

## Desenvolvimentos Recentes para a Implantação de Procedimentos de Calibrações de Estações Totais

**Prof. Pedro Luis Faggion Msc. <sup>1</sup>**  
**Rafael Correia de Freitas <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Geomática  
 UFPR – Setor de Ciências da Terra  
 Centro Politécnico – Caixa Postal 19001  
 Curitiba PR  
 ✉ [pedrof@geoc.ufpr.br](mailto:pedrof@geoc.ufpr.br)

<sup>2</sup> Departamento de Geologia  
 UFPR – Setor de Ciências da Terra  
 Centro Politécnico – Caixa Postal 19001  
 Curitiba PR  
 ✉ [rafael@setuva.geologia.ufpr.br](mailto:rafael@setuva.geologia.ufpr.br)

Conteúdo	
	<b>1 Introdução</b>
	<b>2 Erros na Medida Eletrônica de Distância</b>
	2.1 Erro de Frequência de Modulação
	<b>3 Determinação do Fator de Escala Utilizando Observações de Campo</b>
	3.1 A Base da Universidade Federal do Paraná:
	3.1.1 Determinação do Desnível entre os Pilares
	3.2 Determinação da Escala da Base
	3.2.3 Valores Preliminares para a Escala da Base
	3.3 Formulação Matemática Aplicada na Determinação do Fator de Escala
	<b>4 Determinação do Fator de Escala Utilizando Observações de Laboratório</b>
	4.1 Calibração da Frequência Modulada
	4.2 Calibração Realizada no LAIG
	<b>5 Resultados Preliminares</b>
	5.1 Campo
	5.2 Laboratório
	<b>6 Conclusões e Recomendações</b>
	6.1 Conclusões
	6.2 Recomendações
	<b>7 Referências Bibliográficas</b>

**Resumo :** A Vistoria e calibração de estações totais envolve aspectos relacionados com Medidor eletrônico de distância e de direções. Com relação ao medidor eletrônico de direções estão associados erros inerentes a não perpendicularidade entre os eixos e gravação do limbo entre outros. Já com relação ao medidor eletrônico de distâncias, os mais importantes são: O erro de zero, fator de escala e elementos do erro cíclico. A junção dos dois instrumentos e conseqüente formação da estação total gera outros erros, tais como: Pressão do teclado, cálculo das coordenadas a partir das observações de ângulos e distâncias e nas estações motorizadas o deslocamento relativo do instrumento realizado pelos servo motores. No presente trabalho será relatado o estágio atual da pesquisa que consiste na determinação do erro de escala (variação na frequência de medida do equipamento), dos medidores eletrônicos de distância, com observações de campo e laboratório.

**Palavras chave :** Calibração, Verificação, Estação Total

**Abstract :** The Total Station's inspection and calibration are related with electronic meters of distance and direction. Related to the direction electronic meter, the errors among others are associated with non-perpendicularity between the axes and to the limbo's recording. In the distance meter, the most important errors are: the zero mistake, the scale factor and elements of cyclical mistake. In total stations, there are still current mistakes relatives to the union of the two meters, such as: pressure in the keyboard, coordinates calculation related to measures of angles and distances and the error caused from relative movement by servant motors in motorized total stations. This work will report the current level of research in the determination of the scale factor (variation in equipment's measure frequency), in electronic distance meters, using field and laboratory observations.

**Keywords :** Calibration, Verification, Total Station

### 1 Introdução

O presente trabalho tem como objetivo determinar o erro provocado pela variação da frequência de medida dos MEDs utilizando métodos de laboratório e observações de campo.

Atualmente no Brasil somente a Universidade Federal do Paraná e Universidade de São Paulo estão aptas a realizar calibração destes instrumentos, porém baseando-se apenas em observações campo.

Segundo RUGÜER (1990) o fator de escala é progressivo podendo acrescentar um erro de 0,2 a 1ppm, nas distâncias, por ano de utilização do instrumento de medida. Tal fato, levou-nos a trabalhar no sentido de viabilizar uma metodologia para a determinação deste fator em laboratório.

A metodologia consiste em comparar a frequência nominal do equipamento, fornecida pelo fabricante e a frequência de medida, observada em laboratório através da utilização de equipamentos próprios como o Osciloscópio, Freqüencímetro e Fotodetector, os quais encontram-se disponíveis no Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica (LAIG). Já a determinação deste fator no campo baseia-se na observação sobre bases lineares Multipilares.

Para viabilizar o experimento, será necessário determinar a escala da base da fazenda Cangüirí, com um equipamento de alta precisão (TC2002), para posteriormente determinar-se o fator de escala de instrumentos de menor precisão. Este mesmo instrumento será submetido à calibração em laboratório. O fator de escala obtido pelos dois métodos devem ser iguais.

## 2 Erros na Medida Eletrônica de Distância

Nas medidas eletrônicas de distância estão envolvidos os seguintes erros (CORDINI, 1991),:

1. Erro na velocidade de propagação da onda eletromagnética;
2. Erro do índice de refração;
3. Erro provocado pela Influência das condições ambientais na onda portadora (Luz, Infravermelho);
4. Erro na medida da diferença de fase;
5. Erro na constante aditiva (Erro de zero);
6. Erro de fase ou erro cíclico;
7. Erro de frequência de modulação (tema deste seminário);

Tais erros são abordados, com propriedade em trabalhos escritos por diversos autores, tais como: (Rüeger, 1977; Gripp, 1986; Kahmen & Faig, 1988; Paciléo Netto, 1990; Rüeger, 1990; Cordini, 1991).

No presente estudo será abordado apenas o erro provocado pela variação na frequência do sinal de medida.

### 2.1 Erro de Frequência de Modulação

A maioria dos erros de frequência, são causados por variações de temperatura e desgaste no cristal oscilador. Quase a totalidade dos distanciômetros de curta distância, trabalham com osciladores que têm compensador de temperatura do tipo TCXO (temperature-compensated crystal oscillator), os quais garantem uma precisão de  $\pm 1$  ppm, quando trabalhando com temperaturas entre 0 e 50°, e uma precisão de  $\pm 3$  ppm quando trabalham em temperaturas de -20 a 50°. Nesse sistema, a compensação na temperatura é alcançada com um circuito usando capacitores sensíveis à temperatura, termistores e/ou resistores (Rüeger, 1990).

Há mais dois outros tipos de compensadores, muito menos comuns, os OCXO (Oven-controlled crystal oscillator) e os do tipo RTXO (room temperature crystal oscillator), que garantem respectivamente maior e menor precisão que os distanciômetros que usam os TCXO como base de tempo.

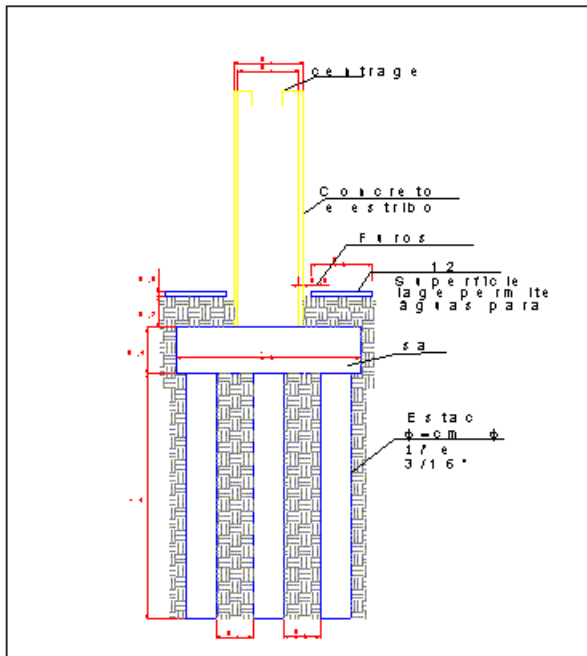
Erros de frequência ocorrem principalmente por desgaste do cristal modulador do sinal de medida, provocando um acréscimo de 0,2 a 1 ppm, na distância medida, por ano de uso para distanciômetros que usam compensadores dos tipos TCXO e OCXO respectivamente (Rüeger, 1982 e Frerking, 1978). Os erros influenciados por temperatura, também podem ser muito significativos. Por estes motivos, faz-se necessária uma calibração periódica da frequência dos instrumentos.

## 3 Determinação do Fator de Escala Utilizando Observações de Campo

### 3.1 A Base da Universidade Federal do Paraná:

Tendo em vista a necessidade de calibração dos instrumentos MED em intervalos regulares, devido às variações das constantes instrumentais com o tempo, ou também devido ao manuseio grosseiro do equipamento, construiu-se nas dependências da fazenda experimental da UFPR uma base linear multipilares constituída de sete pilares devidamente espaçados numa linha de projeção reta num plano horizontal, onde o afastamento entre seus extremos é de aproximadamente 800 m (Gripp, 1986; Rüeger 1977)

A estabilidade dos pilares é de fundamental importância, para tanto, com base em estudos geológicos da região, os mesmos foram construídos sobre uma sapata triangular apoiada em três estacas de 20 cm de diâmetro e comprimento aproximado de 4 m (Figura 01).



**Figura 01** : Estrutura dos Pilares

### 3.1.1 Determinação do Desnível entre os Pilares

O método utilizado para determinar o desnível entre os pilares foi o nivelamento geométrico de primeira ordem. Neste método, a diferença de nível entre dois pontos é determinada através da diferença de leituras feitas sobre réguas estacionadas nos pontos considerados, utilizando para isso uma luneta com eixo óptico horizontalizado. Esses equipamentos são denominados níveis de lunetas ou simplesmente níveis.

O equipamento utilizado neste trabalho foi o nível N3 da WILD, dotado de placa plano-paralela e duas miras de invar WILD centimétricas compatíveis com o nível.

A obtenção do desnível entre os pilares foi com o propósito de horizontalizar as distâncias inclinadas obtidas com os MED. Os valores encontrados encontram-se na Tabela 01.

**Tabela 01** Desníveis entre os pilares

Linha	P <sub>1</sub> – P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> – P <sub>3</sub>	P <sub>3</sub> – P <sub>4</sub>	P <sub>4</sub> – P <sub>5</sub>	P <sub>5</sub> – P <sub>6</sub>	P <sub>6</sub> – P <sub>7</sub>
Δh	-0,9244m	-2,0036m	0,6060m	0,4887m	1,4338m	0,6107m

### 3.2 Determinação da Escala da Base

A calibração de MED através de linhas base, pode ser realizado utilizando distância conhecida entre os pilares, ou seja, conhecendo a escala da base, e também sem o conhecimento destas distâncias. No caso da calibração sem o conhecimento da distância entre os pilares, somente é possível a determinação da constante aditiva ou erro de zero e uma estimativa das componentes do erro cíclico (Rüguer, 1977; Gripp, 1986; Paciléo Netto, 1990; Rüguer, 1990).

Como foi dito anteriormente, o objetivo deste trabalho é a determinação do fator de escala, assim sendo, nos deteremos a aspectos que envolvam bases lineares com escala conhecida.

Na determinação preliminar da escala da base, ou seja, considerando somente aspectos <sup>1</sup>lineares, utilizou-se uma estação total TC2002 WILD com precisão linear nominal de  $\pm (1\text{mm} + 1\text{ppm})$  ( WILD TC2002, 1994).

As distâncias, consideradas padrão, é a média de um conjunto de observações que vem sendo realizadas desde 1996 em épocas diferentes do ano procurando sempre realizar as medidas nas mais diversas condições ambientais.

### 3.2.3 Valores Preliminares para a Escala da Base

A superabundância de observações, na definição da escala, permitiu o ajustamento pelo método paramétrico, tendo em vista que é possível expressar os valores observados ajustados em função dos parâmetros ajustados (Gemael, 1994).

$$L_a = F(X_a)$$

Como o modelo é linear, não é necessário determinar os valores aproximados para os parâmetros, logo o valor ajustado é dado pela seguinte expressão.

$$AX^{(a)} = L_b + V$$

$$X^{(a)} = (A^T P A)^{-1} (A^T P L_b),$$

(equação 01) onde:

A: Coeficiente dos elementos das equações de observação;

P: Matriz dos pesos;

$L_b$ : Vetor dos valores observados;

$X^{(a)}$  = Vetor dos valores ajustados;

V : Resíduo.

A solução do sistema de equações obtido aplicando-se as observações na equação 01, é demonstrada com propriedades por Gemael (1994). Não é objetivo deste trabalho detalhar tal metodologia.

Uma consequência do ajustamento é a matriz variância-covariância dos valores ajustados. Tal matriz será utilizada na determinação dos fatores de calibração como peso.

Na tabela 02 constam as distâncias padrão para a base da Fazenda Cangüiri. Vale a pena lembrar que essas distâncias consideram apenas os aspectos lineares. A designação "M" na terceira campanha significa manha e a designação "N" significa noite.

**Tabela 02** Escala da Base da Fazenda Cangüiri

PILARES	CAMPANHAS ( M )					MÉDIA (m)	$\sigma$ (mm)
	Jun/96 TC2002	02(98) TC2002	03(00)/M TC2002	05(00)/N TC2002	05(00) Elta S10		
P1 – P2	70,869	70,868	70,869	70,868	70,869	70,8686	0,5
P1 – P3	222,789	222,789	222,789	222,788	222,790	222,789	0,7
P1 – P4	385,846	385,844	385,844	385,843	385,845	385,8444	1,1
P1 – P5	648,251	648,250	648,249	648,249	648,250	648,2498	0,8
P1 – P6	759,679	759,679	759,678	759,678	759,680	759,6788	0,8
P1 – P7	789,919	789,920	789,918	789,920	789,921	789,9196	1,1
P2 – P3	151,920	151,919	151,921	151,919	151,921	151,92	1,0
P2 – P4	314,977	314,975	314,976	314,975	314,976	314,9758	0,8
P2 – P5	577,382	577,380	577,381	577,381	577,380	577,3808	0,8
P2 – P6	688,811	688,809	688,811	688,810	688,811	688,8104	0,9
P2 – P7	719,051	719,049	719,051	719,051	719,051	719,0506	0,9
P3 – P4	163,055	163,054	163,055	163,055	163,054	163,0546	0,5
P3 – P5	425,460	425,459	425,460	425,460	425,460	425,4598	0,4
P3 – P6	536,890	536,889	536,889	536,889	536,888	536,889	0,7
P3 – P7	567,130	567,129	567,131	567,130	567,129	567,1298	0,8
P4 – P5	262,405	262,404	262,405	262,404	262,406	262,4048	0,8
P4 – P6	373,834	373,833	373,835	373,834	373,834	373,834	0,7

P4 – P7	404,074	404,074	404,074	404,075	404,075	404,0744	0,5
P5 – P6	111,429	111,429	111,429	111,429	111,429	111,429	0,0
P5 – P7	141,670	141,670	141,669	141,670	141,670	141,6698	0,4
P6 – P7	30,240	30,241	30,240	30,241	30,240	30,2404	0,5

### 3.3 Formulação Matemática Aplicada na Determinação do Fator de Escala

O modelo matemático que será aplicado para a determinação do fator de escala consta em várias publicações, entre elas (Emenike, 1982; Gripp, 1986; Pacileo Netto, 1990; Rügner, 1990). Na primeira fase do ajustamento será determinado o Erro de Zero e o Fator de Escala. Os erros de observação juntamente com os elementos do erro cíclico, serão tratados na segunda fase deste trabalho.

Sendo assim o modelo matemático que será utilizado é:

$$Dp_{ij} - do_{ij} = V_{ij} + m \cdot do_{ij} + Z_0 \text{ (equação 02)}$$

$$i = 1, 2, \dots, 6$$

$$j = 2, 3, \dots, 7, \text{ para } i < j \text{ e } i, j, \text{ onde:}$$

$m$  = Fator de Escala;

$do_{ij}$  = Distâncias medidas com o equipamento que será calibrado;

$Z_0$  = Erro de Zero;

$Dp_{ij}$  = Escala da Base;

$V_{ij}$  = Resíduo.

Aplicando a equação 02, para  $i = 1$  e  $j = 2$  chega-se a seguinte equação para o primeiro intervalo.

$$Dp_{12} - do_{12} = V_{12} + m \cdot do_{12} + Z_0 \text{ (equação 03)}$$

Sendo assim, para a configuração atual da base da UFPR, teremos um sistema com 21 equações a 2 incógnitas ( $Z_0$  e  $m$ ). O sistema de equações formado através da aplicação das observações na equação 08, foi resolvido aplicando o método paramétrico, da mesma forma que foi descrito no item 3.2.3. Tal solução, programada em linguagem FORTRAN, consta em (FAGGION, P. L., 1999)

## 4 Determinação do Fator de Escala Utilizando Observações de Laboratório

### 4.1 Calibração da Frequência Modulada

A calibração em laboratório deve seguir uma metodologia bastante rigorosa, em ambiente com controle rigoroso das condições ambientais, além de equipamentos específicos, tais como: Osciloscópio, Freqüencímetro e Fotodetector.

O laboratório onde são feitas as observações, deve ser mantido numa temperatura específica durante todo o teste. O MED deve estar ligado durante cerca de 60 minutos, em um tipo de medida específico (ex: tracking mode) e em operação contínua para que a estabilizar a freqüência. A medida é feita da seguinte forma: O MED deve estar apontado para o fotodetector, de forma que este capte o sinal da onda portadora e envie-a ao osciloscópio, que mostrará o comportamento da onda e na seqüência enviará ao freqüencímetro, para que este, por sua vez, faça uma leitura exata da freqüência do equipamento em testes. Alguns equipamentos dispõem de uma medida automática de freqüência, como é o caso da Estação Total Wild TC2002, disponível no Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica (LAIG).

Tendo o valor real da freqüência (valor medido), faz-se uma relação com o valor nominal desta (valor fornecido pelo fabricante) e através da equação 04 é possível determinar a correção da variação da freqüência em ppm:

$$C = (f_{nom} - f_{med}) / f_{med} \text{ (equação 04)}$$

ou ainda:

$$d_{corr} = d_{med} + [(f_{nom} - f_{med}) / f_{med}] \cdot d_{med} \text{ (equação 05)}, \text{ onde:}$$

$d_{corr}$  : Distância corrigida do erro de escala;

$f_{nom}$  : Freqüência nominal;

$f_{med}$  : Freqüência medida;

$d_{med}$  : Distância medida;

$C$  : Correção dada em ppm.

### 4.2 Calibração Realizada no LAIG

Para a calibração realizada com a Estação Total Leica TC403L, foram usados um fotodetector, um osciloscópio e um freqüencímetro

(Figura 02).



**Figura 02** : Conjunto de instrumentos utilizados no LAIG

## 5 Resultados Preliminares

### 5.1 Campo

Os experimentos de campo foram realizados com uma estação total TC403 *Leica*. As reduções das condições atmosféricas e a horizontalização da distância, obedeceram os mesmos critérios utilizados na determinação da escala da base.

Resolvendo o sistema de equações gerado a partir das distâncias padrão e as distâncias medidas com o equipamento sob calibração (TC403L), aplicadas na equação 02, chega-se aos seguintes valores para o Erro de Zero e Fator de Escala.

Fator de Escala = 5,56ppm  $\sigma = 0,89$  ppm  
Erro de Zero = 0,56 mm  $\sigma = 0,41$ mm

O resultado demonstra uma correção de 5,56 ppm, acima da precisão nominal do instrumento que é de (3mm + 3 ppm).

### 5.2 Laboratório

Após todos os procedimentos necessários, anteriormente descritos e uma estabilização da temperatura do laboratório em 21 C°, o resultado da frequência medida para a Estação Total Wild TC403L foi de 50,00056 MHz.

Aplicando o valor nominal de 50 MHz e o valor medido de 50,00056MHz, na equação 04 do item anterior, chega-se ao seguinte valor para a correção:

$C = ( 50 - 50,00056 ) / 50,00056$  , então:

$C = -11,4 \cdot 10^{-6}$  ou

$C = -11,4$  ppm.

Agora utilizando a equação 05, para uma determinada distância, de por exemplo 1 km, temos:

$d_{corr} = 1000000 + [(50 - 50,00056) / 50,00056] \cdot 1000000$

ou

$d_{corr} = 999988,60$  mm = 999,988 m

O mesmo procedimento aplicou-se para a estação total TC2002, utilizada como padrão na determinação da escala da base. O valor obtido para a frequência, neste caso, foi de 49,99997 MHz. Aplicando respectivamente as equações 04 e 05, chega-se aos seguintes valores para a correção em ppm relativos a uma distância de 1000m corrigida.

$C = 0,60$  ppm e  
 $d_{corr} = 1000000,6$  mm = 1000,0006 m.

## 6 Conclusões e Recomendações

### 6.1 Conclusões

O presente trabalho, encontra-se em fase inicial, com um pequeno número de observações, porém a metodologia mostrou-se eficiente evidenciando uma necessidade da calibração periódica dos instrumentos.

As pequenas variações encontradas nas distâncias entre pilares, sugere uma investigação mais profunda no sentido de se determinar tais valores com maior rigor, e mesmo verificar possíveis efeitos de recalque.

A determinação da frequência em laboratório exige um controle rigoroso das condições ambientais, bem como uma orientação bastante rigorosa entre o fotodetector e o instrumento de medida.

A diferença entre os valores fatores de escala determinados em laboratório e campo, para a TC403L, sugerem uma investigação mais

aprofunda tendo em vista que tal fato não se repetiu para a estação total TC2002.

## 6.2 Recomendações

Acrescentar as observações obtidas utilizando os dois pilares excêntricos a base linear da fazenda Cangüiri, desta forma, será possível aplicar os conceitos de Análise multivariada para detectar possíveis variações nas distâncias padrão.

Realizar mais testes na fazenda Cangüiri, com outros e com o mesmo equipamentos para determinar com maior segurança e também, verificar a repetibilidade dos fatores de calibração obtidos.

Realizar a calibração do freqüencímetro utilizado para a medida da freqüência, uma vez que o mesmo não dispõe de tal documento

Implementar a nível de laboratório e campo a metodologia para a determinação das componentes do erro cíclico.

## 7 Referências Bibliográficas

**Cordini, J.:** *Determinação do erro cíclico em distanciômetros eletrônicos*. Dissertação de mestrado, CPGCG, UFPR, 1991, 138p..

**de Freitas, S. R. C.; Medeiros, Z. F. ; Faggion, P. L.; Johansson, A.; Goncho, G. & Miranda, J. M. P.:** *Otimização dos levantamentos altimétricos de precisão*, In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, 1996, pp.: 479-488.

**Emenike, E. N.:** *On the Calibration of EDM instruments*. Australian Surveyor, Sydney, V. 31 n. 03, 1982, Pag. 175 –185.

**Emenike, E. N.:** *A Simplified approach to Accurate EDM Instruments Calibration*, Survey Review, London, V. 26, n. 204, 1982, Pag. 173 –178.

**Faggion, P. L. & de Freitas, S. R. C.:** *Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná*, In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, 1996, pp.: 494-503.

**Faggion, P. L.:** *Determinação do fator de escala em Estações Totais e "MED" utilizando observações de campo Laboratório*, Seminário II, CPGCG, Universidade Federal do Paraná, 1999, 41p.

**Frerking, M. E.:** *Crystal oscillator design and temperature compensation*, Van Nostrand-Reinhold, New York, 1978..

**Gemael, C.:** *Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas*, Editora UFPR, 1995, 319pp..

**Gripp, J. Jr.:** *Calibração de Distanciômetros Eletrônicos com medidas de campo*, Curitiba, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 1986.

**IBGE:** *Resolução - PR n°22*, Boletim de serviço, Rio de Janeiro, 1983.

**Kahmen, H. Faig, W.:** *Surveying*, New York: editora: de Gruyter, 1988, 578pp.

**Paciléio Netto, N.:** *Calibração de medidores eletrônicos de distância, construção de uma base multipilar na USP e metodologia de aferição*, Tese de doutorado, E.POLI/USP, 1990, 186p..

**Rüger, J.M.:** *Design and use of base lines for the calibration of EDM-Instruments*, Australian Survey Congress, Darwin, Australia, 1977.

**Rüger, J.M.:** *Quartz crystal oscillator and their effects on the scale stability and standardization of electronic distance meters*, Unisurv Report S-22, Scholl of Surveying, University of New South Wales, Sidnei, Australia, 1982.

**Rüger, J. M.:** *Electronic Distance Measurement*, 3th ed., Springer-Verlag, Berlin, 1990, 266p..

**WILD TC2002:** *User manual*, Heerbrugg, Suíza, 1994.