										
6	CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO :					x/aa				
7	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> COUNT MODE </div> The resolution and error for count mode are: Resolution = ± 1 count Error = ± 1 count									
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										

Figura 114 – Incerteza característica do contador SR-620 – contagem.

**7.3.2.d.
Sintetizadores de freqüência**

Para calibração de contadores, em freqüências diferentes de 100 kHz, 1 MHz, 5 MHz e 10 MHz que são disponíveis a partir dos padrões de césio, utiliza-se os seguintes modelos de sintetizadores de freqüência, fabricados por *Hewlett-Packard*..:

- i) HP3325A que opera na faixa de 0,000001 Hz a 60999999,999 Hz conforme especificações ilustradas pela figura 115;
- ii) HP8663A que opera na faixa de 100 kHz a 2560 MHz conforme especificação ilustrada pela figura 116.

Table 1-1. Specifications.	
FUNCTIONS AND FREQUENCIES	
Sine Wave:	
Signal Output (Front or Rear Panel): 0.000 001 Hz to 20 999 999.999 Hz	
Auxiliary Output (Rear Panel): 21 000 000.000 Hz to 60 999 999.999 Hz Underrange to 19 000 000.001 Hz	
Square Wave: 0.000 001 Hz to 10 999 999.999 Hz	
Triangle: 0.000 001 Hz to 10 999.999 999 Hz	
Positive and Negative Slope Ramp: 0.000 001 Hz to 10 999.999 999 Hz	
FREQUENCY RESOLUTION	
1 µHz for frequencies below 100 kHz 1 mHz for frequencies 100 kHz and higher	
FREQUENCY ACCURACY (Standard Instrument)	
± 5 × 10 ⁻⁶ of selected value (20° to 30°C)	
FREQUENCY STABILITY (Standard Instrument)	
± 5 × 10 ⁻⁶ per year (20° to 30°C)	

Figura 115 – Especificações do gerador HP3325A

Model 8663A		General Information
<i>Table 1-1. Specifications (1 of 4)</i>		
Electrical Characteristics	Performance Limits	Conditions
FREQUENCY		
Range	100 kHz to 2560 MHz 2559.999996 MHz	
Resolution	0.1 Hz 0.2 Hz 0.4 Hz	100 kHz to 640 MHz 640 MHz to 1280 MHz 1280 MHz to 2560 MHz
Accuracy and Stability	Same as reference oscillator	
Internal Reference Oscillator: ¹		
Frequency	10 MHz	
Aging Rate	$5 \times 10^{-10}/\text{day}$	After ten day warm-up (typically 24 hours in normal operating environment)

Figura 116 – Especificações do gerador HP8663A

Quando operando com base de tempo externa fornecida pelo padrão de referência do LPTF, a característica de frequência no longo-prazo é determinada por este padrão. Com relação à exatidão de frequência, a resolução desses equipamentos é o determinante da incerteza.

Para o HP3325A, utilizando-se distribuição retangular, tem-se:

a) Resolução de 1 μHz para frequências < 100 kHz;

- Em 200 Hz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (1 \mu\text{Hz} / 200 \text{ Hz}) / \sqrt{3} \approx \pm 5 \times 10^{-9} / \sqrt{3} \approx \pm 2,88 \times 10^{-9} \quad (7.5)$$

- Em 99,999999999 kHz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (1 \mu\text{Hz} / 99,999999999 \text{ kHz}) / \sqrt{3} \approx \pm 1 \times 10^{-11} / \sqrt{3} \approx \pm 5,7 \times 10^{-12} \quad (7.6)$$

b) Resolução de 1 mHz para frequências. ≥ 100 kHz (até 60999999,999 Hz).

- Em 100 kHz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (1 \text{ mHz} / 100 \text{ kHz}) / \sqrt{3} \approx \pm 1 \times 10^{-8} / \sqrt{3} \approx \pm 5,7 \times 10^{-9} \quad (7.7)$$

- Em 60999999,999 Hz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (1 \text{ mHz} / 60999999,999 \text{ Hz}) / \sqrt{3} \approx \pm 1,6 \times 10^{-11} / \sqrt{3} \approx \pm 1 \times 10^{-11}$$

(7.8)

Para o HP8663A, tem-se:

a) Resolução de 0,1 Hz para freqüências de 100 kHz a 640 MHz;

- Em 200 MHz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (0,1 \text{ Hz} / 200 \text{ MHz}) / \sqrt{3} \approx \pm 5, \times 10^{-10} / \sqrt{3} \approx \pm 2,88 \times 10^{-10}$$

(7.9)

- Em 640 MHz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (0,1 \text{ Hz} / 640 \text{ MHz}) / \sqrt{3} \approx \pm 1,5 \times 10^{-10} / \sqrt{3} \approx \pm 9, \times 10^{-11}$$

(7.10)

b) Resolução de 0,2 Hz para freqüências de 640 MHz a 1280 MHz;

- Em 640 MHz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (0,2 \text{ Hz} / 640 \text{ MHz}) / \sqrt{3} \approx \pm 3 \times 10^{-10} / \sqrt{3} \approx \pm 1,8 \times 10^{-10}$$

(7.11)

- Em 1280 MHz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (0,2 \text{ Hz} / 1280 \text{ MHz}) / \sqrt{3} \approx \pm 1,5 \times 10^{-10} / \sqrt{3} \approx \pm 9 \times 10^{-11}$$

(7.12)

c) Resolução de 0,4 Hz para freqüências de 1280 MHz a 2560 MHz.

- Em 1280 MHz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (0,4 \text{ Hz} / 1280 \text{ MHz}) / \sqrt{3} \approx \pm 3,1 \times 10^{-10} / \sqrt{3} \approx \pm 1,8 \times 10^{-10}$$

(7.13)

- Em 2560 MHz, incerteza devido à resolução:

$$= \pm (0,4 \text{ Hz} / 2560 \text{ MHz}) / \sqrt{3} \approx \pm 1,5 \times 10^{-10} / \sqrt{3} \approx \pm 9 \times 10^{-11}$$

(7.14)

7.3.2.e.
Analizador de intervalo de tempo e freqüência - TSC5110A

O diagrama em blocos deste equipamento está ilustrado na figura 117 e o seu princípio de funcionamento é o método de diferença de tempo com duplo misturador apresentado na seção 3.3.c.

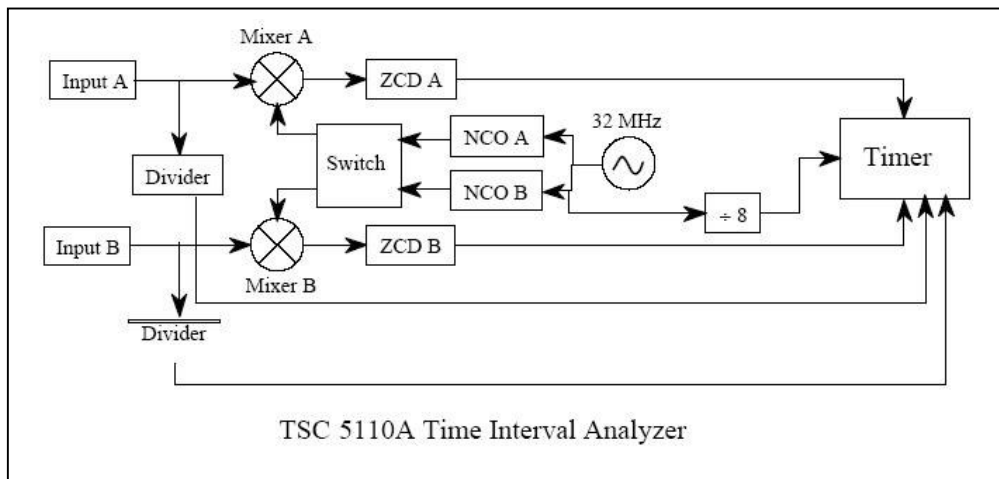


Figura 117 – Diagrama em blocos do Analizador de Intervalo de tempo e freqüência - Modelo TSC5110A.

Para caracterizar a incerteza de medição associada a este instrumento foi utilizada a configuração ilustrada pela figura 118, aplicando-se o mesmo sinal aos dois canais do TSC5110A.

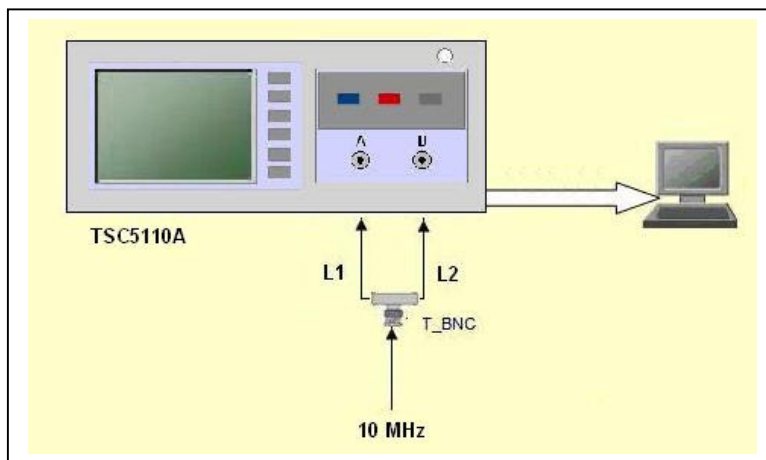


Figura 118 – Caracterização de incerteza de medição do TSC5110A.

Neste sistema, o TSC5110A mede a diferença de fase entre os sinais aplicados aos canais A e B, fornecendo a cada segundo este valor para registro no computador. Após doze dias de medições (MJD54266 a MJD54277 – 23/06/2007), os dados foram compilados, obtendo-se a tabela cujo extrato está na figura 119 e seu correspondente diagrama desvio de Allan na figura 120.

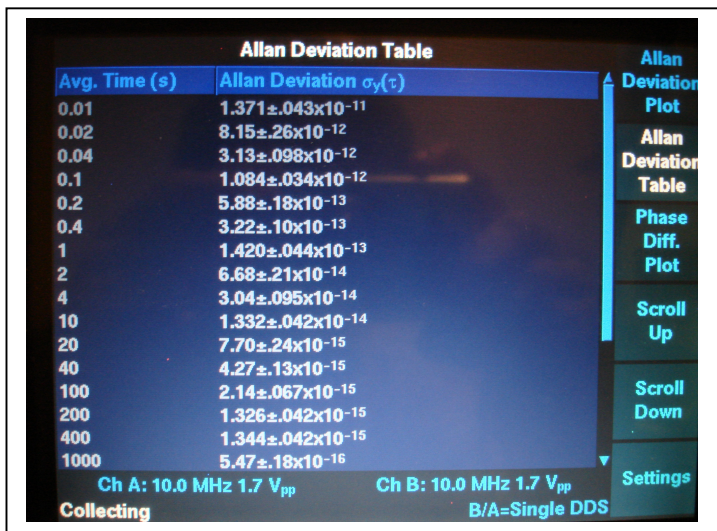


Figura 119 – Tela com a tabela desvio de Allan associada ao TSC5110A.

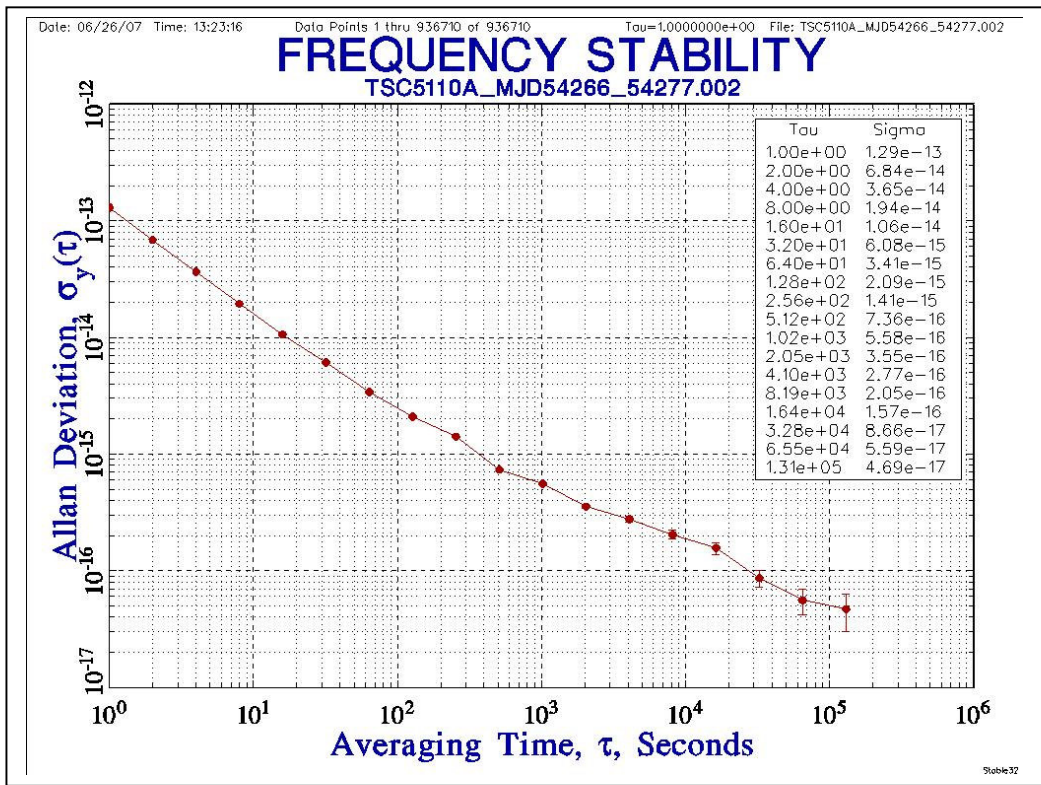


Figura 120 – Desvio de Allan associado à incerteza de medição do TSC5110A.

**7.3.2.f.
Equipamento – CRONOMED**

Este equipamento foi projetado e construído pela DSHO e destinado à calibração de cronômetros e temporizadores e está apresentado na figura 121 e representado na figura 122.

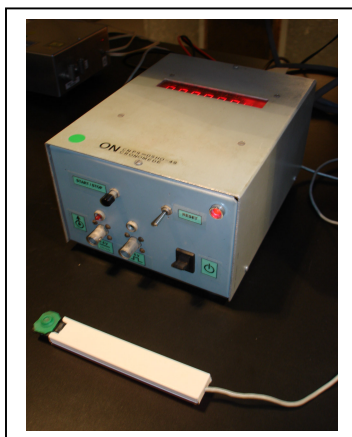


Figura 121 – Equipamento CRONOMED DSHO-49.

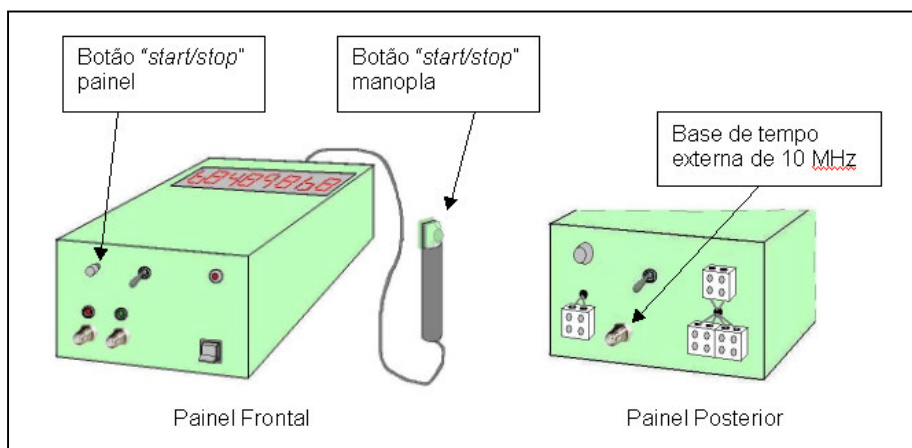


Figura 122 – Painéis CRONOMED DSHO-49.

Em função da resolução, a maioria dos cronômetros é da categoria de décimos ou centésimos de segundo, havendo também de segundos e de milésimos de segundo. Para atender a calibração de cronômetros que tenham resolução de milésimos de segundo, o CRONOMED DSHO-49 dispõe de um mostrador de 8 dígitos que permite resolução de 0,1 ms.

O procedimento de calibração é basicamente o seguinte:

- tendo-se escolhido o intervalo de medição a ser calibrado, para se iniciar a medição, deve-se posicionar a manopla de disparo do CRONOMED sobre o botão “start / stop” do cronômetro e pressioná-la, conforme figura 123.

Monitorando o intervalo de tempo decorrido até atingir o valor escolhido, pressiona-se novamente a manopla contra o botão de controle do cronômetro para finalizar a medição do intervalo de tempo considerado.

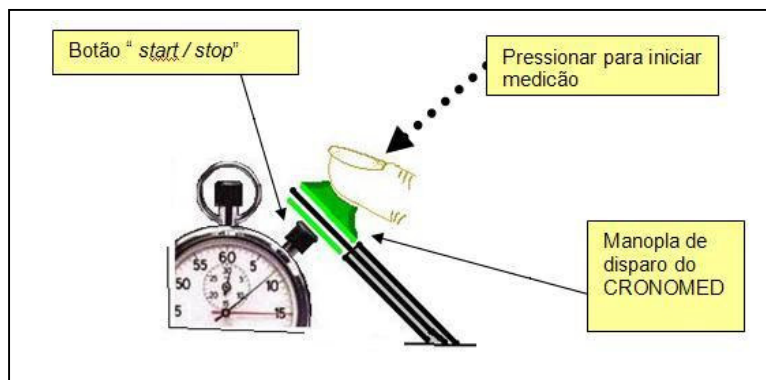


Figura 123 – disparo/parada durante medição usando CRONOMED DSHO-49.

Anota-se o valor obtido no cronômetro e o valor obtido no mostrador do CRONOMED. Para cada intervalo de medição, são realizadas 5 medições consecutivas.

No caso de dispositivos temporizadores e contadores de tempo que operam por meio de conexões externas, eles são interligados ao CRONOMED nos terminais do seu painel posterior, conforme ilustração da figura 123. O processo de medição é o mesmo só que o “start/stop” é realizado pelo botão do painel frontal.

A base de tempo utilizada pelo CRONOMED é um sinal de 10 MHz gerado a partir do atual padrão de referência T130. Tendo em vista que o T130 é um padrão de frequência de feixe de césio, o valor da incerteza de medição associada será determinado pelo CRONOMED e pelo dispositivo sob calibração.

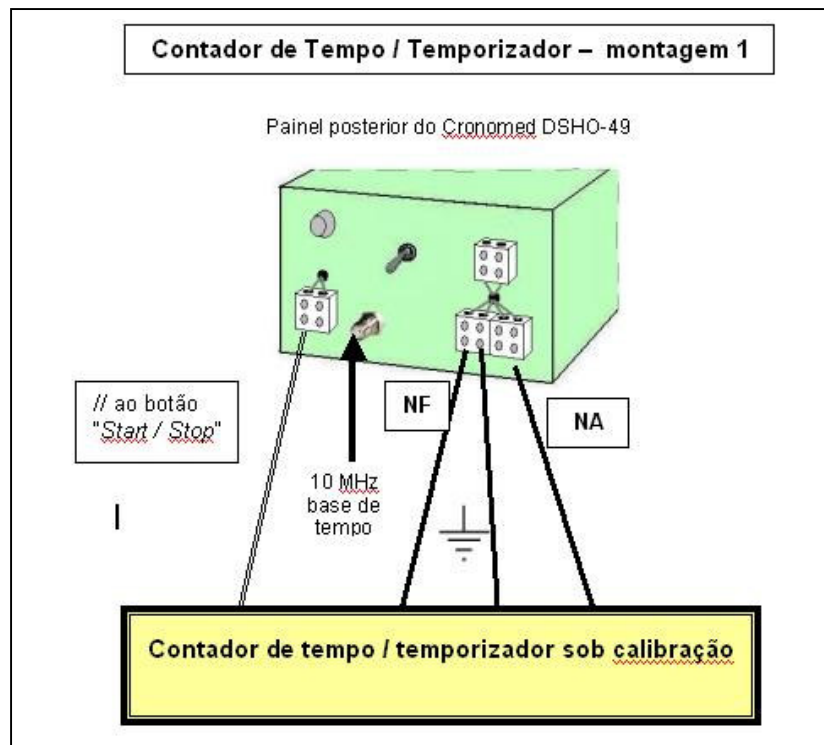


Figura 124 – Sistema para calibração de temporizadores.

A contribuição maior do CRONOMED seria por retardo no disparo e na parada da medição. Considerando-se que o meio de *start* é o mesmo meio de *stop*, uma contribuição anularia a outra e a incerteza ficaria restrita só ao dispositivo sob calibração. Porém, foi feita uma reavaliação destes retardos de tempo no disparo e na parada para se determinar se realmente se cancelam e será apresentada a seguir, para confirmar-se ou não esta premissa.

A montagem utilizada para esse teste foi a da figura 125.

O contador de intervalo de tempo é o STANFORD Mod. SR-620 operando com base de tempo externa conectada ao mesmo sinal de 10 MHz utilizado no CRONOMED. O comando *start/stop* do painel está em paralelo com o da manopla e possuem uma conexão de saída no painel posterior que é utilizada para disparar o canal A do contador, além de disparar o próprio circuito interno do CRONOMED. Quando o circuito interno de contagem do CRONOMED é acionado, sobe juntamente um nível de +5 V no painel frontal que é utilizado para disparar o canal B do contador de intervalo de tempo, parando a contagem do mesmo. Assim, mede-se o retardo intrínseco de *start/stop* do CRONOMED.

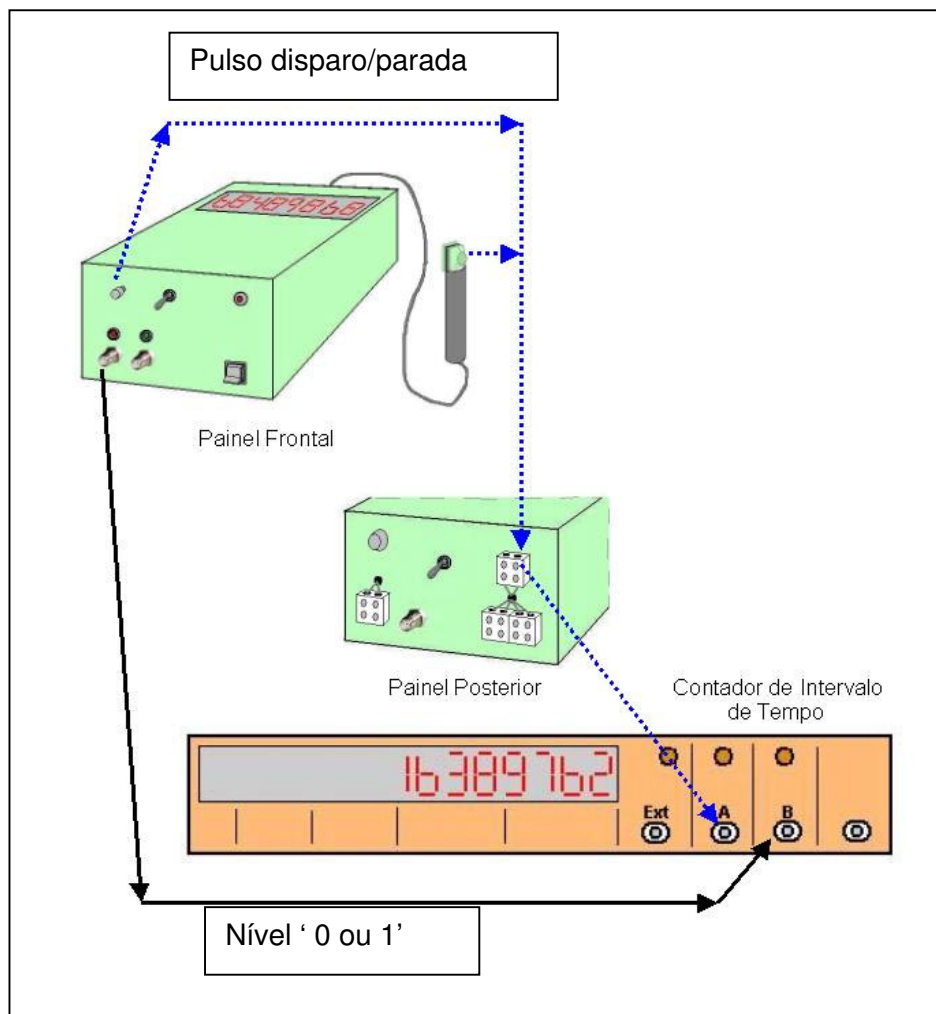


Figura 125 – Sistema para medição retardos *start/stop* do CRONOMET DSHO-49.

A partir dos valores obtidos para os comandos *start/stop* via painel frontal e via manopla, foi elaborada uma planilha eletrônica. A figura 126 apresenta um extrato com os resultados obtidos.

Esta planilha apresenta onze medições dos retardos referentes a *start* e *stop*, tanto para o disparo via botão do painel frontal quanto via manopla.

Calculou-se a média dos retardos e a respectivos desvios padrão da média e a diferença média entre *start/stop*. Assim, obteve-se:

a) para *start/stop* via painel:

- diferença média entre *start* e *stop*: $9,35 \text{ ns} \pm 1,40 \text{ ns}$ com nível de confiança de 95,45% (fator $k=2,2$ para 15 graus de liberdade efetiva obtidos por meio da equação de Welch-Satterhwaite, eq.6.11);

Contador STANFORD SR620: Níveis de Trigger para Retardo START: a) Canal A (-), nível = +3,50 V ; b) Canal B (+), nível = +1,00 V Níveis de Trigger para Retardo STOP: a) Canal A (-), nível = +3,50 V ; b) Canal B (-), nível = +3,50 V					
Usando botão do Painel			Usando botão da Manopla		
Medição	Retardo START (ns) (Leitura no Contador)	Retardo STOP (ns) (Leitura no Contador)	Medição	Retardo START (ms) (Leitura no Contador)	Retardo STOP (ms) (Leitura no Contador)
1	519,7780	529,6600	1	0,3065	0,3160
2	521,0640	530,6560	2	0,3598	0,2084
3	520,0470	529,7150	3	0,2653	0,2212
4	517,4240	528,9470	4	0,2442	0,5696
5	521,4300	527,8270	5	0,2195	0,1638
6	521,7800	529,8480	6	0,2723	0,4649
7	517,3860	527,5530	7	0,5843	0,6467
8	519,0670	528,7430	8	0,2766	0,5416
9	523,1550	530,4140	9	0,5856	0,6935
10	518,7770	528,2060	10	0,3090	0,3052
11	518,3540	529,5380	11	0,2870	0,8565
Médias:	519,8420 ns	529,1915 ns	Médias:	0,3373 ms	0,4534 ms
DesvPad da Média:	0,56 ns	0,31 ns	DesvPad da Média:	0,04 ms	0,07 ms
Diferença Média entre START e STOP	9,35 ns		Diferença Média entre START e STOP	0,12 ms	
Incerteza Combinada:	0,64 ns		Incerteza Combinada:	0,08 ms	
Graus Liberd. Efetiva.:	15,54		Graus Liberd. Efetiva.:	15,73	
Fator Abrangência:	2,2		Fator Abrangência:	2,2	
Incerteza Expandida:	1,40 ns		Incerteza Expandida:	0,17 ms	

Figura 126 – Planilha com resultados das medições dos retardos *start/stop* do CRONOMETRO DSHO-49.

b) para *start/stop* via manopla:

- diferença média entre *start* e *stop* de 0,12 ms ± 0,17 ms com nível de confiança de 95,45% (fator k=2,2 para 15 graus de liberdade efetiva obtidos por meio da equação de Welch-Satterhwaite, eq.6.11);

Portanto, identificou-se haver uma incerteza muito maior ao se utilizar o disparo/parada via manopla que via comando no painel frontal. Isto se deve ao tipo de interruptor utilizado na manopla. Por ser do “tipo membrana” não apresenta um bom curto-circuito ao ser pressionado. Essas variações de resistência de curto refletem-se nesses resultados e estão ilustradas nas figuras 127, 128, 129 e 130, onde o sinal de cor amarela corresponde ao sinal de *start/stop* e o sinal verde é o nível de + 5 V que é ativado/desativado.

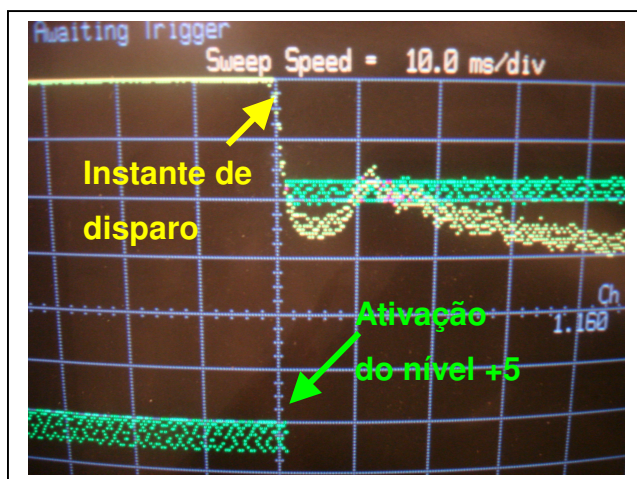


Figura 127 – Exemplo 1 do retardo *start* da manopla do CRONOMED DSHO-49.



Figura 128 – Exemplo 2 do retardo *start* da manopla do CRONOMED DSHO-49.

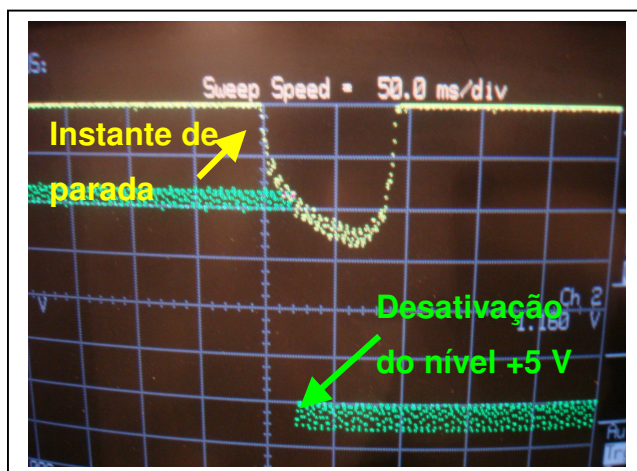


Figura 129 – Exemplo 1 do retardo *stop* da manopla do CRONOMED DSHO-49.

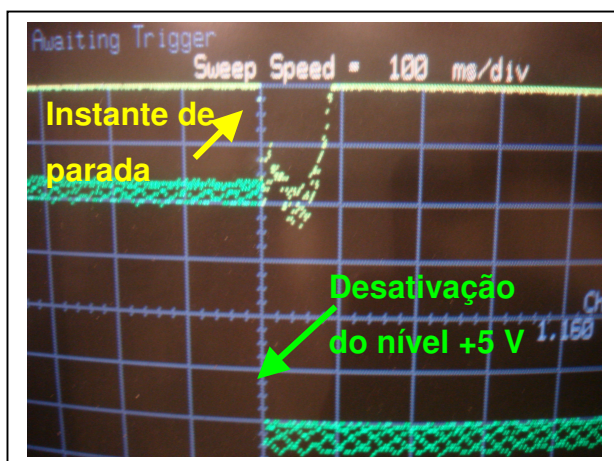


Figura 130 – Exemplo 2 do retardo *stop* da manopla do CRONOMED DSHO-49.

No caso do *start/stop* via comando do painel, pode-se observar pelas figuras 130 e 131 que o curto-circuito é eficiente, obtendo-se uma forma-de-onda quadrada nos instantes de disparo/parada e com isso uma diferença média entre o *start* e o *stop* em torno de nanossegundos.

Neste caso, a incerteza do CRONOMED fica determinada por sua resolução de 0,1 ms.

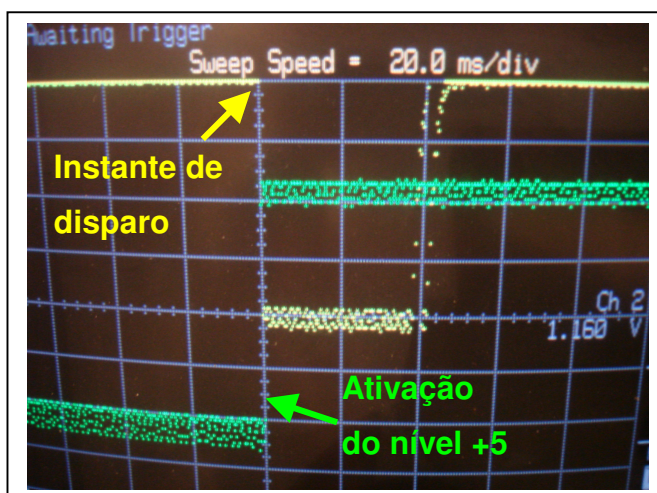


Figura 131 – Exemplo do retardo *start* do painel do CRONOMED DSHO-49.

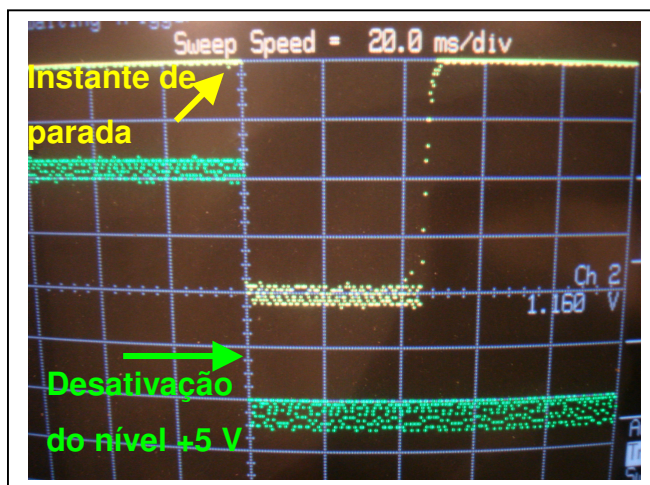


Figura 132 – Exemplo do retardo *stop* do painel do CRONOMET DSHO-49.

Para eliminar esta diferença operacional entre o *start/stop* via manopla e o *start/stop* via painel, passou-se a utilizar outro tipo de interruptor na manopla. Com isto, obteve-se resultado análogo ao *start/stop* via painel, conforme ilustrado pela figura 133 e com diferença média entre *start* e *stop* de 37,01 ns, gerando uma incerteza expandida de $\pm 107,60$ ns com nível de confiança de 95,45% (fator $k=2,1$ para 19 graus de liberdade efetiva obtidos por meio da equação de Welch-Satterhwaite, eq.6.11);

Usando botão da Manopla			
Medição	Retardo START (ns) (Leitura no Contador)		Retardo STOP (ns) (Leitura no Contador)
1	617,3500		893,7800
2	798,8300		778,8300
3	608,6200		844,7500
4	729,5000		848,1500
5	741,6200		812,3600
6	946,8300		604,5900
7	701,9900		695,7900
8	961,9400		785,2400
9	733,8000		694,3200
10	614,6100		913,5200
11	610,7900		601,7000
	Médias: 733,2618 ns		770,2755 ns
	DesvPad da Média: 38,29 ns		32,56 ns
	Diferença Média entre START e STOP		37,01 ns
	Incerteza Combinada:		50,27 ns
	Graus Liber d. Efetiva.:	19,50	
	Fator Abrangência:	2,1	
	Incerteza Expandida:	107,60 ns	

Figura 133 – Planilha medições dos retardos *start/stop* via manopla com novo disparador.

7.3.2.g. Equipamento – TACOMEDE

Este equipamento foi projetado e construído pela DSHO e destina-se à calibração de tacômetros digitais e está ilustrado na figura 134. Basicamente, é um conversor eletro-óptico.



Figura 134 – TACOMEDE DSHO-51.

Para permitir sua calibração, é utilizado o equipamento CALTACOMEDE DSHO-6 ilustrado na figura 135.



Figura 135 – CALTACOMEDE DSHO-61.

O princípio de funcionamento está ilustrado na figura 136. Um sinal onda quadrada é gerado por um sintetizador / gerador de função que opera com base de tempo externa proveniente do padrão de referência. Este sinal é aplicado ao TACOMEDE que transforma este sinal elétrico em um sinal luminoso e fornecido por um dos cinco LEDs (diodos emissores de luz) que pode ser escolhido por uma chave no painel frontal.

Para calibrar um tacômetro digital, o sensor óptico do tacômetro é dirigido ao LED selecionado.

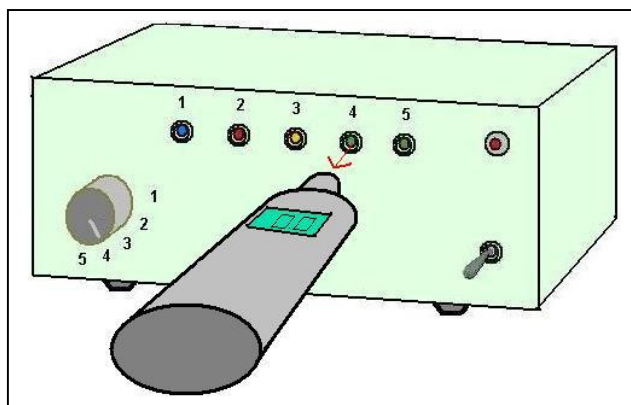


Figura 136 – Calibração de um tacômetro digital.

Uma frequência de 1 Hz do sintetizador corresponde a 60 RPM (rotações por minuto).

Para calibrar o TACOMEDE, é utilizado o CALTACOMEDE. Consiste em alinhar o foto-sensor com o emissor selecionado no TACOMEDE, conforme ilustrado pela figura 137, e o CALTACOMEDE irá fornecer um sinal elétrico onda quadrada de mesma frequência que o gerado pelo sintetizador.

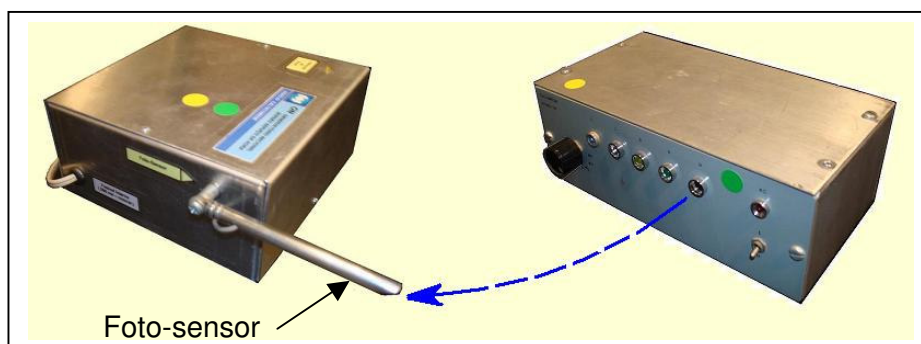


Figura 137 – Calibração do TACOMEDE.

Este sinal é aplicado a um contador (operando com base de tempo externa proveniente do padrão de referência e também aplicada ao sintetizador), conforme ilustração da figura 138.

Então, seleciona-se a frequência do sintetizador para os diversos valores em Hz correspondentes aos valores usuais em RPM da faixa operacional do tacômetro. Assim, obtem-se correspondentes medidas no contador, permitindo determinar-se a incerteza de medição do sistema. A figura 139 ilustra um extrato dessas medidas já formatadas em planilha eletrônica.

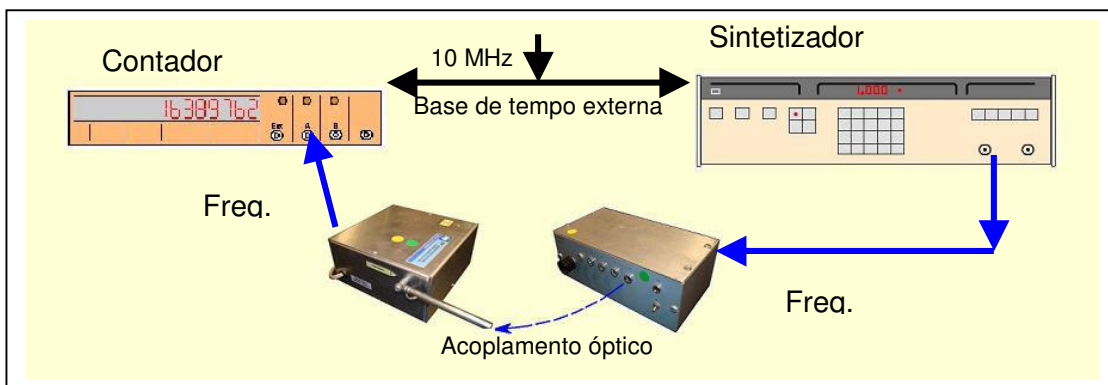


Figura 138 – Sistema de Calibração do TACOMEDE.

O tacômetro digital sob calibração apresenta resolução de 0,1 rpm para valor menor ou igual a 600 rpm e resolução de 1 rpm para valor acima, com faixa operacional até 99999 rpm. Para esses dois valores de faixa, considerando-se uma distribuição de probabilidade retangular, a resolução do tacômetro contribui com os seguintes valores de incerteza padrão:

i) para 600 rpm $\rightarrow \pm(1,6 \times 10^{-2} / \sqrt{3}) \% \text{ ou } \pm(1,6 \times 10^{-4} / \sqrt{3}) \quad (7.15)$

ii) para 99999 rpm $\rightarrow \pm(1,6 \times 10^{-3} / \sqrt{3}) \% \text{ ou } \pm(1,6 \times 10^{-5} / \sqrt{3}) \quad (7.16)$

A base de tempo externa é proveniente do padrão de feixe de césio T130, sendo aplicada ao sintetizador e ao contador, e não tem influência sobre as medições que são realizadas nas calibrações de tacômetro óptico pois o padrão de feixe de césio apresenta a seguinte estabilidade de frequência das saídas 5 MHz e 10 MHz para $\tau = 10^{-2} \text{ s}$: $\leq 7,5 \times 10^{-11}$. Portanto, contribui com uma incerteza pelo menos 10^6 vezes menor que a associada à resolução do tacômetro e não tem influência sobre o valor final da incerteza combinada.

A partir dos dados obtidos e ilustrados pela figura 139, obteve-se as incertezas indicadas na figura 140 e que correspondem à contribuição de incerteza de medição associada ao sistema ilustrado pela figura 138.

FIRMA:	DSHO				
Instrumento:	Conjunto TACOMEDE / CALTACOMEDE n.pat.01				
freq. (Hz)	0,15	0,2	0,4	0,6	0,8
RPM equivalente	9	12	24	36	48
	0,150014	0,200001	0,400010	0,599994	0,800004
	0,150002	0,200003	0,399998	0,600000	0,800002
freq. (Hz)	0,149983	0,199991	0,399967	0,600002	0,799993
medidas	0,149992	0,200000	0,400000	0,599993	0,799985
	0,150001	0,200003	0,400012	0,599999	0,800003
Média	0,15	0,20	0,40	0,60	0,80
D.P Média	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Incert.Comb.	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Grav Lib.Eff.	4	4	4	4	4
k	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Incert. Exp.	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

freq. (Hz)	1000	1100	1200	1300	1400
RPM equivalente	60000	66000	72000	78000	84000
	1000,000082	1099,99998	1200,00017	1300,00014	1399,99997
	999,999998	1100,00005	1199,99994	1299,99992	1400,00016
freq. (Hz)	1000,000036	1099,99983	1200,00000	1300,00003	1399,99985
medidas	999,999919	1099,99994	1200,00003	1299,99997	1400,00011
	1000,000088	1100,00017	1199,99999	1300,00007	1400,00012
Média	1000,00	1100,00	1200,00	1300,00	1400,00
D.P Média	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001
Incert.Comb.	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001
Grav Lib.Eff.	4	4	4	4	4
k	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Incert. Exp.	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002

Figura 139 – Incerteza de medição do sistema de calibração do TACOMEDE.

Assim, a incerteza de medição total do tacômetro é composta pelas seguintes parcelas:

- uma parcela referente à dispersão das medidas obtidas durante a medição com o tacômetro sob calibração;
- uma parcela referente à incerteza de medição do sistema utilizado;
- uma parcela referente à incerteza associada à resolução do tacômetro.

A partir dos valores que foram determinados, pode-se desprezar a contribuição da parcela relativa à incerteza de medição do sistema utilizado, obtendo-se uma incerteza combinada igual a:

$$u = \sqrt{\left(\text{Desvio Padrão das Médias das Medidas} \right)^2 + \left(\text{resolução tacômetro} \right)^2 / 3} \tag{7.17}$$

FIRMA:		DSHO			
Instrumento:		Conjunto TACOMEDE / CALTACOMEDE n.pat.01			
Frequência Ref.	Correção	Incerteza Expandida	Fator de Abrangência	Grau de Liberdade Efetivo	Incerteza Expandida
(Hz)	(Hz)	(±Hz)	k		(±Hz/Hz)
0,15	0,0	0,000	2,9	4	9,95E-05
0,2	0,0	0,000	2,9	4	3,20E-05
0,4	0,0	0,000	2,9	4	5,79E-05
0,6	0,0	0,000	2,9	4	8,37E-06
0,8	0,0	0,000	2,9	4	1,32E-05
1	0,0	0,000	2,9	4	5,32E-05
2	0,0	0,000	2,9	4	2,22E-05
4	0,0	0,000	2,9	4	8,62E-06
6	0,0	0,000	2,9	4	8,19E-06
8	0,0	0,000	2,9	4	5,01E-06
10	0,0	0,000	2,9	4	5,07E-06
20	0,0	0,000	2,9	4	5,94E-06
40	0,0	0,000	2,9	4	1,15E-06
60	0,0	0,000	2,9	4	1,15E-06
80	0,0	0,000	2,9	4	1,00E-06
100	0,0	0,000	2,9	4	6,94E-07
200	0,0	0,000	2,9	4	4,27E-07
400	0,0	0,000	2,9	4	1,69E-07
600	0,0	0,000	2,9	4	1,36E-07
800	0,0	0,000	2,9	4	6,70E-08
1000	0,0	0,000	2,9	4	9,18E-08
1100	0,0	0,000	2,9	4	1,48E-07
1200	0,0	0,000	2,9	4	8,94E-08
1300	0,0	0,000	2,9	4	8,52E-08
1400	0,0	0,000	2,9	4	1,17E-07
1500	0,0	0,003	2,9	4	2,10E-06
1600	0,0	0,005	2,9	4	3,28E-06
1650	-0,2	0,570	2,9	4	3,45E-04
1665	0,0	0,007	2,9	4	4,15E-06
1666,5	0,0	0,007	2,9	4	4,47E-06

Figura 140 – Incerteza de medição associada ao sistema de calibração do TACOMEDE.

7.3.2.h. Equipamento – AUTOMED2

Este equipamento foi projetado e construído pela DSHO e destina-se à medição de sinais 1 PPS e está representado na figura 141. É composto de uma unidade multiplexadora de sinais, de um contador de intervalo de tempo e de um computador de controle.

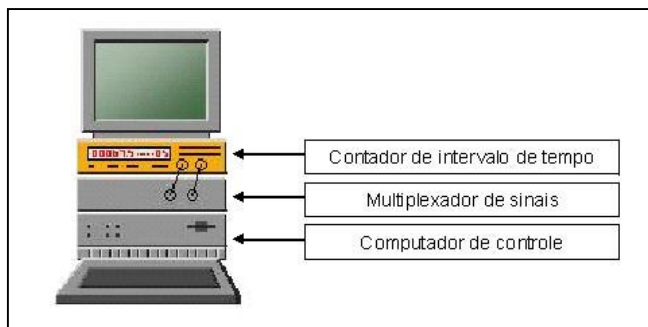


Figura 141 – Sistema AUTOMED2.

O princípio de operação é o seguinte:

- a unidade multiplexadora tem vários canais de entrada para recebimento de diversos sinais de 1 PPS e os quais podem ser selecionados para serem dirigidos ao canal A e ao canal B do contador de intervalo de tempo. Esta seleção e controle são executados pelo computador que expõe na tela as diferenças de tempo entre os sinais de 1 PPS medidas pelo contador.

Para caracterizar a incerteza de medição deste equipamento, foi utilizada a configuração representada na figura 142, onde o sinal 1 PPS é aplicado em ambos os canais (A e B) do multiplexador por meio de dois cabos (L1 e L2) com comprimentos aproximadamente iguais e curtos (50 cm de comprimento). O valor obtido para a diferença de tempo entre o pulso que chega ao Canal A e o que chega ao Canal B é a incerteza de medição do sistema.

Nesta configuração do AUTOMED2, o Canal A é designado Canal 126 e o Canal B é designado Canal 127. Foram realizadas medições de minuto em minuto durante sete dias (de MJD54266 a MJD54272).

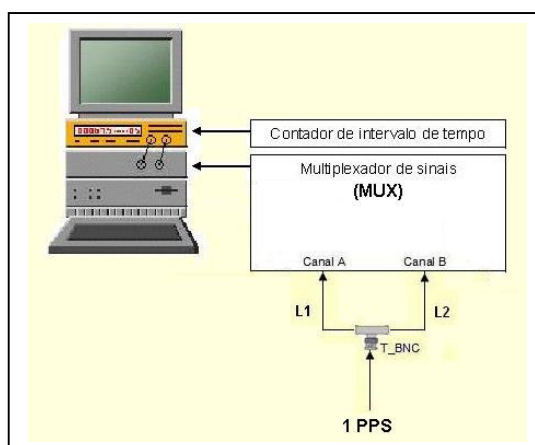


Figura 142 – Configuração para caracterização da incerteza de medição do sistema AUTOMED2.

A figura 143 apresenta um extrato destas medições e os seguintes resultados:

- i. o desvio de Allan calculado para o intervalo de 1 hora: $3,89 \times 10^{-14}$ com 151 graus de liberdade;
- ii. desvio padrão de $\Delta(s) \cong 97$ ps e incerteza expandida $\cong 194$ ps.

ON OBSERVATÓRIO NACIONAL				DSHO Divisão Serviço da Hora							
Data-hora	h	min	MJD	canal126	canal127	canal126 (µs)	canal126 (µs)	Δ (µs)	Δ (s)	Δf/f = Δt/T	(x _{i+1} -x _i) ²
15/6/07 17:04	17	4	54266,71111	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537177	-9,537096	-0,000081	-8,10E-11	-4,75E-14	
15/6/07 18:04	18	4	54266,75278	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537229	-9,537080	-0,000149	-1,49E-10	-6,11E-14	1,85E-28
15/6/07 19:04	19	4	54266,79444	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537210	-9,537131	-0,000079	-7,90E-11	4,22E-14	1,07E-26
15/6/07 20:04	20	4	54266,83611	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537438	-9,537429	-0,000009	-9,00E-12	-8,61E-15	2,58E-27
15/6/07 21:04	21	4	54266,87778	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538354	-9,538354	-0,000135	-1,35E-10	-4,50E-14	1,32E-27
15/6/07 22:04	22	4	54266,91944	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538455	-9,538300	-0,000155	-1,55E-10	-4,22E-14	7,72E-30
15/6/07 23:04	23	4	54266,96111	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538468	-9,538365	-0,000103	-1,03E-10	1,39E-15	1,90E-27
16/6/07 0:04	0	4	54267,00278	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538485	-9,538444	-0,000041	-4,10E-11	5,11E-14	2,47E-27
16/6/07 1:04	1	4	54267,04444	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538311	-9,538194	-0,000117	-1,17E-10	8,33E-15	1,83E-27
16/6/07 2:04	2	4	54267,08611	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538515	-9,538186	-0,000329	-3,29E-10	-9,19E-14	1,01E-26
16/6/07 3:04	3	4	54267,12778	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538458	-9,538251	-0,000207	-2,07E-10	1,33E-14	1,11E-26
16/6/07 4:04	4	4	54267,16944	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538417	-9,538232	-0,000185	-1,85E-10	-3,19E-14	2,05E-27
16/6/07 5:04	5	4	54267,21111	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538428	-9,538384	-0,000044	-4,40E-11	3,83E-14	4,94E-27
16/6/07 6:04	6	4	54267,25278	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538496	-9,538414	-0,000082	-8,20E-11	1,42E-14	5,84E-28
16/6/07 7:04	7	4	54267,29444	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538531	-9,538338	-0,000193	-1,93E-10		
16/6/07 8:04	8	4	54267,33611	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538449	-9,538360	-0,000089	-8,90E-11		
16/6/07 9:04	9	4	54267,37778	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538496	-9,538496				
16/6/07 10:04	10	4	54267,41944	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538496	-9,538496				
16/6/07 11:04	11	4	54267,46111	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538496	-9,538496				
16/6/07 12:04	12	4	54267,50278	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538496	-9,538496				
16/6/07 13:04	13	4	54267,54444	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538496	-9,538496				
16/6/07 14:04	14	4	54267,58611	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538496	-9,538496				
21/6/07 10:04	10	4	54272,41944	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,536708	-9,536608	-0,000100	-1,00E-10	-7,67E-14	6,71E-27
21/6/07 11:04	11	4	54272,46111	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,536830	-9,536773	-0,000057	-5,70E-11	1,31E-14	8,05E-27
21/6/07 12:04	12	4	54272,50278	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,536993	-9,536936	-0,000057	-5,70E-11	0,00E+00	1,70E-28
21/6/07 13:04	13	4	54272,54444	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,536963	-9,536903	-0,000060	-6,00E-11	3,39E-14	1,15E-27
21/6/07 14:04	14	4	54272,58611	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,536957	-9,536982	0,000025	2,50E-11	9,17E-15	6,11E-28
21/6/07 15:04	15	4	54272,62778	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537014	-9,536960	-0,000054	-5,40E-11	2,14E-14	1,49E-28
21/6/07 16:04	16	4	54272,66944	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537131	-9,537028	-0,000103	-1,03E-10	-8,33E-16	4,94E-28
21/6/07 17:04	17	4	54272,71111	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537147	-9,537128	-0,000019	-1,90E-11	4,22E-14	1,85E-27
21/6/07 18:04	18	4	54272,75278	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537155	-9,537123	-0,000032	-3,20E-11	1,67E-14	6,53E-28
21/6/07 19:04	19	4	54272,79444	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537356	-9,537180	-0,000176	-1,76E-10	-4,50E-14	3,80E-27
21/6/07 20:04	20	4	54272,83611	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,537329	-9,537147	-0,000182	-1,82E-10	2,78E-15	2,28E-27
21/6/07 21:04	21	4	54272,87778	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538213	-9,538156	-0,000057	-5,70E-11	-3,06E-15	3,40E-29
21/6/07 22:04	22	4	54272,91944	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538409	-9,538243	-0,000166	-1,66E-10	-8,97E-14	7,51E-27
21/6/07 23:04	23	4	54272,96111	-9,54E+05	-9,54E+05	-9,538219	-9,538216	-0,000003	-3,00E-12	4,08E-14	1,70E-26
Desvio Padrão de Δ(s) = 9,66E-11 s ≅ 97 ps								Desvio de Allan (τ = 1 h) = 3,89E-14			
Incerteza expandida = 2x97 ps = 194 ps											
								151 Graus de liberdade			

Figura 143 – Extrato das medições para caracterização da incerteza de medição do sistema AUTOMED2.

7.3.2.i.**Equipamento comparador de fase e registrador**

Quanto ao comparador de fase e registrador utilizados para medições de TF, não será detalhado aqui pois o fato de utilizar registro gráfico em papel milimetrado limita sua capacidade de medição. Neste sistema de teste, a escala vertical que indica o desvio de fase tem sua resolução relativa de leitura limitada a $1E-02$.

Portanto, comparando com os outros sistemas de medição disponíveis, fornece uma incerteza de medição muito maior.

