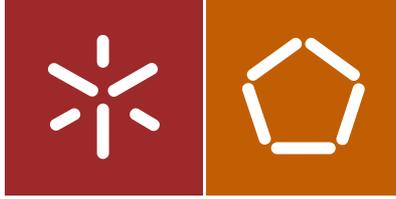




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Luís Miguel Teixeira Costa

Desenvolvimento e otimização do projeto
mecatrónico de um tribómetro rotativo
(FRICTORQ)



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Luís Miguel Teixeira Costa

Desenvolvimento e otimização do projeto
meatrónico de um tribómetro rotativo
(FRICTORQ)

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra
Professor Doutor Luís Fernando de Sousa Ferreira da
Silva

DECLARAÇÃO

Nome: Luís Miguel Teixeira Costa

Endereço a62061@alunos.uminho.pt Telefone: 912635444

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 14101731

Título da dissertação: Desenvolvimento e otimização do projeto mecatrónico de um tribómetro rotativo (FRICTORQ)

Orientador:

Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra

Professor Doutor Luís Fernando de Sousa Ferreira da Silva

Ano de conclusão: 2015

Mestrado em Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial aos professores Eurico Seabra e Luís Ferreira da Silva, pela disponibilidade, simpatia e apoio prestado durante o desenvolvimento do mesmo.

Quero também agradecer aos meus pais pelas condições que me proporcionaram e também pela motivação e compreensão que me transmitiram durante todo o percurso académico.

Um especial obrigado a todos os meus amigos que sempre me apoiaram durante estes anos, em particular ao José Gonçalves pelo auxílio durante a realização deste trabalho.

RESUMO

Esta dissertação surge da necessidade de otimização do tribómetro rotativo FricTorq, desenvolvido na Universidade do Minho. Este equipamento laboratorial tem como função medir o coeficiente de atrito em materiais flexíveis, nomeadamente tecidos.

À medida que os anos passam e com os avanços tecnológicos há uma necessidade constante de atualização e otimização dos equipamentos. O mesmo acontece com o FricTorq, que já foi desenvolvido há vários anos pelo departamento de engenharia mecânica.

Com esta dissertação pretendeu-se efetuar um estudo aprofundado de todo o *software* e *hardware* do equipamento e perceber todo o seu funcionamento. Após este estudo são identificadas as suas limitações e procuradas soluções para a resolução das mesmas.

Quanto ao *software* pretendeu-se o desenvolvimento de um novo programa para o controlo do equipamento, com mais funções e que eliminasse todas as limitações atuais. No que diz respeito ao *hardware*, foram também estudadas melhorias possíveis. Todo o projeto será desenvolvido com o intuito de reaproveitar ao máximo todos os componentes existentes de forma a minimizar os gastos.

Foram também efetuados testes para validação da nova solução. Os testes foram feitos utilizando o novo *software* e os resultados foram comparados com os obtidos com o método atual, permitindo perceber que o trabalho foi desenvolvido com sucesso.

Palavras-Chave: Otimização; *Software*; *Hardware*; Reaproveitar.

ABSTRACT

This study appears with the necessity of optimizing the rotary tribometer FricTorq, developed at the University of Minho.

This laboratory equipment has the function of measuring the coefficient of friction of flexible materials, in particular tissues.

As the years pass and the advances in technology lead to a constant need for updating and optimization of the equipments. So does the FricTorq, which has already been developed several years ago by the mechanical engineering department.

This thesis aims to make a thorough study of all the equipment's software and hardware and realize all its functioning. After, this study will identify the current limitations of the equipment and seek solutions to solve them.

It is intended to develop a new software to control the all equipment, with more functions and that repeals all the current limitations. Regarding to software, will also be considered possible improvements. The all project will be developed in order to reuse most of the components in order to keep the costs as low as possible.

In the end will be carried out tests to validate the new solution and see if the work was carried out successfully. Tests will be done using the new software and the results will be compared with what currently exists.

Keywords: Optimization; *Software*; *Hardware*; Reuse.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e motivação	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2. Estado da arte.....	5
2.1 Tribologia.....	5
2.2 História e definição de atrito.....	5
2.3 Como medir o atrito	7
2.3.1 Método linear	8
2.3.2 Método rotativo.....	14
2.4 Evoluções do FricTorq	18
2.4.1 FricTorq I.....	19
2.4.2 FricTorq II	21
2.4.3 FricTorq III	23
2.4.4 FricTorq IV	24
2.5 Sistema de processamento e aquisição de dados.....	26
2.5.1 LabVIEW®.....	26
2.5.2 <i>Hardware</i> para aquisição de dados	27
2.5.3 Placa National Instruments	28
2.5.4 Placa Arduíno.....	32
2.5.5 Arduíno vs Placa NI	33
2.5.6 Interface entre LabVIEW® e Arduíno	34
3. Projeto de novo sistema de controlo e monitorização para o FricTorq	35

3.1	Analise do sistema existente	35
3.1.1	Software.....	35
3.1.2	Limitações.....	39
3.1.3	Hardware.....	39
3.1.4	Limitações.....	44
3.2	Melhorias do <i>Hardware</i>	45
3.2.1	Driver do motor.....	45
3.2.2	Sensor de temperatura e humidade relativa	46
3.3	Apresentação e discussão do novo sistema de controlo	48
3.3.1	Sinal do condicionador	49
3.3.2	Controlo do motor	51
3.3.3	Fluxograma do programa.....	52
3.3.4	Painel de interface com utilizador.....	59
3.4	Calibração do <i>Software</i>	60
4.	Validação do programa desenvolvido	61
4.1	Protocolo de ensaio	62
4.2	Análise dos resultados obtidos.....	68
5.	Conclusões.....	71
5.1	Sumário.....	71
5.2	Conclusões	71
5.3	Trabalhos futuros.....	73
	Referências Bibliográficas	75
	Anexo I – Tutorial instalação LINX.....	77
	Anexo II – Tutorial instalação LINX em inglês.....	78
	Anexo III – Datasheet condicionador de sinal	79
	Anexo IV – Datasheet driver motor	80
	Anexo V – Datasheet sensor temperatura.....	81
	Anexo VI – Datasheet sensor humidade.....	82
	Anexo VII – Protocolo de ensaio em inglês	83
	Anexo VIII – Resultados dos ensaios.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fricção entre dois corpos [2].....	7
Figura 2.2 - Materiais têxteis [4].....	7
Figura 2.3 - Exemplo método linear.....	8
Figura 2.4 - KES-FB4.....	9
Figura 2.5 - KES-FB4: Medidor de características de superfície	9
Figura 2.6 - KES-FB-AUTO [6].....	9
Figura 2.7 - Esquema funcionamento KES-FB-AUTO [4]	10
Figura 2.8 - Apalpador utilizado na medição de atrito [4]	10
Figura 2.9 - Exemplo resultado de medição	10
Figura 2.10 - HFT-03C - Compressão.....	11
Figura 2.11 - HFT - 04S - Rugosidade/Atrito.....	11
Figura 2.12 - Tribosensor.....	11
Figura 2.13 - Detalhe da zona de contacto entre rolo e material.....	11
Figura 2.14 - Configuração proposta para sensor [8].....	12
Figura 2.15 - Exemplo resultado tribosensor [9]	12
Figura 2.16 - PARAM FPT-F1	13
Figura 2.17 - Princípio de funcionamento método rotativo.....	14
Figura 2.18 - CETR UMT-2 [9].....	15
Figura 2.19 - Esquema testes [9].....	16
Figura 2.20 - Pino-disco Invertido	16
Figura 2.21 - PLINT TE67 [10]	17
Figura 2.22 - Constituição equipamento FricTorq.....	18
Figura 2.23 - Geometria do modelo teórico adotado para o primeiro protótipo [12].....	19
Figura 2.24 - Tecido contra tecido e Corpo padrão contra tecido.....	20
Figura 2.25 - Corpos padrão primeira versão FricTorq.....	20
Figura 2.26 - Esquema centragem corpo de prova e fixação da amostra [13].....	20
Figura 2.27 - Evolução corpo padrão	21
Figura 2.28 - Esquema e forças novo corpo padrão	22
Figura 2.29 - Modelação solução para ensaios em meio líquido	23
Figura 2.30 - Nova base de ensaio instalada no equipamento [7].....	24
Figura 2.31 - Alteração efetuada à barra de acoplamento	25

Figura 2.32 - Borracha silicone [7]	25
Figura 2.33 - Logo LabVIEW®	26
Figura 2.34 - Partes de um sistema de aquisição de dados	27
Figura 2.35 - USB 6008.....	28
Figura 2.36 - PCI 6010	29
Figura 2.37 - PCI 6220	30
Figura 2.38 - PCIe - 6320	31
Figura 2.39 - DAQpad-6015	31
Figura 2.40 - Arduíno Mega 2560.....	32
Figura 3.1 - Painel de controlo atual do FricTorq	36
Figura 3.2 - Gráfico apresentado durante ensaio	37
Figura 3.3 - Gráfico apresentado no final ensaio	38
Figura 3.4 - Diagrama de blocos do equipamento	40
Figura 3.5 - Estrutura com motor e sensor de binário acoplado	40
Figura 3.6 - Condicionador de sinal modelo 701	41
Figura 3.7 - Entradas e saídas do condicionador de sinal	42
Figura 3.8 - Esquematização fonte de alimentação	42
Figura 3.9 – Esquematização do driver do motor	43
Figura 3.10 - Caixa com componentes hardware	44
Figura 3.11 - L298N motor driver.....	45
Figura 3.12 - Esquema ligações Arduíno, driver e motor.....	45
Figura 3.13 - Sensor temperatura TMP36	46
Figura 3.14 – Conexão entre Arduíno e sensor TMP36	47
Figura 3.15 - Sensor HIH-4030.....	47
Figura 3.16 – Conexão entre Arduíno e sensor HIH-4030	48
Figura 3.17 - Arquitetura do sistema.....	49
Figura 3.18 - Jumpers 23 e 24 desativados	50
Figura 3.19 - Esquema ligação Arduíno e porta Logic I/O	51
Figura 3.20 - Conexão Arduíno porta serie db25 driver motor	52
Figura 3.21 - Fluxograma parte I	56
Figura 3.22 - Fluxograma parte II	57
Figura 3.23 - Fluxograma parte III.....	58
Figura 3.24 - Separador "Propriedades de ensaio"	59
Figura 3.25 - Separador "Controlo do ensaio"	60

Figura 4.1 - Exemplo configuração porta Arduíno	62
Figura 4.2 - Ligação Arduíno com driver motor (vermelho) e condicionador (azul)	63
Figura 4.3 - Equipamento ligado	63
Figura 4.4 – Exemplo do display de calibração	64
Figura 4.5 - Anel de centragem com corpo	65
Figura 4.6 - Amostra com anel de pressão padrão	65
Figura 4.7 - Amostra na base cónica	65
Figura 4.8 - Propriedades validadas com sucesso	66
Figura 4.9 - Propriedades validadas sem sucesso	66
Figura 4.10 - Separador Controlo do ensaio	67
Figura 4.11- Gráfico com resultados obtidos.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tabela comparação de placas	33
Tabela 3.1 - Saída pinos porta Logic I/O.....	49
Tabela 3.2 - Correspondência pinos com função	51
Tabela 4.1 - Parâmetros de ensaio	61
Tabela 4.2 - Resultados dos ensaios realizados	69

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

KES – “Kawabata Evaluation System”

HFT – “Handheld Friction Tester”

CETR – “Center for Tribology”

NI – “National Instruments”

DAQ – “Data acquisition”

PWM – “Pulse With Modulation”

1. INTRODUÇÃO

Durante este capítulo será exposto um enquadramento do trabalho assim como as motivações e objetivos para a realização do mesmo. Por fim é também apresentada a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

Os materiais ao longo dos anos têm vindo a evoluir não só devido à descoberta de novas matérias-primas mas também pela evolução dos equipamentos utilizados na sua produção. Estes materiais podem ser classificados em várias categorias, sendo que este trabalho foca-se nos materiais flexíveis, particularmente nos tecidos.

Paralelamente à evolução dos tecidos surge também a procura de maior conforto e melhor sensação ao toque por parte dos mesmos, pelo que se torna necessário estudar as suas propriedades mecânicas. O conforto normalmente é avaliado de uma forma subjetiva uma vez que pode variar de pessoa para pessoa e isto leva a uma necessidade de desenvolvimento tecnológico de forma a possibilitar a medição e controlo das propriedades que influenciam o conforto de um material. O coeficiente de atrito, rugosidade e condutibilidade térmica são exemplos de propriedades mecânicas que influenciam em grande parte a avaliação do conforto para qualquer material.

Estas propriedades mecânicas não são só importantes pelo facto de afetarem o toque destes tecidos, ou seja, as sensações que proporcionam quando em contacto com a pele, mas também para o contacto com outros elementos como a água. Podemos dar o exemplo da natação em que as propriedades mecânicas, nomeadamente o coeficiente de atrito, são muito importantes na escolha do tecido para um fato de natação, pois deve existir o menor atrito possível entre o este e a água.

Os primeiros desenvolvimentos nesta área apareceram em 1972, na Universidade de Kyoto pela mão de Suelo Kawabata. Ele desenvolveu os primeiros equipamentos com capacidade para efetuar a medição objetiva de 16 parâmetros. Esses 16 parâmetros eram medidos utilizando quatro módulos. Tendo em vista a validação dos seus desenvolvimentos, os resultados obtidos através da medição objetiva foram comparados com avaliações subjetivas realizadas por especialistas da área dos tecidos e coincidiram em 93% dos casos [3].

Este equipamento desenvolvido por Sueo Kawabata apresentava grande complexidade na realização dos ensaios pelo que nunca foi amplamente utilizado. Mais tarde surgiram novos equipamentos que quando comparados com o desenvolvido por Sueo Kawabata eram consideravelmente mais simples, mais económicos e mais rápidos, sem que a fiabilidade fosse prejudicada. Embora não tivessem a capacidade de testar tantos parâmetros, foram amplamente utilizados quando comparados com o desenvolvido por Sueo Kawabata.

Foi no seguimento do desenvolvimento destes equipamentos que surgiu o FricTorq, aparelho com menor custo e mais facilidade de utilização.

O FricTorq foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho e já foi inclusive reproduzido para dois laboratórios de investigação estrangeiros. O seu propósito é a medição do coeficiente de atrito, tanto estático como cinético em superfícies flexíveis, nomeadamente tecidos. É constituído por um módulo mecânico, um módulo eletrónico e um *software* de controlo do equipamento.

Devido aos avanços da tecnologia, o equipamento já se encontra bastante obsoleto e com alguns problemas pelo que necessita de ser atualizado, daí a realização deste trabalho.

1.2 Objetivos e motivação

Uma vez que o equipamento se encontra bastante antiquado surge a necessidade de atualizá-lo procurando novas soluções para melhorar o mesmo e introduzir novas funcionalidades. Esta dissertação surge desta necessidade e tem como objetivo fazer um estudo aprofundado do equipamento de forma a identificar as suas limitações e procurar novas soluções para o equipamento.

O equipamento já foi alvo de várias alterações ao longo dos anos, implementadas tanto por alunos como por professores, e este trabalho enquadra-se nessa sequência de melhoria contínua do equipamento.

A dissertação tem como principais objetivos o desenvolvimento de um novo *software* de controlo, com novas funcionalidades e maior facilidade de utilização, assim como o estudo de melhorias, passíveis de serem implementadas a nível de *hardware*. De notar que todo este trabalho é realizado com o intuito de reaproveitar ao máximo todos os componentes existentes de forma a manter os custos reduzidos.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos apresentados abaixo:

- No primeiro capítulo é feita uma introdução ao trabalho realizado onde são apresentados os principais objetivos e motivações assim como a estrutura de todo o trabalho;
- O segundo capítulo apresenta um estudo do estado da arte, desde a história do atrito aos dois métodos mais comuns para a análise do coeficiente de atrito em materiais. Para além disso são também estudados equipamentos existentes que se inserem em cada um dos métodos apresentados. A análise das evoluções do FricTorq ao longo dos anos é também realizada durante este capítulo, sendo apresentadas e estudadas todas as alterações que o equipamento sofreu ao longo dos anos. Por fim o capítulo foca-se no estudo das plataformas a utilizar para o desenvolvimento do novo programa de controlo e aquisição de dados. São também comparadas diversas plataformas que podem ser utilizadas para a aquisição de dados tendo em vista a utilização da mais indicada atendendo aos requisitos do projeto.
- O estudo aprofundado do equipamento como ele se encontra atualmente é apresentado no capítulo três e são também expostas as limitações identificadas no mesmo. Neste capítulo são ainda apresentadas propostas de melhorias possíveis de serem implementadas a nível de *hardware*. Para além de apresentadas são explicadas e esquematizada a forma como podem ser aplicadas ao equipamento. No final do capítulo é descrito e explicado o fluxograma correspondente ao novo programa de controlo desenvolvido, onde são também apresentadas todas as novas funcionalidades e o funcionamento do programa.
- A validação do novo programa é apresentada no quarto capítulo juntamente com a comparação e discussão de resultados, obtidos utilizando o programa atual e o desenvolvido no âmbito deste projeto.
- Por fim, no capítulo cinco, são apresentadas todas as conclusões relativas ao trabalho realizado assim como propostas de trabalho futuro a ser desenvolvido no equipamento.

2. ESTADO DA ARTE

Durante este capítulo é feita uma breve introdução à história da tribologia, mais concretamente do atrito. São apresentados os métodos mais comuns para a medição do mesmo, assim como exemplos de equipamentos existentes utilizando cada um dos métodos analisados.

São ainda apresentadas e estudadas todas as evoluções do FricTorq e são analisadas as possíveis soluções a nível de *software* e *hardware* a utilizar para o desenvolvimento de um novo sistema de controlo e motorização do FricTorq.

2.1 Tribologia

Tribologia é um ramo da engenharia mecânica. Em 1966 foi definida como a ciência e engenharia de interação entre duas superfícies em movimento relativo. Esta inclui o estudo e aplicação de princípios de fricção, lubrificação e desgaste.

As interações tribológicas da superfície de um sólido com outros materiais podem levar a perda de material por parte da superfície. Isto deve-se ao desgaste. Este desgaste pode ser essencialmente por abrasão, fricção, erosão ou corrosão.

2.2 História e definição de atrito

Durante o século XV, as primeiras regras para o atrito entre dois corpos em movimento relativo, foram descobertas por Leonardo da Vinci e nunca foram publicadas por razões desconhecidas. Estas foram redescobertas por Guillaume Amontons no ano de 1699. Amontons, físico francês conhecido pelos seus estudos na área da tribologia, apresentou as duas primeiras leis do atrito.

Através de observações experimentais, Amontons apresentou as seguintes leis:

- A força de atrito é proporcional à carga aplicada entre os dois corpos em contacto;
- A força de atrito é independente da área aparente de contacto entre os dois corpos.

Cerca de um século mais tarde, através do estudo da influência de quatro fatores fundamentais que intervêm no atrito, natureza dos materiais em contacto, os seus revestimentos, o tamanho da superfície de contacto, a força normal aplicada e o tempo que as superfícies estão em contacto, Charles-Augustin de Coulomb apresentou a terceira lei do atrito [1].

- O atrito cinético é independente da velocidade de escorregamento.

Visto isto, sabemos que a força de atrito (F) é a componente tangencial da força de contacto que atua sempre que dois corpos estão em contacto e existe tendência ao movimento. Esta força pode ser expressa através de:

$$Fr = \mu \cdot N \quad (2.1)$$

onde, F é a força de atrito, N a carga normal entre as superfícies e a constante de proporcionalidade (μ) o coeficiente de atrito.

O coeficiente de atrito (μ) não é uma característica intrínseca de um material ou de uma superfície, mas antes resulta do contacto entre duas superfícies [2]. Esta constante (μ), denominada coeficiente de atrito é uma grandeza adimensional, que relaciona a força de atrito e a força de compressão entre dois corpos, e é apenas constante para um certo par de materiais e para certas condições de contacto.

Existem também dois tipos de coeficiente de atrito:

- Coeficiente de atrito estático;
- Coeficiente de atrito dinâmico.

O coeficiente de atrito estático aparece quando as duas superfícies em contacto encontram-se em iminência de movimento relativo, mas ainda não se moveram. O coeficiente de atrito dinâmico está presente a partir do momento em que as superfícies em contacto apresentam movimento relativo. De notar também que o coeficiente de atrito estático é superior ao dinâmico.

No caso dos materiais têxteis, a relação anterior não descreve com certeza a realidade pois como em qualquer material não metálico, o coeficiente de atrito pode variar com a carga aplicada, velocidade, acabamento superficial ou ambiente circundante [3]. A figura 2.1 representa um esquema de fricção entre dois corpos.

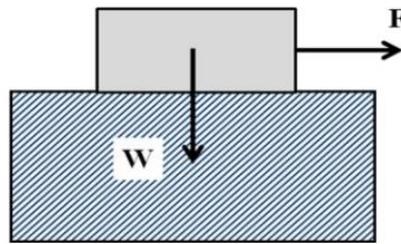


Figura 2.1 - Fricção entre dois corpos [2]

Reconhece-se então que os materiais têxteis não obedecem totalmente às leis de Amontons. Verificou-se que o coeficiente de atrito não é constante, pois através de ensaios experimentais, a diminuição da carga, fez com que o coeficiente de atrito aumentasse. Concluiu-se que a força de atrito não é diretamente proporcional à carga aplicada, para estes materiais [4].

A relação entre a carga aplicada e a força de atrito em materiais têxteis pode então ser definida da seguinte forma:

$$F = N.K + \alpha.A \quad (2.2)$$

onde K e α são constantes e A a área de contacto.

A figura 2.2, permite perceber a estrutura de diversos materiais têxteis.

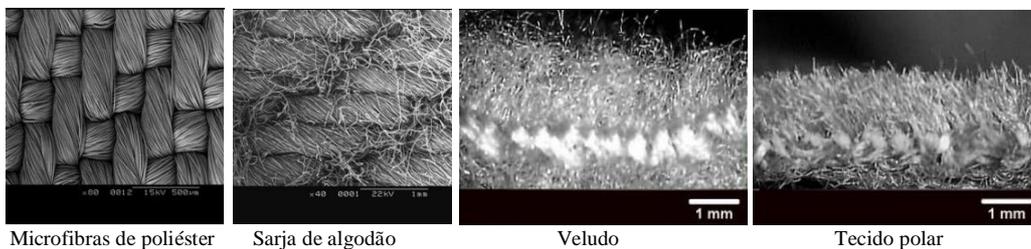


Figura 2.2 - Materiais têxteis [4]

Este comportamento particular dos materiais têxteis deve-se à sua estrutura, pois são compostos por fios entrecruzados e fios entrelaçados ou então por uma folha de fibras cuja coesão é dada por uma ligação térmica ou química [4].

2.3 Como medir o atrito

De forma a compreender melhor o funcionamento do FricTorq foi efetuada uma pesquisa relacionada com os métodos mais comuns para medição do coeficiente de atrito em materiais flexíveis, sendo que o método linear e rotativo são os mais comuns.

2.3.1 Método linear

No método linear, a força de atrito é gerada através do deslizamento em linha reta, de um apalpador, sobre a superfície da amostra. Este movimento pode ser efetuado pela amostra em relação ao apalpador ou vice-versa. Pode ser efetuado sempre no mesmo sentido ou então com variação do sentido do movimento.

Na figura 2.3 podemos observar uma representação da forma linear de medição do atrito.

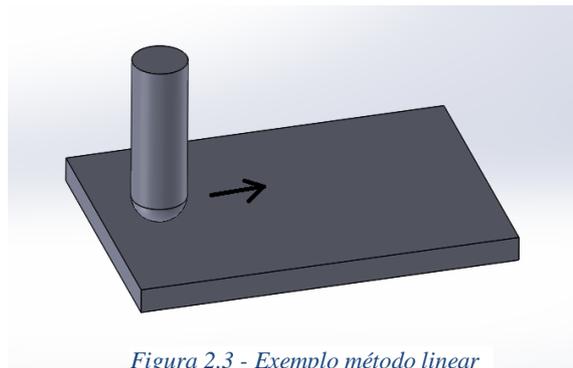


Figura 2.3 - Exemplo método linear

De seguida são abordados vários equipamentos que medem o atrito utilizando este método.

KES (Kawabata Evaluation System)

Sueo Kawabata desenvolveu uma série de aparelhos que permitem avaliar a resistência a baixas solicitações mecânicas em tecidos e procurou relacionar estas propriedades com o toque. As solicitações podem ser:

- Tração;
- Corte;
- Flexão;
- Compressão;
- Atrito na superfície;
- Rugosidade da superfície.

Este sistema é constituído por 4 módulos (KES-FB1, KES-FB2, KES-FB3 e KES-FB4), que no seu conjunto medem 16 parâmetros físicos necessários para os cálculos finais da massa por unidade de superfície. Estes parâmetros caracterizam o comportamento mecânico dos

tecidos submetidos a baixas solicitações, que contribuem para a avaliação objetiva do “toque”, cuja sensação está ligada à deformação ao tato. [5]

A medição do atrito na superfície é efetuada pelo módulo KES-FB4 apresentado nas figuras 2.4 e 2.5. Este módulo permite medir também parâmetros ligados à rugosidade da superfície.

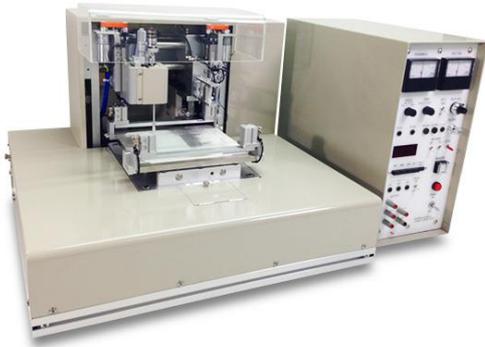


Figura 2.4 - KES-FB4



Figura 2.5 - KES-FB4: Medidor de características de superfície

Mais tarde, nos finais dos anos 90, surgiu um novo sistema desenvolvido por Kawabata, o sistema KES-FB-AUTO, figura 2.6, totalmente automatizado, proporcionando uma resposta mais rápida. Este equipamento implica uma única intervenção humana na colocação do provete. O sistema ensaia e calcula todos os parâmetros para todas as propriedades em cerca de 10 minutos. Com este novo aparelho, a medição é mais precisa devido à inexistência de interferência humana, procedendo o equipamento à sua auto-calibração e realização do ensaio.



Figura 2.6 - KES-FB-AUTO [6]

Este módulo tem como princípio de funcionamento o deslocamento da amostra de tecido sob um corpo de prova, sobre o qual é aplicada uma força normal, a uma velocidade de

aproximadamente 1 mm/s. A amostra de tecido está fixa em dois lados opostos sobre uma superfície plana com uma tensão pré-determinada.

A amostra (S) é fixa numa extremidade ao tambor rotativo (E) e na outra a um dispositivo de tensionamento (T), onde a tensão aplicada é dependente de cada tipo de tecido. O movimento de avanço e recuo é dado pela rotação do tambor (E) onde a velocidade linear do tecido não excede 1 mm/s. Quando a amostra se desloca aproximadamente 3 cm o sentido de rotação do tambor é invertido até o tecido voltar à posição inicial. Na Figura 2.8 encontra-se representado o princípio de funcionamento do sistema KES [8]. Por sua vez, na figura 2.7 pode ver-se uma representação do apalpador utilizado na medição do coeficiente de atrito da superfície do tecido.

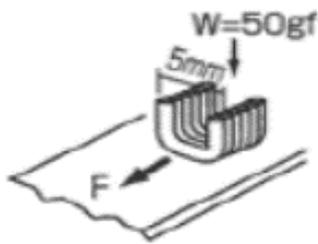


Figura 2.8 - Apalpador utilizado na medição de atrito [4]

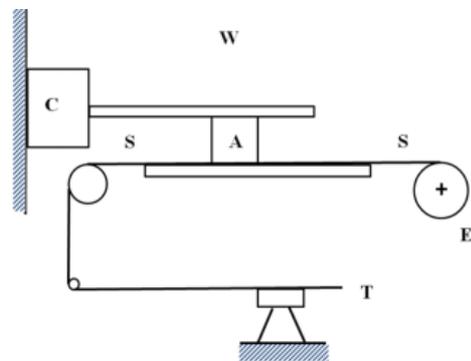


Figura 2.7 - Esquema funcionamento KES-FB-AUTO [4]

A figura 2.9 é um exemplo do resultado obtido efetuando uma medição de atrito utilizando a ferramenta KES-FB-AUTO.

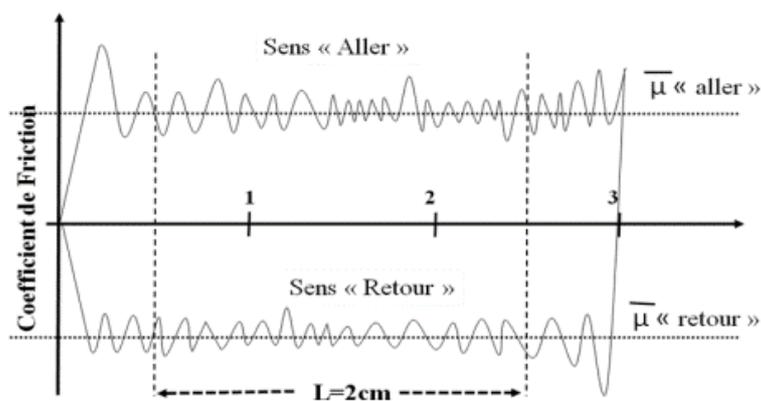


Figura 2.9 - Exemplo resultado de medição

Mais recentemente, foram apresentados aparelhos portáteis, que não necessitam de cortar provetes. Estes aparelhos funcionam com pilhas e são especialmente adequados para testes comparativos simples. As figuras 2.10 e 2.11 apresentam exemplos [5].



Figura 2.10 - HFT-03C - Compressão



Figura 2.11 - HFT - 04S - Rugosidade/Atrito

Tribosensor

A medição do coeficiente de atrito entre duas superfícies sempre foi do interesse de várias aplicações na área da engenharia. Enquanto amostras de materiais eram testadas em sistemas tribológicos em laboratórios, não existia nenhum sistema que medisse o coeficiente de atrito em superfícies durante a sua produção ou então entre duas superfícies de interesse. Apareceu então o denominado tribosensor, figuras 2.12 e 2.13, desenvolvido por M. K. Ramasubramanian e Steven D. Jackson [8].

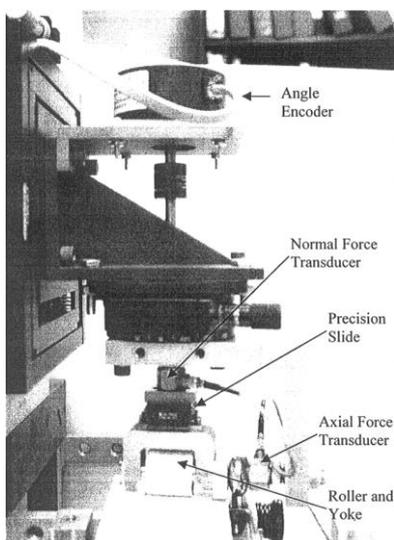


Figura 2.12 - Tribosensor

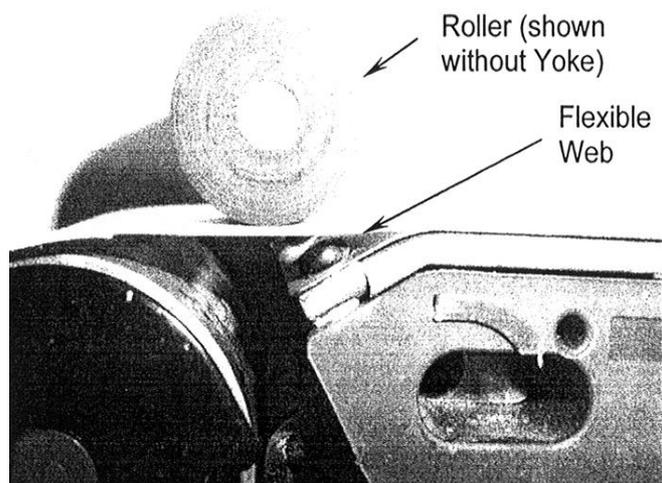


Figura 2.13 - Detalhe da zona de contacto entre rolo e material

Este equipamento tem como grande vantagem o facto de permitir uma medição do coeficiente de atrito dum material flexível durante o seu processo de fabrico, sem que o mesmo seja danificado, ao contrário de outros métodos em que o material podia ser danificado, devido ao calor gerado no contacto entre o corpo de prova e o material.

No caso do tribosensor, é utilizado um rolo que está em contacto com o material e gira sobre o mesmo com uma força normal (F_n), controlada através de um transdutor de força. Para medir o coeficiente de atrito, é introduzido um deslocamento angular (α) que desalinha o rolo conforme as representações presentes na figura 2.14.

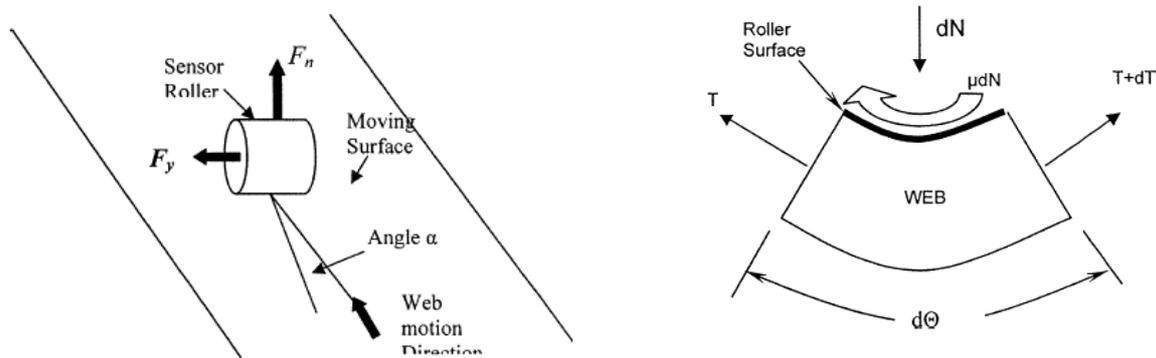


Figura 2.14 - Configuração proposta para sensor [8]

O binário de auto alinhamento causado pelo atrito entre o material e a superfície do rolo é medido por um transdutor de binário. Este binário é proporcional ao coeficiente de atrito. O movimento e o contacto resultam na geração da força de atrito (F_y) e através da seguinte equação é possível calcular o coeficiente de atrito [7]:

$$F_y = \mu \cdot F_n \quad (2.3)$$

Assim como no caso do KES, todos os resultados do tribosensor são apresentados na forma de gráfico, figura 2.15.

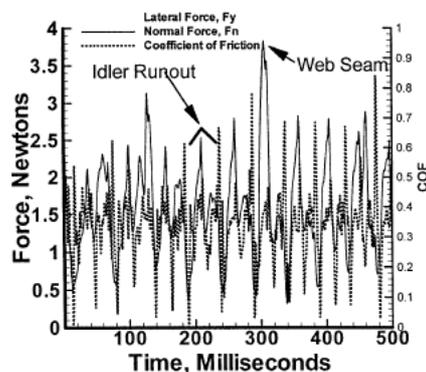


Figura 2.15 - Exemplo resultado tribosensor [9]

PARAM FPT-F1

Ainda dentro dos tribómetros que utilizam o método linear para a medição do coeficiente de atrito, temos o PARAM FPT-F1, figura 2.16, produzido pela Labthink Instruments Company.

Este tribómetro faz deslizar um corpo normalizado (trenó) sobre a superfície da amostra, que se encontra numa base plana. O trenó está sujeito a uma força normal e a partir dessa força e da força necessária para deslocar o trenó horizontalmente, sobre a superfície da amostra, é calculado o coeficiente de atrito.



Figura 2.16 - PARAM FPT-F1

Como podemos perceber pela figura 2.16, os resultados são exportados para o computador, onde podem ser analisados e tratados de acordo com as necessidades do utilizador. Esta é uma característica comum ao FricTorq, onde todos os dados relativos ao ensaio são exportados para o computador.

2.3.2 Método rotativo

O método rotativo, no qual se enquadra o Frictorq, tem o seu princípio de funcionamento ilustrado na figura 2.17 e consiste em rodar um “prato”, onde é fixada a amostra, que por sua vez está em contacto com um corpo de prova normalizado.

O cálculo do coeficiente de atrito neste caso é efetuado de forma diferente do método linear. Deve ser utilizada a seguinte expressão:

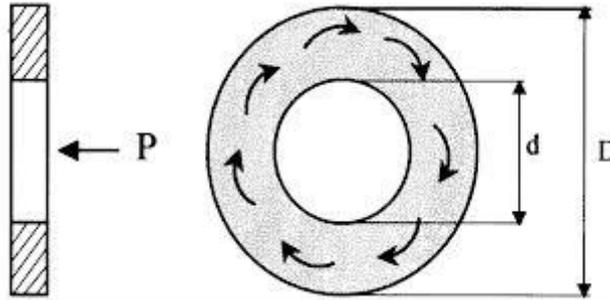


Figura 2.17 - Princípio de funcionamento método rotativo

$$T = 2\pi \cdot \mu \int_{d/2}^{D/2} P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2.4)$$

Onde:

- T - Binário [N.m];
- μ - Coeficiente de atrito;
- d – Diâmetro interno [mm];
- D – Diâmetro externo [mm];
- P – Pressão de contacto [N];
- r – Raio [mm].

Visto isto, o coeficiente de atrito é calculado através da equação abaixo:

$$\mu = \frac{3 \cdot T}{P} \cdot \frac{D^2 - d^2}{D^3 - d^3} \quad (2.5)$$

Normalmente a velocidade angular é baixa e constante e é efetuada em relação a um eixo vertical que passa pelo centro geométrico do prato e corpo normalizado.

Assim como para o método linear, serão abordados alguns equipamentos que utilizam o método rotativo para a obtenção do coeficiente de atrito em materiais flexíveis.

CETR UMT-2

O tribómetro CETR UMT-2, apresentado na figura 2.18, é um tribómetro rotativo, desenvolvido pela empresa Bruker AXS e pode ser utilizado para determinar o coeficiente de atrito em diversos materiais.



Figura 2.18 - CETR UMT-2 [9]

Este tribómetro tem a capacidade de medir forças e torques em três eixos diferentes, assim como monitorizar variáveis como temperatura e humidade.

Podem ser efetuados diferentes tipos de testes como pin-on-disk, pin-on-ring ou disc-on-plate. Na figura 2.19 estão esquematizados alguns dos testes passíveis de serem efetuados. Para além desta versatilidade, este equipamento tem ainda a capacidade de medir diversas variáveis tribológicas como taxa de desgaste ou ainda a emissão acústica do contacto do par de materiais a ser testado.

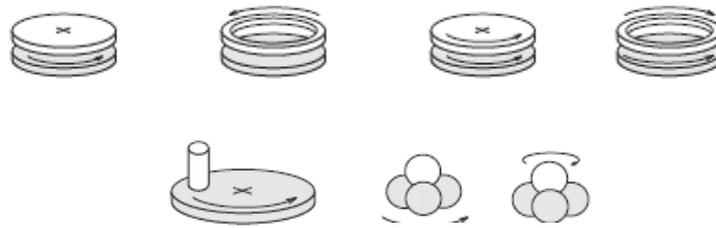


Figura 2.19 - Esquema testes [9]

Pino-Disco invertido

Este equipamento, denominado pino-disco invertido e apresentado na figura 2.20, tem uma particularidade em relação a outros equipamentos que utilizam o método rotativo. Esta particularidade prende-se com o facto de a placa se encontrar sobre o pino e não o pino sobre a placa. Esta particular configuração permite a obtenção de melhores resultados pois as partículas que se formam a partir do desgaste do pino e do disco são removidas pela força da gravidade, não criando distorções nos resultados finais.



Figura 2.20 - Pino-disco Invertido

Para além deste caso particular, existem também tribómetros convencionais pino-disco, nomeadamente nos laboratórios do departamento de engenharia mecânica da Universidade do

Minho, que permitem realizar ensaios de atrito e desgaste de deslizamento, na ausência e na presença de lubrificante, com as seguintes características:

- $W_{max} = 100 \text{ N}$, $V_{max} = 3 \text{ m/s}$, temp. ambiente;
- Geometria de teste: pino-disco;
- Movimento: circular contínuo;
- Pino: $\varnothing_{max} = 10 \text{ mm}$, compr. max. = 15 mm;
- Disco: $\varnothing = 30 \text{ a } 80 \text{ mm}$, espessura = 5 a 12 mm.

PLINT TE 67

O tribómetro PLINT TE67, figura 2.21, é mais um equipamento que pode ser encontrado nos laboratórios do departamento de engenharia mecânica e pode funcionar como pino-placa ou pino-disco. Isto significa que para além de se enquadrar na utilização do método rotativo, pode também usar o método linear na determinação do coeficiente de atrito.



Figura 2.21 - PLINT TE67 [10]

O TE67 permite realizar ensaios de atrito e desgaste de deslizamento, na ausência e na presença de lubrificante, e tem as seguintes características [11]:

- Geometria de teste: pino-disco ou pino-placa;

- $3 \leq W \leq 1000$ N, $0.1 \leq v \leq 3.5$ m/s, $22^\circ\text{C} \leq T \leq 750^\circ\text{C}$;
- Movimento: circular contínuo ou linear alternativo;
- Pino ou esfera: $\varnothing_{\text{max}} = 10$ mm; Disco: $30 \leq \varnothing \leq 80$ mm, espessura = 5 a 15 mm;
- Placa: 60 x 40 x 4 mm³.

2.4 Evoluções do FricTorq

O FricTorq é baseado num movimento rotativo de uma superfície plana, contendo a amostra, que está em contacto com um corpo de prova. Este corpo de prova transmite o binário reativo gerado pelo movimento de arrasto entre dois corpos, a um sensor de binário.

Podemos então dizer que o equipamento é composto por três partes essenciais:

- Motor de corrente contínua (12 V): este motor tem como função transmitir o movimento rotativo à superfície plana que contém a amostra;
- Sensor de binário de precisão reativo;
- *Software* de controlo.

Na figura 2.22 podemos observar a constituição do equipamento.

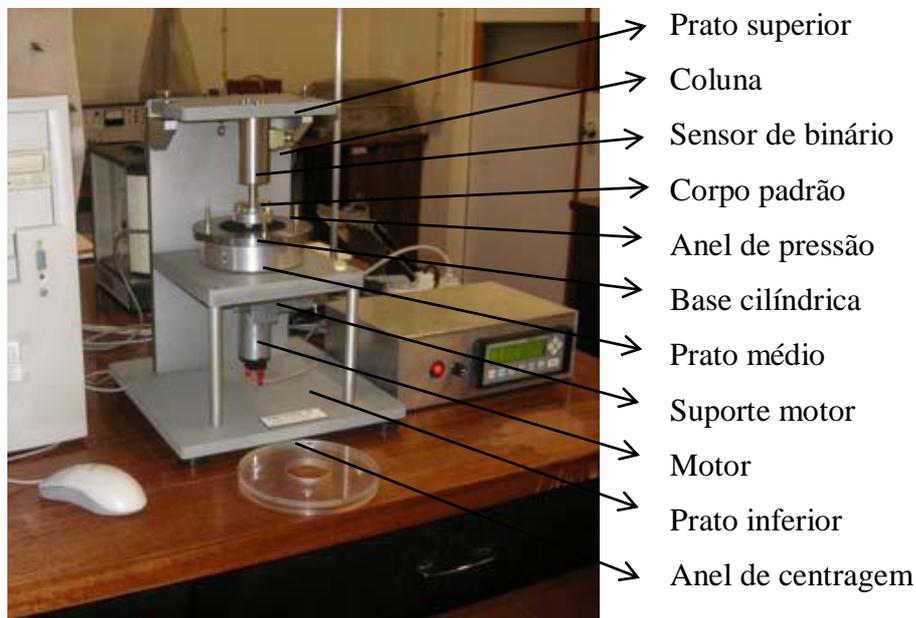


Figura 2.22 - Constituição equipamento FricTorq

O equipamento já sofreu várias alterações ao longo do tempo, não só para melhorar o seu desempenho, mas também para permitir a realização de outros tipos de testes. Essas alterações são apresentadas de seguida.

2.4.1 FricTorq I

O FricTorq I foi a primeira versão existente do equipamento e todas as alterações e evoluções foram aplicadas no mesmo.

O primeiro desenvolvimento conduziu a um equipamento de ensaio cujo princípio de funcionamento se baseia no de uma embraiagem de disco seca, onde um corpo plano com uma configuração anelar, como o representado na figura 2.23, é arrastado sobre uma outra superfície plana, com movimento de rotação em torno de um eixo perpendicular ao plano de contacto, sob a ação de uma determinada força normal, P , de onde resulta uma pressão de contacto uniformemente distribuída.

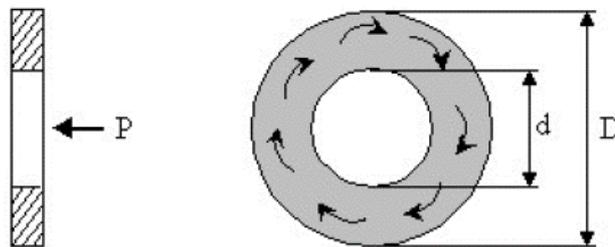


Figura 2.23 - Geometria do modelo teórico adotado para o primeiro protótipo [12]

Há assim dois provetes: um superior, que é anelar, é colocado sobre o inferior, plano e horizontal. Um dos provetes é colocado em movimento de rotação relativamente ao outro, com uma velocidade angular muito baixa e constante, em relação a um eixo vertical que passa pelo centro geométrico da forma anelar. O coeficiente de atrito é então proporcional ao valor do binário medido pelo sensor de alta sensibilidade [12].

Este princípio de funcionamento permaneceu inalterado até hoje apesar de algum dos componentes do equipamento terem sido alterados.

Uma vez que a pressão entre os dois provetes é constante neste modelo, o binário T é dado pela equação 2.4 e o coeficiente de atrito pode ser obtido a partir da equação 2.5.

Inicialmente o equipamento apenas permitia que fossem realizados dois tipos de ensaios:

- Tecido contra tecido;

- Corpo padrão contra o tecido.



Figura 2.24 - Tecido contra tecido e Corpo padrão contra tecido

Podiam ser utilizados dois tipos diferentes de corpo padrão, figura 2.25, no ensaio nesta primeira versão do equipamento. Um deles com uma superfície lisa e o outro com uma superfície tratada quimicamente de forma a conferir-lhe rugosidade.

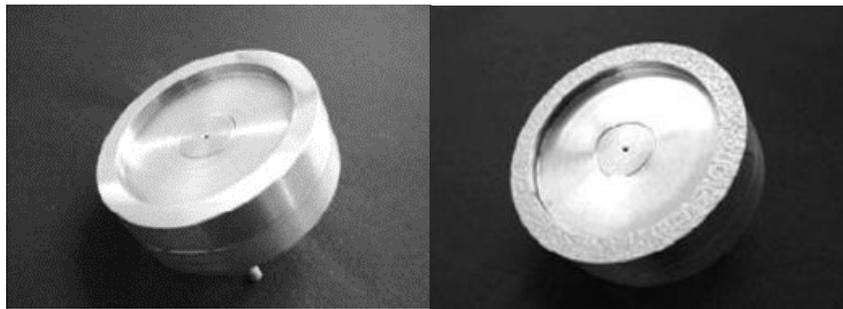


Figura 2.25 - Corpos padrão primeira versão FricTorq

Uma das características do equipamento que permaneceu inalterada durante as várias evoluções foi a forma como é efetuada a centragem do corpo padrão. Na figura 2.26 encontra-se o esquema de montagem de todas as peças envolvidas na centragem do corpo padrão.

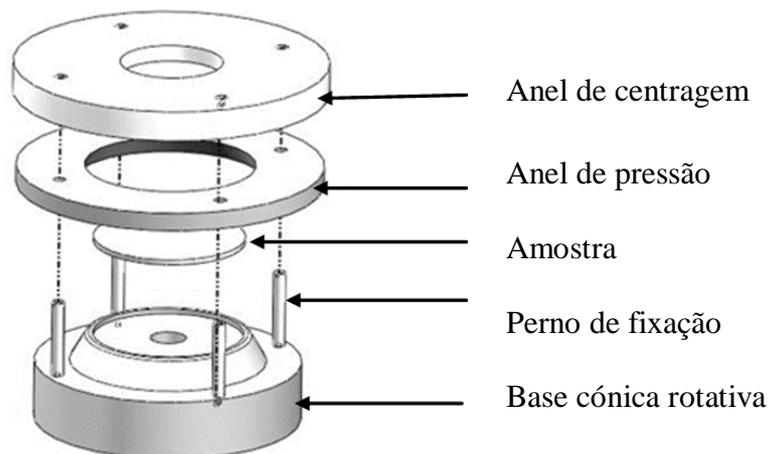


Figura 2.26 - Esquema centragem corpo de prova e fixação da amostra [13]

Como é possível perceber na figura 2.26, a centragem do corpo padrão é efetuada através da utilização de um anel de centragem. Para além desta situação, está também ilustrada na figura a fixação da amostra. Esta é colocada sobre a base cônica rotativa e a pressão exercida pelo anel de pressão sobre a mesma faz com que esta esteja fixa durante o ensaio. Esta também foi uma das características que permaneceu inalterada durante as diversas versões, com exceção da realização de outro tipo de ensaios que serão abordados mais à frente.

2.4.2 FricTorq II

Numa fase posterior, o corpo padrão até então utilizado nos ensaios foi substituído, aparecendo uma nova versão, o FricTorq II.

Esta alteração, apresentada na figura 2.27, deveu-se à percepção de que o corpo padrão até então utilizado provocava um alinhamento das fibras do tecido. Este alinhamento das fibras prejudicava a fiabilidade dos resultados dos ensaios.

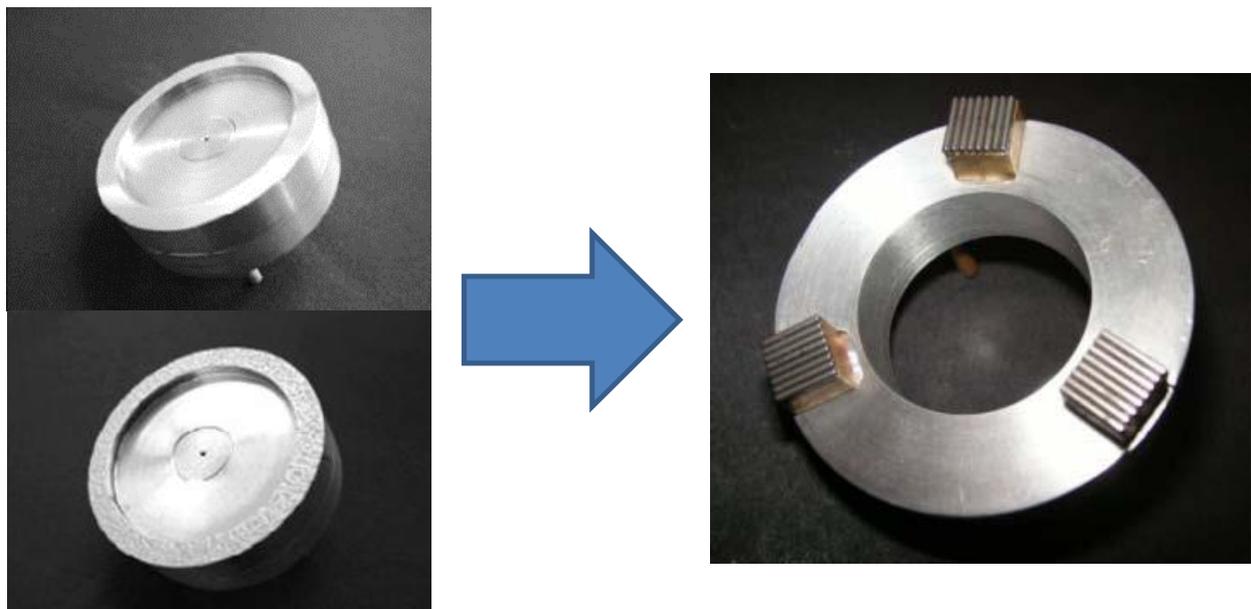


Figura 2.27 - Evolução corpo padrão

Ao contrário do corpo anelar inicial, o novo corpo padrão é um disco composto por três pés, dispostos radialmente, separados por um ângulo de 120°. Cada um desses pés é revestido por agulhas em aço inoxidável com 1mm de diâmetro e tem como objetivo simular o toque de um dedo humano.

Com esta alteração do corpo padrão conseguiu-se evitar o alinhamento das fibras do tecido provocado pelo corpo anterior. Esta modificação levou também a que as equações utilizadas para o cálculo do coeficiente de atrito fossem alteradas uma vez que o esquema de forças se alterou como esquematizado na figura 2.28.

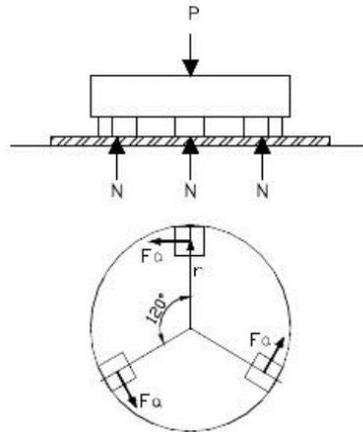


Figura 2.28 - Esquema e forças novo corpo padrão

Com esta nova configuração do corpo padrão o binário, T , é obtido através da seguinte equação:

$$T = 3 \cdot Fa \cdot r \quad (2.6)$$

onde,

$$\mu \cdot N = Fa \quad (2.7)$$

e

$$N = \frac{P}{3} \quad (2.8)$$

então o cálculo do coeficiente de atrito é efetuado através da equação 4.5:

$$\mu = \frac{T}{P \cdot r} \quad (2.9)$$

Onde:

- μ - Coeficiente de atrito;
- P – Peso corpo padrão [g];
- r – Raio médio corpo padrão [mm];
- T – Binário reativo [cNm].

A equação 2.9, apresentada acima, é a utilizada atualmente para o cálculo do coeficiente de atrito, tanto cinético como estático, pelo programa existente e será também utilizada no novo programa desenvolvido em LabVIEW®.

2.4.3 FricTorq III

A necessidade de analisar tecidos submersos em meio líquido levou ao desenvolvimento desta nova versão do equipamento. A procura deste novo tipo de ensaio surgiu com a necessidade de perceber quais os valores de coeficiente de atrito dos tecidos utilizados em situações como desportos aquáticos, tais como a natação. No caso da natação, o atrito entre o vestuário e a água podem fazer grande diferença. Posto isto, é necessário perceber quais os materiais com menor atrito quando em contacto com o meio líquido para melhorar o desempenho do vestuário e consequentemente do atleta.

Para este novo tipo de ensaio foi necessário desenvolver uma nova base para realização do mesmo que pode ser observada na figura 2.29.

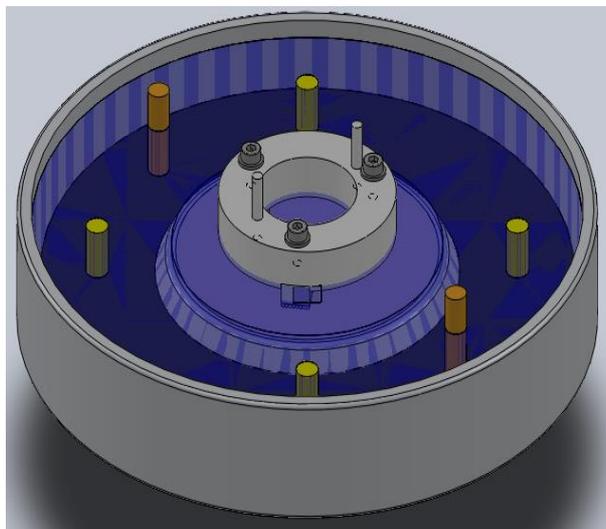


Figura 2.29 - Modelação solução para ensaios em meio líquido

Este novo *design* da base de ensaios tem como principais requisitos ser capaz de conter o líquido com total estanquicidade, não existir a necessidade de contacto do utilizador com o líquido e resistência à corrosão inerente aos ambientes líquidos. Para além disto, tem que manter também as condições de contacto do corpo de prova com a amostra a ser ensaiada e ser de fácil montagem e desmontagem.

Esta solução levou à substituição da base cónica onde é colocada a amostra de tecido a testar por uma nova com forma de recipiente. Foi também necessário redimensionar o corpo padrão de forma a que a pressão exercida pelo mesmo fosse de 3.5 kPa e a inclusão de duas novas hastes de forma a que fosse possível ao utilizador remover o anel de pressão sem entrar em contacto com o líquido utilizado no ensaio. A figura 2.30 apresenta o equipamento com a nova base de ensaios instalada.



Figura 2.30 - Nova base de ensaio instalada no equipamento [7]

No que diz respeito ao princípio de funcionamento e todos os restantes componentes mantiveram-se inalterados em relação às outras versões.

2.4.4 FricTorq IV

Esta última versão do FricTorq surge com a adaptação do mesmo para testar emulsões cosméticas para peles humanas. Para este tipo de teste foi necessário efetuar duas alterações no equipamento. Uma delas prendeu-se com o facto de aquando dos testes com estas emulsões, o corpo padrão deslocar-se radialmente devido aos baixos atritos gerados no contacto durante o ensaio. O problema foi resolvido através da alteração da barra de acoplamento do sensor, apresentada na figura 2.31.

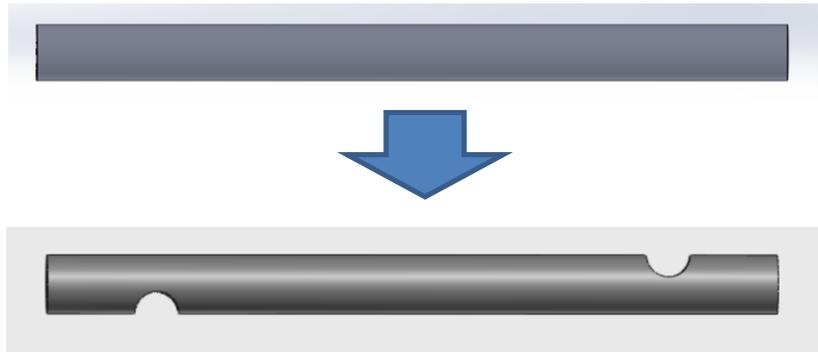


Figura 2.31 - Alteração efetuada à barra de acoplamento

Através da figura 2.31, onde é apresentada a transformação da barra de acoplamento, observamos que foi feito um entalhe em cada extremidade da barra de forma a restringir o movimento radial do corpo padrão, não interferindo com o seu movimento de rotação.

A outra alteração promovida para a realização deste tipo de ensaio foi a utilização de uma borracha de silicone, figura 2.32, com o objetivo de simular as condições da pele humana.



Figura 2.32 - Borracha silicone [7]

Esta borracha de silicone é colocada sobre a base onde é colocada a amostra nas primeiras versões do equipamento e posteriormente é aplicada sobre a borracha a emulsão cosmética a ser testada. A aplicação é feita através de uma seringa, de forma manual e o mais uniforme possível. Por fim é colocado o corpo padrão sobre a borracha com a emulsão.

2.5 Sistema de processamento e aquisição de dados

Tendo em vista a otimização e desenvolvimento do sistema mecatrónico presente no Frictorq foi necessário proceder ao estudo dos meios a serem utilizados para a implementação das melhorias tanto a nível de *software* como *hardware*.

No que diz respeito ao *software*, o programa LabVIEW® é a melhor opção para efetuar toda a programação necessária uma vez que este foi lecionado durante o mestrado em mecatrónica e já existe uma familiarização com o mesmo, para além de todo o potencial que o mesmo apresenta. Em termos de *hardware* foi necessário procurar algumas alternativas devido ao custo das alterações sendo necessário encontrar uma alternativa viável.

O *software* escolhido assim como as alternativas de *hardware* são apresentadas nos subcapítulos seguintes.

2.5.1 LabVIEW®

O ambiente LabVIEW® (acrónimo para *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) foi inicialmente desenvolvido pela NATIONAL INSTRUMENTS para automatizar aplicações de instrumentação para diversas áreas de engenharia (tipicamente eletrónica, eletrotécnica e química) e de ciências laboratoriais (essencialmente química e física).

Apesar dos engenheiros e dos cientistas possuírem, normalmente, um raciocínio muito técnico, não se sentem, necessariamente, à vontade em assuntos do âmbito da engenharia informática ou ciências da computação, pelo que esconder dos ambientes de *software* os pormenores típicos da programação textual é uma vantagem enorme para aquele tipo de profissionais. Desta forma, a NI decidiu desenvolver um ambiente de programação gráfica (linguagem G) baseada em diagramas de blocos e fluxo de dados que consistem, precisamente,



Figura 2.33 - Logo LabVIEW®

nas ferramentas conceptuais com que os engenheiros e cientistas estão habituados a lidar no seu dia-a-dia.

Atualmente, o LabVIEW® constitui uma referência na área, sobretudo porque começou a disponibilizar bibliotecas para uma grande variedade de áreas aplicacionais (processamento de sinal, processamento de imagem, controlo de motores, comunicações industriais, internet, acesso a bases de dados, etc.), deixando de ser um ambiente de desenvolvimento exclusivamente dedicado aos sistemas de instrumentação, para se tornar num poderoso ambiente de desenvolvimento de aplicações finais e de prototipagem rápida (porque operacionaliza a execução das especificações) para uma diversidade enorme de profissionais [14].

Visto isto, o LabVIEW® será utilizado para efetuar toda a programação necessária ao projeto e funcionará também como instrumento de tratamento de dados.

2.5.2 *Hardware* para aquisição de dados

A aquisição de dados é o processo de medição de um fenômeno elétrico ou físico, como tensão, corrente, temperatura, pressão ou som, com o uso de um computador. Um sistema de aquisição de dados é formado por sensores, *hardware* de aquisição e medição de dados e um computador com *software* programável, como apresentado na figura 2.34 [15].



Figura 2.34 - Partes de um sistema de aquisição de dados

Uma vez que o *software* e os sensores já estão selecionados, é apenas necessário escolher qual o melhor dispositivo para efetuar a aquisição de dados. Visto isto, serão analisadas as diferentes placas da marca National Instruments assim como a placa Arduíno. Tendo em conta que o *hardware* é o investimento mais significativo do projeto, é necessário encontrar um equilíbrio entre um bom funcionamento do equipamento e o custo do mesmo.

2.5.3 Placa National Instruments

Os dispositivos individuais da NI oferecem uma solução económica para quem pretende realizar medições em pequena escala. Seja qual for a linguagem de *software*, estes dispositivos têm soluções customizáveis.

A ligação entre o *software* e o *hardware* pode ser efetuada através dos formatos USB, PCI, PCI Express, Ethernet e WiFi. Para além disso, estes dispositivos oferecem uma perfeita integração do software através do DAQmx que permite a fácil configuração de temporização, funções de *trigger* e sincronização nas linguagens LabVIEW®, C/C++ e .NET [16].

A NI oferece as seguintes placas de baixo custo:

- USB-6008

Placa de aquisição de dados multifuncional, com um custo a partir dos 210€, com as seguintes características:

- 8 entradas analógicas (12 bit, 10 kS/s);
- Duas saídas analógicas (12 bit, 150 S/s); 12 E/S digitais; contadores de 32 bits;
- Alimentação por barramento, para maior mobilidade; conectividade de sinais integrada;
- Versão OEM disponível;
- Compatível com LabVIEW®, LabWindows™/CVI e Measurement Studio for Visual Studio .NET.



Figura 2.35 - USB 6008

- USB 6009

Placa de aquisição de dados multifuncional, semelhante à USB 6008, com um custo a partir dos 315€, com as seguintes características:

- 8 entradas analógicas (14 bit, 48 kS/s);
- 2 saídas analógicas (12 bit, 150 S/s), 12 E/S digitais, contadores de 32 bits;
- Alimentação por barramento, para maior mobilidade; conectividade de sinais integrada;
- Versão OEM disponível;
- Compatível com LabVIEW®, LabWindows™/CVI e Measurement Studio for Visual Studio .NET.

- PCI 6010

Placa de aquisição de dados multifuncional com um custo de 440€ e as seguintes características:

- 16 entradas e 2 saídas analógicas (16bit; 200kS/s);
- 10 canais digitais (6 DI, 4DO) 2 32 bit;
- 80 MHz counters;
- Compatível com LabVIEW®, LabWindows™/CVI e Measurement Studio for Visual Studio .NET.



Figura 2.36 - PCI 6010

- PCI 6220

Placa de aquisição de dados multifuncional com um custo de 605€ e as seguintes características:

- 16 entradas analógicas (16bit, 250kS/s);
- 24 canais digitais 32bit;
- Compatível com LabVIEW®, LabWindows™/CVI e Measurement Studio for Visual Studio .NET.

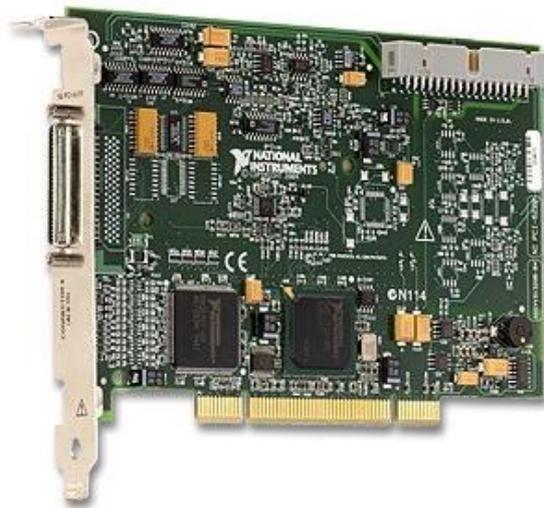


Figura 2.37 - PCI 6220

- PCIe – 6320

Placa de aquisição de dados multifuncional, com custo de 580€, com as seguintes características:

- 16 entradas analógicas (16bit, 250kS/s);
- 24 canais digitais;
- 4 canais PWM 32bit;

- Compatível com LabVIEW®, LabWindows™/CVI e Measurement Studio for Visual Studio .NET.



Figura 2.38 - PCIe - 6320

- DAQPad-6015

Placa de aquisição de dados multifuncional, com custo a partir dos 2210€, com as seguintes características:

- 16 analog inputs;
- 8 digital I/O;
- 2 analog outputs, 2 counter/timers;
- NI-DAQmx driver software and NI LabVIEW® SignalExpress LE interactive data-logging software.



Figura 2.39 - DAQpad-6015

Ao contrário das opções apresentadas anteriormente, esta permite a utilização do PWM, necessária ao projeto, pelo que esta placa será a mais indicada das oferecidas pelas NI.

2.5.4 Placa Arduíno

O Arduíno é uma plataforma de prototipagem, com código aberto, baseada na facilidade de utilização do *hardware* e *software*. As placas de Arduíno são capazes de ler entradas como a luz num sensor ou um dedo num botão e transformá-las numa saída, como ativar um motor ou ligar um LED. É possível dizer à placa o que fazer através do envio de uma serie de instruções para o microcontrolador existente na placa.

A ideia do Arduíno nasceu na Ivrea Interaction Design Institute, como uma ferramenta fácil para prototipagem rápida, focada nos estudantes sem conhecimentos aprofundados a nível de eletrónica e programação. Quando atingiu uma comunidade mais alargada, a placa de Arduíno começou a adaptar-se a novas necessidades e desafios, diferenciando a sua oferta desde simples placas de 8-bits até impressão 3D e ambientes embebidos.

De todas as placas Arduíno, a placa Mega 2560 é a mais indicada para o propósito e é apresentada na figura 2.40.

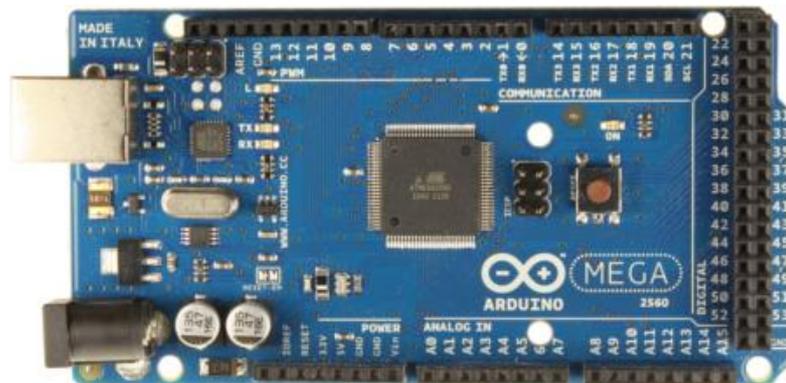


Figura 2.40 - Arduíno Mega 2560

O Arduíno Mega 2560 é um microcontrolador baseado no ATmega2560. Tem 54 entradas/saídas digitais (15 podem ser utilizadas como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas serie de hardware), um cristal oscilador de 16MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um cabeçalho ICSP e um botão de reset [17].

No que diz respeito ao custo do equipamento, o mesmo custa apenas 35€.

De notar que a simples utilização desta placa não permite a conexão com o LabVIEW® mas existe a possibilidade de utilização de uma ferramenta que promove a interface entre o LabVIEW® e a placa Arduino Mega 2560.

2.5.5 Arduino vs Placa NI

Para a aplicação pretendida a placa para a aquisição de dados deve cumprir os seguintes requisitos:

- 1 entrada analógica;
- 2 canais digitais;
- 1 canal com capacidade para PWM.

Tabela 2.1 - Tabela comparação de placas

	USB 6008	USB 6009	PCI 6010	PCI 6220	PCIe 6320	DAQ 6015	Arduino
Entradas analógicas	8	8	16	16	16	16	16
Saídas analógicas	2	2	2	0	4	2	0
Canais digitais	12	12	10	24	24	8	54
Resolução	12	14	16	16	32	16	8
Velocidade	10 kS/s	48 kS/s	200 kS/s	250 kS/s	250 kS/s	200 kS/s	200 S/s
PWM	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
USB	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Preço €	210	315	440	605	580	2210	42

Comparando as várias placas da NI com a placa Arduino Mega 2560 é fácil perceber que a nível económico a placa Arduino é claramente mais acessível que todas as outras. A nível técnico, uma vez que necessitamos de uma saída PWM, as placas NI plausíveis seriam a PCIe 6320 e DAQPad-6015. A primeira tem a grande desvantagem de não possuir conexão USB

para além de ter um custo muito superior à placa Arduino. A segunda tem um custo absolutamente proibitivo de 2210€.

Uma vez que a placa Arduino também possui saídas PWM e as suas características técnicas não prejudicam de qualquer forma o bom funcionamento de todo o sistema é claramente a mais indicada para o projeto.

Embora seja necessária a utilização de uma ferramenta adicional para a interface entre Arduino e LabVIEW®, esta ferramenta não apresenta nenhum custo adicional ao projeto e a placa Arduino será a utilizada.

2.5.6 Interface entre LabVIEW® e Arduino

Como referido anteriormente é necessário recorrer a uma ferramenta auxiliar para a interface entre o LabVIEW® e o Arduino. Essa ferramenta é o LINX e atualmente é reconhecida pela National Instruments como uma extensão do LabVIEW®.

O LINX fornece uma forma simples para utilizar os LabVIEW® VI's em interação com plataformas comuns como Arduino, chipKIT e myRIO.

Esta ferramenta é uma boa solução para projetos a nível académico pois não tem qualquer custo monetário e a sua utilização é bastante simples. No anexo VI podemos encontrar um tutorial para a instalação do LINX.

3. PROJETO DE NOVO SISTEMA DE CONTROLO E MONOTORIZAÇÃO PARA O FRICTORQ

Neste capítulo será feito um estudo e análise do *software* e *hardware* existentes no FricTorq assim como componentes de hardware passíveis de serem implementados de forma a melhorar o desempenho do equipamento.

Além disto é também apresentado o programa de controlo e monotorização desenvolvido em LabVIEW® para o equipamento.

3.1 Análise do sistema existente

Durante este subcapítulo, para além do estudo do *software* e *hardware*, são também identificados os problemas e limitações existentes, que possam ser eliminadas, tanto com o *software* a ser desenvolvido, como em componentes de *hardware*, passíveis de serem implementados no equipamento.

3.1.1 Software

O *software* utilizado para o controlo do equipamento tem como principais funções o controlo do motor e aquisição dos dados provenientes do sensor de binário. Uma vez que este foi desenvolvido já há vários anos por um elemento do departamento de engenharia mecânica não foi possível ter acesso ao código do mesmo, mas apenas ao executável.

Como apenas estava disponível o executável não foi possível perceber completamente como são efetuadas todas as operações no programa.

Todo o programa foi desenvolvido em visual basic e na figura 3.1 está ilustrado o painel frontal do mesmo.

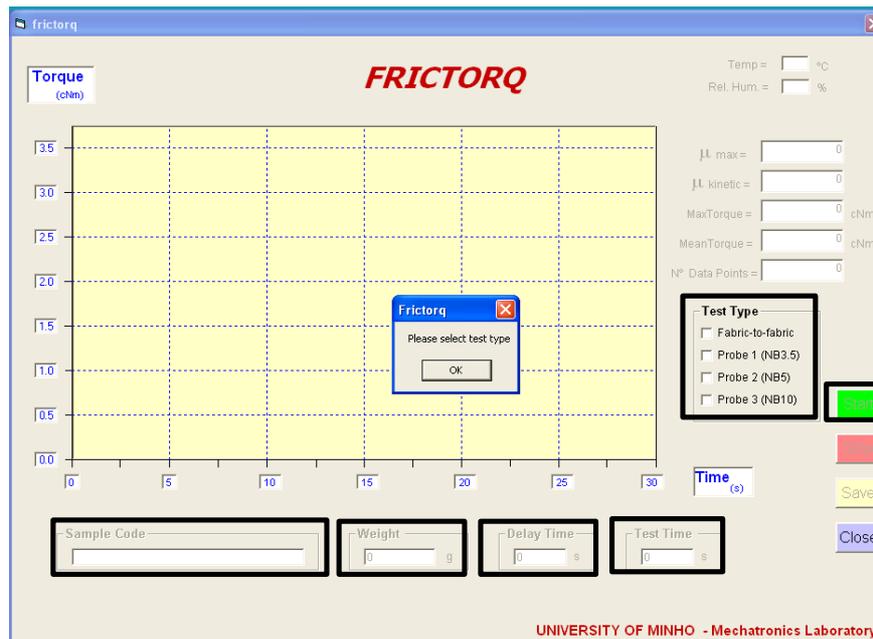


Figura 3.1 - Painel de controlo atual do FricTorq

Aquando da realização de um ensaio é necessário, à priori proceder à introdução dos seguintes parâmetros:

- Tipo de ensaio;
- Nome da amostra;
- Peso do corpo padrão;
- Tempo de *delay*;
- Tempo de teste;
- Temperatura;
- Humidade relativa.

A seleção do tipo de ensaio está relacionada com o tipo de corpo padrão utilizado no mesmo, pois a alteração do corpo padrão leva à alteração dos parâmetros necessários aos cálculos dos resultados do ensaio.

O nome da amostra apenas é necessário aquando da gravação dos resultados do ensaio.

O peso do corpo padrão é também um dos parâmetros necessários aos cálculos dos resultados finais.

O tempo de *delay* é a diferença temporal entre o início do ensaio e o início da aquisição de dados. Isto é, caso o valor introduzido seja, por exemplo, cinco segundos, então o *software* dá ordem de início ao motor, e só passados cinco segundos começa a adquirir os valores provenientes do sensor de binário. No caso do valor introduzido ser zero, então o início da

aquisição de dados coincidirá com o início de funcionamento do motor. Este tempo de *delay* pode ser bastante útil caso apenas se pretenda analisar o coeficiente de atrito cinético.

O tempo de teste, como o nome sugere, é o tempo durante o qual é realizado o ensaio.

Quanto à temperatura e humidade relativa estas têm que ser obtidas através de instrumentos externos uma vez que o equipamento não se encontra equipado para a medição das mesmas.

Cada uma destas entradas do programa tem que ser introduzida para a realização do ensaio com sucesso. Para o programa iniciar a execução do ensaio é necessário clicar no “Start”.

Durante o ensaio é apresentado um gráfico do torque em função do tempo. No caso de existir algum problema ou necessidade de parar o ensaio, a paragem pode ser efetuada através da opção “Stop”.

A figura 3.2 apresenta um exemplo do gráfico em tempo real dos dados de torque, adquiridos pelo programa durante o ensaio.



Figura 3.2 - Gráfico apresentado durante ensaio

No caso de o utilizador inserir um tempo de *delay*, o gráfico apenas é iniciado após a passagem desse tempo.

No final do ensaio, figura 3.3, o programa dá ordem ao motor para parar assim como termina a aquisição de dados e apresenta os resultados finais do ensaio.

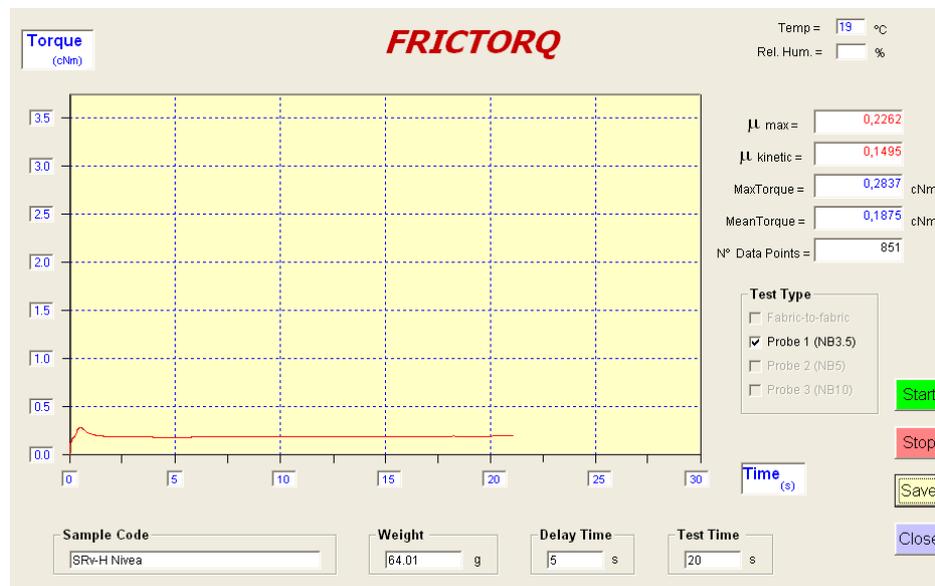


Figura 3.3 - Gráfico apresentado no final ensaio

O programa apresenta então as seguintes saídas:

- Gráfico torque em função do tempo;
- Torque máximo;
- Torque médio;
- Coeficiente de atrito estático;
- Coeficiente de atrito cinético;
- Número de amostras adquirido;
- Temperatura;
- Humidade relativa.

Como referido acima, o gráfico que é apresentado em tempo real é também apresentado no final do ensaio.

É a partir dos valores de torque máximo e torque médio que são calculados os valores do coeficiente de atrito estático e cinético respetivamente, sendo estes também apresentados. Como já foi referido anteriormente não foi possível aceder ao código do programa pelo que não é possível perceber se o cálculo do coeficiente de atrito cinético é feito de maneira a que os resultados sejam o mais fiáveis possível, pois o cálculo do mesmo não deve ter em conta o valor do coeficiente de atrito estático.

Atualmente os valores da temperatura e humidade relativa não são apresentados, pois o FricTorq não possui o equipamento necessário para a medição dos mesmos.

No final do ensaio podem também ser gravados num ficheiro excel os dados adquiridos e para isso é apenas necessário clicar no “Save”. Caso se pretenda encerrar o programa é utilizado o “Close”.

3.1.2 Limitações

Uma vez que o *software* já foi desenvolvido há vários anos, apresenta numerosas limitações que podem ser facilmente supridas no novo programa em LabVIEW®. Em primeiro lugar é necessário referir que a utilização do programa obriga a utilização de um computador perfeitamente obsoleto pois são necessárias portas serie e paralelas que hoje em dia já caíram em desuso. Só por si esta limitação é bastante impeditiva em termos de mobilidade e para além disso não se justifica nos dias de hoje a utilização de um computador daquele género.

Outra limitação do programa prende-se com o facto de sempre que pretendemos repetir o ensaio ser necessário fechar o mesmo e desligar o equipamento e voltar a abrir o programa e ligar o equipamento.

Durante o ensaio, caso seja necessário efetuar uma paragem, o programa bloqueia quando acionamos a opção “Stop”, não executando a sua função. Muitas vezes durante o ensaio também não são apresentados no gráfico os valores do torque em tempo real.

No final do ensaio, caso se pretenda guardar o gráfico apresentado, é necessário efetuar um *print screen*.

Para além de todas estas limitações, o programa não permite também funções como ensaios com outro sentido de rotação do motor, com velocidade variável durante o ensaio ou então a repetição automática de um número de ensaios definida pelo utilizador.

3.1.3 Hardware

Como já foi referido no início do capítulo 4, o equipamento contém três partes essenciais sendo que duas delas são parte do *hardware* do equipamento, o motor e sensor de binário. A terceira, o *software* de controlo, obriga à utilização de um computador completamente ultrapassado que também representa um dos componentes de *hardware* do FricTorq.

Para além destas três partes, o equipamento contém também um condicionador de sinal proveniente do sensor de binário, um *driver* para o motor, um opto isolador, uma fonte de

alimentação e toda a estrutura do equipamento de teste propriamente dito, assim como todos os utensílios utilizados para a realização dos ensaios. De notar que toda a comunicação entre os diversos componentes é feita através de cabos e portas serie ou paralelas.

Na figura 3.4 podemos observar um diagrama de blocos onde é apresentado o esquema de todo o equipamento.

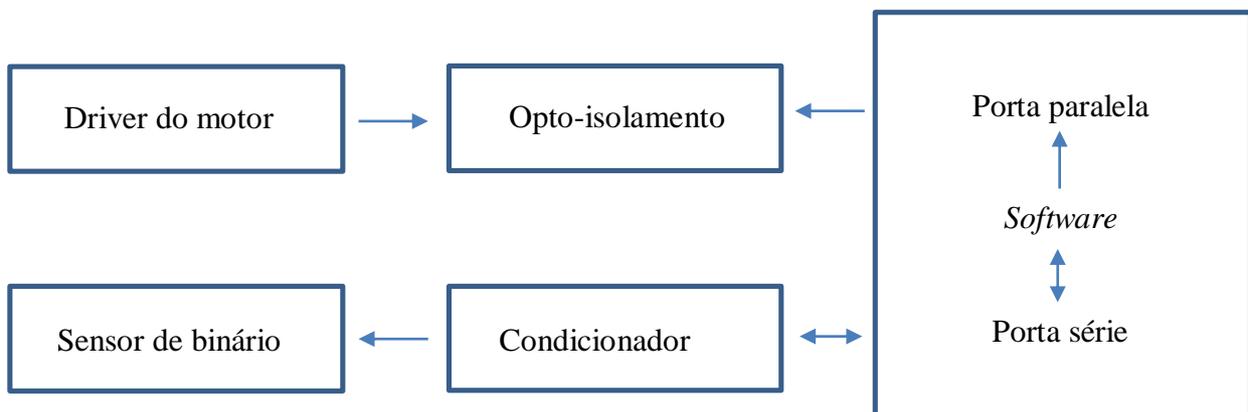


Figura 3.4 - Diagrama de blocos do equipamento

O sensor de binário e motor encontram-se acoplados na estrutura do equipamento como pode ser observado na figura 3.5 e ambos se encontram conectados a uma caixa que contém o condicionador de sinal, o *driver* do motor e fonte de alimentação do sistema.

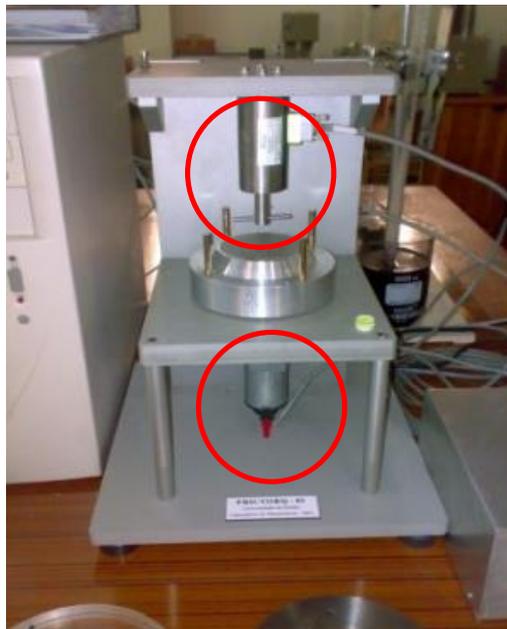


Figura 3.5 - Estrutura com motor e sensor de binário acoplado

O motor é um motor Crouzet de 12 V, com 10.3 W de potência e de corrente contínua e é responsável pelo movimento de rotação da base onde se coloca a amostra a ser testada. Este

está ligado a um redutor de engrenagens (1:2600) com correia dentada, o que proporciona uma velocidade de rotação de 1.77 mm/s à base de ensaios. Como é apresentado na figura 3.4, entre a drive do motor e o motor existe um opto-isolamento que tem como função proteger as entradas e saídas da porta paralela do PC. O opto-isolador permite também a eliminação do ruído pois é ótimo para esse efeito.

O modelo do sensor de binário é o RTM 1810 (1-1) da marca S. Himmelstein and Company e mede o torque produzido pelo contacto entre o corpo padrão e a amostra em movimento. Os valores medidos estão contidos na gama de 0.1 cNm até 10 cNm. Uma vez que este componente também já é bastante antigo apenas foi possível ter acesso ao *datasheet* do modelo atual equivalente e pode ser consultado no anexo III.

No que diz respeito ao condicionador de sinal é da mesma marca que o sensor de binário e é o modelo serie 710. Este condicionador funciona como um transdutor e utiliza uma escala de medida entre 0.1 cNm e 10 cNm e apresenta uma exatidão de $\pm 0.10\%$ da gama de funcionamento.



Figura 3.6 - Condicionador de sinal modelo 701

Esta é uma parte bastante importante do equipamento pois é a partir da mesma que o sinal proveniente do sensor é transmitido ao *software* de controlo. Este componente recebe o sinal do sensor e envia-o através de uma porta serie para o *software* sob a forma de uma *string*.

Na figura 3.7 estão ilustradas as entradas CH1 e CH2 do condicionador, sendo que neste caso o mesmo apenas se encontra preparado para uma entrada, e as saídas I/O e COM. A porta



Figura 3.7 - Entradas e saídas do condicionador de sinal

série utilizada atualmente para efetuar a comunicação série com o controlador atual é a COM, o que não será o caso aquando dos novos desenvolvimentos, pois será utilizada a porta I/O que é apresentada mais à frente.

No que diz respeito à fonte de alimentação, figura 3.8, foi feita uma esquematização apresentada na figura abaixo.

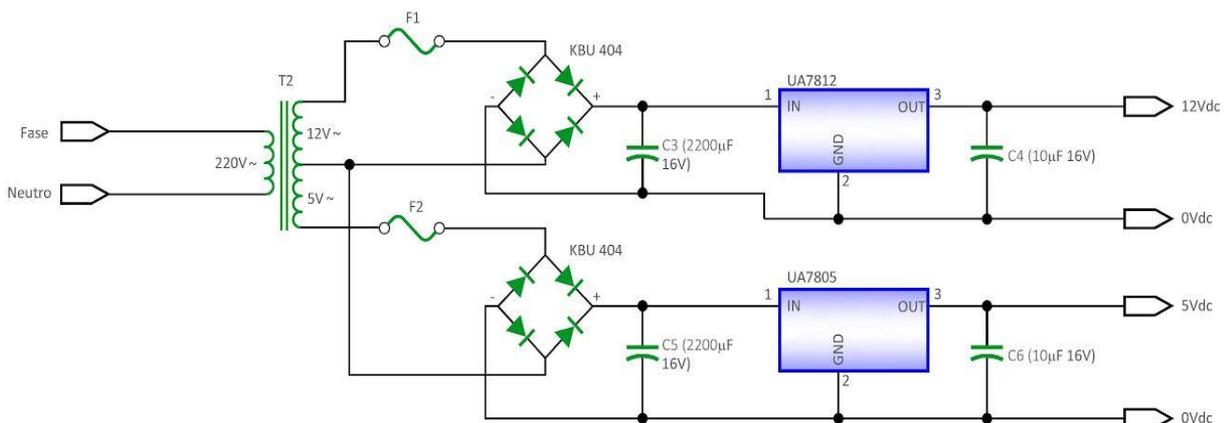


Figura 3.8 - Esquematização fonte de alimentação

De notar que a tensão de entrada da fonte de alimentação é retirada diretamente da caixa do condicionador de sinal é posteriormente utilizado um transformador que permite a utilização de 12 Vdc e 5 Vdc. Apenas os 12 Vdc são utilizados para a alimentação do motor enquanto que os 5 Vdc não são necessários para o funcionamento do sistema como ele se encontra atualmente.

Por fim é necessário referir o driver do motor, figura 3.9, do qual foi feita também uma esquematização do mesmo, de forma a facilitar a compreensão.

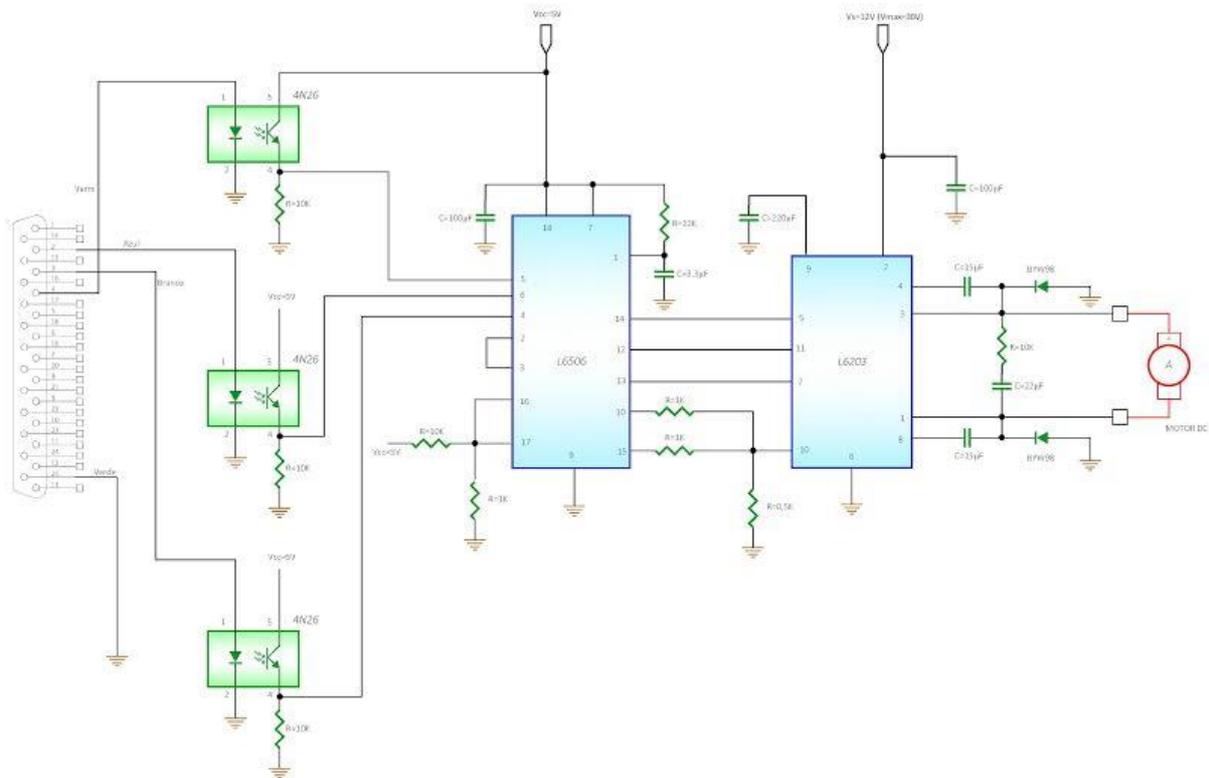


Figura 3.9 – Esquematização do driver do motor

Uma porta paralela faz a comunicação entre o *software* e o *driver* do motor, são utilizados os pinos 2, 3, 4 e 25. Estes pinos, com exceção do 25, estão ligados ao controlador L6506, que combinado com o L6203 funciona como controlador para o motor DC. O pino 25 corresponde ao *ground*, os pinos 5 e 6 correspondem à direção e o 4 ao *duty cycle*.

Os pinos 5 e 6, como mencionado anteriormente controlam a direção de rotação do motor, este controlo é feito através do envio de um sinal digital 0 ou 1, por um dos canais ou ambos. Caso seja ativado, por exemplo, o pino 5 o motor gira num sentido, enquanto se for ativado o pino 6, o motor irá girar no sentido contrário. Se forem ativados os dois pinos, o motor fica imobilizado. No caso em que nenhum dos pinos é ativado o motor fica livre, isto é, o motor não oferece qualquer tipo de resistência ao movimento.

O pino 4 corresponde ao pino onde é definido o *duty cycle* da onda PWM, ou seja, é a partir do pino 4 que podemos regular a tensão que chega ao motor e desse modo controlar a sua velocidade de rotação.

Tanto o driver do motor como a fonte de alimentação, o opto-isolador e o condicionador de sinal encontram-se dentro da mesma caixa, figura 3.10.

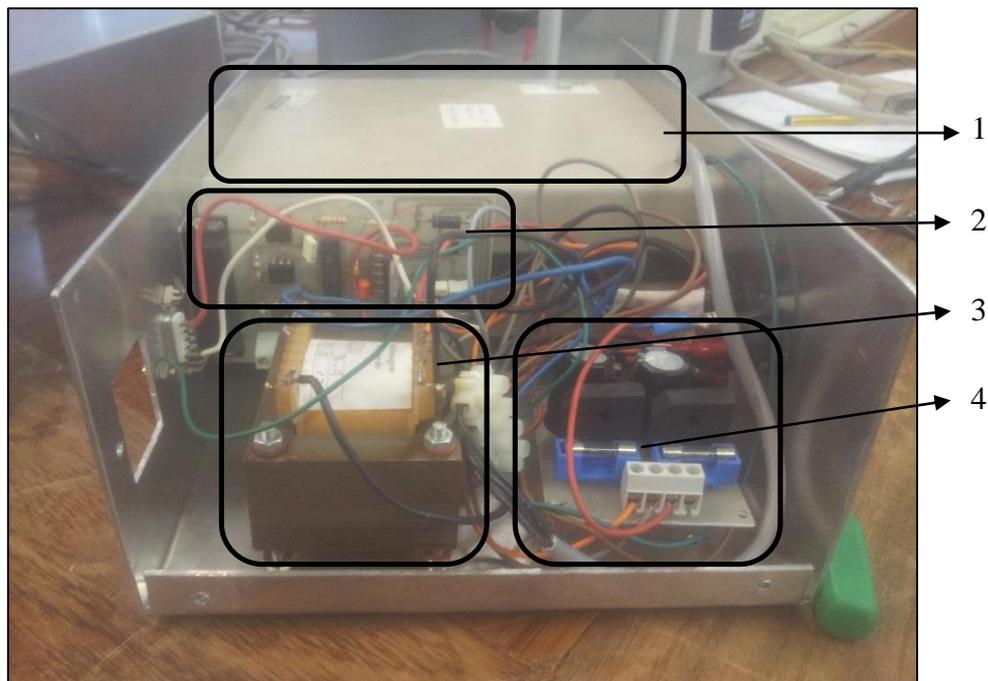


Figura 3.10 - Caixa com componentes hardware

Na figura 3.10 temos os diferentes componentes contidos dentro da caixa, estando assinalado com o número 1 o condicionador de sinal, com 2, o driver do motor, com o 3, o transformador e com o 4, o opto-isolador.

3.1.4 Limitações

Ao nível de *hardware* as principais limitações estão relacionadas com o driver do motor uma vez que o mesmo é uma placa artesanal, já com componentes ultrapassados e que não permitem algumas funções básicas. Quanto aos componentes motor, fonte de alimentação, sensor de binário e condicionador de sinal encontram-se perfeitamente aceitáveis, para o objetivo do equipamento. Temos também uma grande limitação, já referida no capítulo anterior, relacionada com a necessidade de utilização de um computador completamente ultrapassado para o *software* atual.

As principais limitações do driver do motor, referidas acima, prendem-se com o facto de este apenas permitir a rotação do motor no sentido horário e não permitir a utilização do motor em baixas velocidades.

3.2 Melhorias do *Hardware*

Neste subcapítulo é analisada uma possível substituição do driver do motor assim como a adição de um sensor ao equipamento, para medir temperatura e humidade relativa. De notar que o novo *software* estará preparado para a utilização destes componentes.

3.2.1 Driver do motor

De forma a eliminar as limitações do atual driver do motor, uma boa solução seria o driver L298N, com capacidade para controlar até dois motores de 3 V a 30 V DC. Como neste caso apenas queremos controlar um motor 12 V DC esta solução é a ideal, uma vez que permite a rotação do motor em ambos os sentidos, assim como a sua utilização com velocidades reduzidas.



Figura 3.11 - L298N motor driver

Todas as ligações que existem atualmente entre o motor e o driver permaneceriam inalteradas, apenas seria substituído o driver atual pelo L298N. Na figura 3.12 podemos observar uma esquematização das ligações a serem efetuadas entre Arduino, placa L298N e o motor.

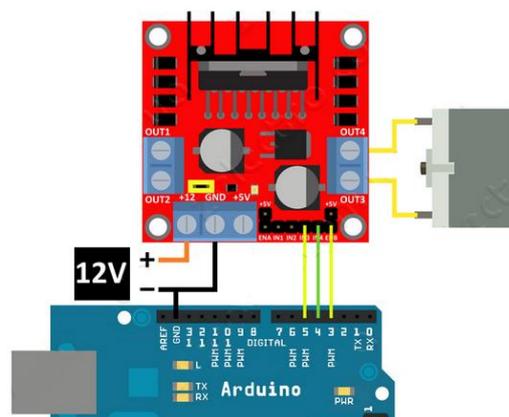


Figura 3.12 - Esquema ligações Arduino, driver e motor

Na figura 3.14 podemos observar um exemplo de ligação para a utilização do sensor TMP36 com o Arduino.

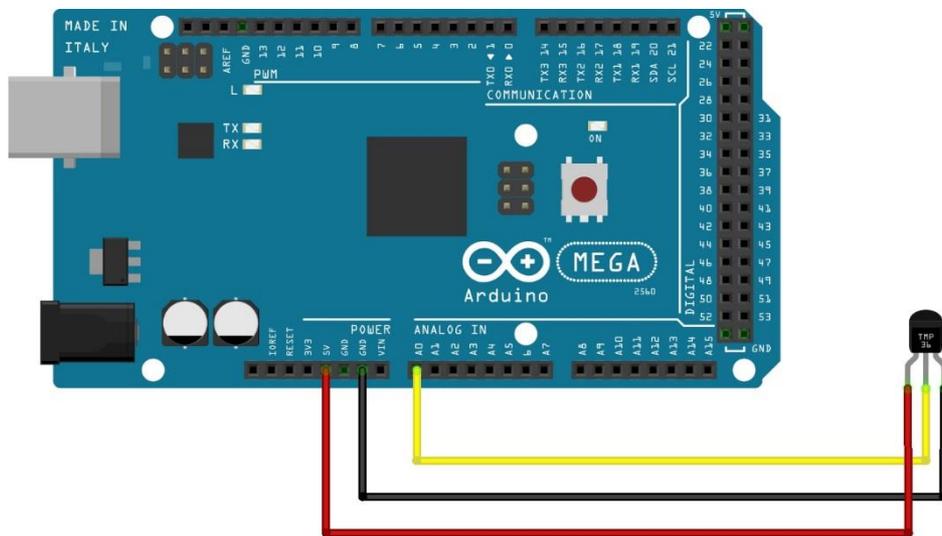


Figura 3.14 – Conexão entre Arduino e sensor TMP36

Quanto ao sensor de humidade relativa, figura 3.15, o HIH-4030 mede a humidade relativa e devolve o resultado no formato analógico praticamente linear. As suas características são as seguintes:

- Alimentação entre 4 a 5.8 Vdc, com 5 V como valor ótimo;
- Consumo típico de 200 μ A;
- Elevada fiabilidade;
- Resposta rápida.



Figura 3.15 - Sensor HIH-4030

A figura 3.16 ilustra também como pode ser efetuada a ligação deste sensor com o Arduino.

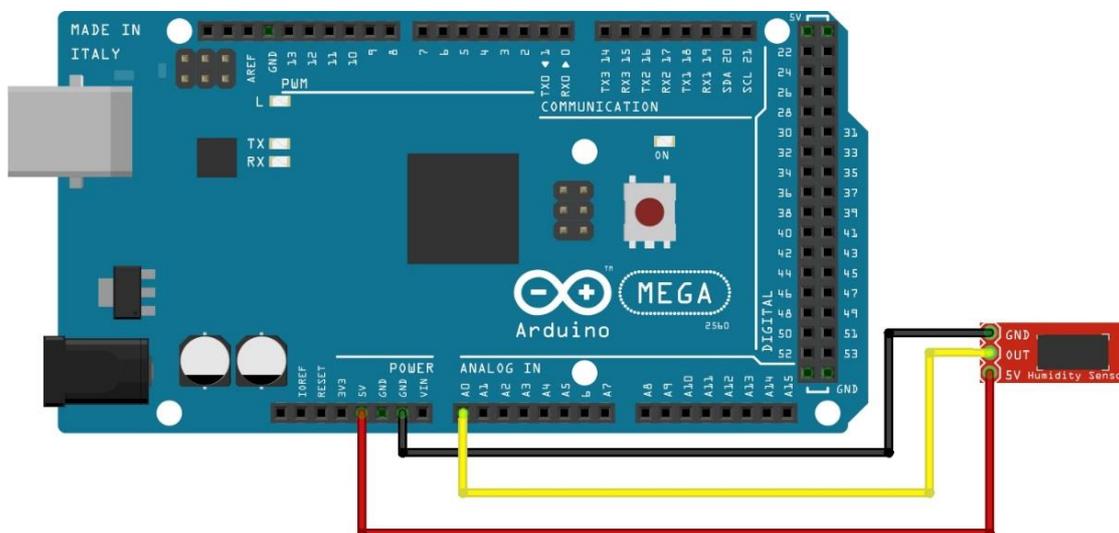


Figura 3.16 – Conexão entre Arduino e sensor HIH-4030

Através das características dos sensores pode-se perceber facilmente que a precisão é mais que suficiente para a aplicação em causa e no que diz respeito a custos também apresentam ambos um custo reduzido. No anexo VI encontra-se o *datasheet* do sensor de humidade.

3.3 Apresentação e discussão do novo sistema de controlo

Durante este capítulo é apresentado e discutido o novo sistema de controlo desenvolvido para o FricTorq assim como a sua validação.

Após a escolha da plataforma LabVIEW® como a ideal para o desenvolvimento do novo programa de controlo para o FricTorq e da placa Arduino Mega 2560 para a aquisição de dados, foi necessário perceber como podia ser adquirido o sinal proveniente do condicionar de sinal de sensor de binário e efetuado o controlo do motor. Isto será também explicado durante este capítulo.

O fluxograma do programa é também apresentado assim como a sua calibração, e calibração do sensor de binário.

Na figura 3.17 podemos observar a arquitetura do sistema projetado, onde estão representados todos os componentes assim como todas as ligações entre os mesmos.

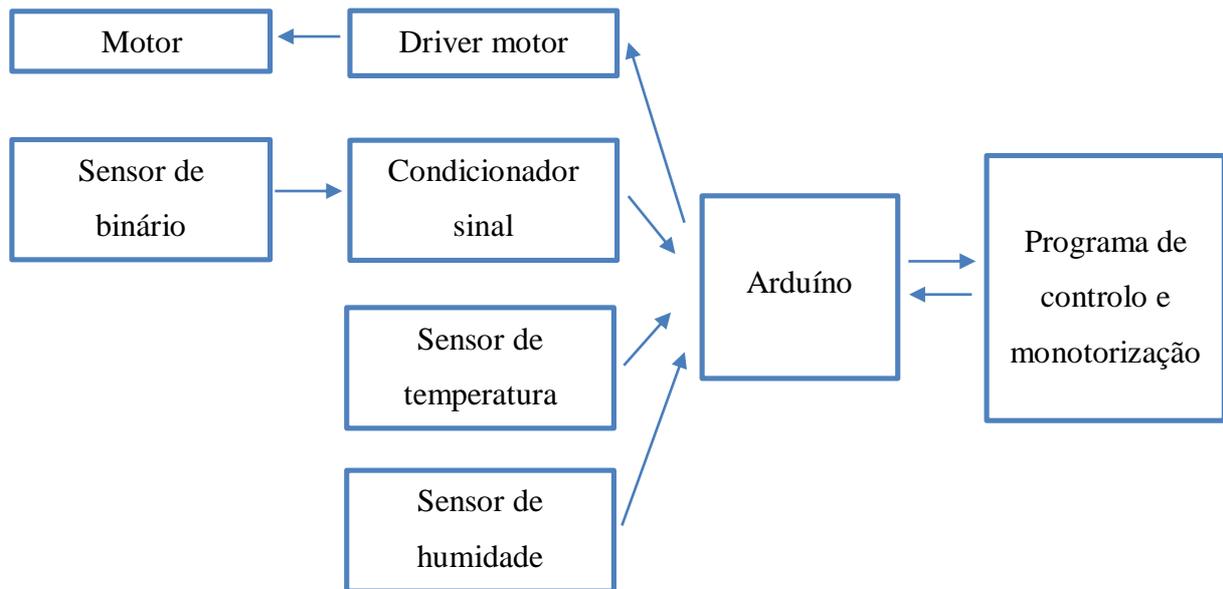


Figura 3.17 - Arquitetura do sistema

3.3.1 Sinal do condicionador

Uma vez que o Arduíno tem apenas capacidade de adquirir sinais analógicos entre 0 V e 5V foi necessário proceder ao estudo das saídas do condicionador de sinal e percebeu-se que através da utilização da porta Logic I/O podemos obter um sinal analógico, correspondente à leitura do sensor de binário, dentro da escala passível de ser recebida pelo Arduíno.

A porta Logic I/O é uma porta serie de 15 pinos e pode ser observada na figura 3.7. Na tabela 3.1 temos a listagem das saídas de cada pino.

Tabela 3.1 - Saída pinos porta Logic I/O

1	2	3	4	5
Logic Out 1	Logic Out 2	Logic Out 3	Logic Out 4	Logic Out 5
6	7	8	9	10
Logic Out 6	Logic In 1	Logic In 2	Logic In 3	Logic In 4
11	12	13	14	15
5VDC	Logic GND	ANA GND	ANA out 1	ANA out 2

Para a aquisição do sinal pretendido é necessário então utilizar os pinos 14 ou 15, pois correspondem às saídas analógicas da porta e o pino 13 que corresponde ao ground analógico. A saída destes pinos é definida no próprio condicionador e pode corresponder ao canal de

entrada 1 ou 2 do condicionador ou então a um terceiro canal, que pode ser descrito como um canal de cálculo. Uma vez que o condicionador em questão apenas está preparado para um canal de entrada foi definido o mesmo como saída, em ambos os pinos analógicos.

Além desta definição das saídas analógicas foi necessário proceder à remoção dos *jumpers* 23 e 24, figura 3.18.

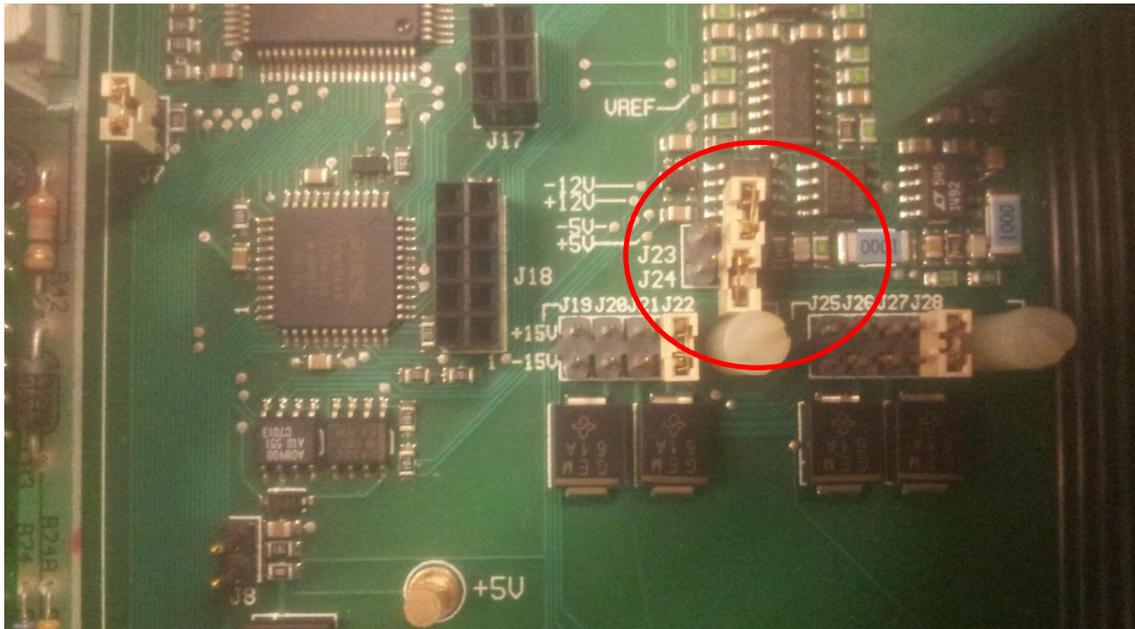


Figura 3.18 - Jumpers 23 e 24 desativados

Isto é feito dentro da própria caixa do condicionador, uma vez que por definição a utilização dos mesmos faz com que a escala das saídas analógicas seja de 0 V a 10 V. Ao desativar os mesmos a escala passa a ser de 0 V a 5 V, como pretendido.

A ligação entre o Arduino e a porta serie Logic I/O é efetuada através de um cabo com uma extremidade que corresponde ao macho da porta serie de 15 pinos e outra com dois cabos correspondentes aos pinos 13 e 14 da porta serie. Cada um destes cabos é ligado ao Arduino sendo que o 13 (preto) corresponde ao *ground* e o 14 (amarelo) corresponde à saída analógica.

Na figura 3.19 podemos ver a ligação amarela conectada na entrada analógica A0 do Arduino mas pode ser escolhida qualquer outra desde que no programa seja definida. Por defeito a porta seleccionada no programa é a A0.

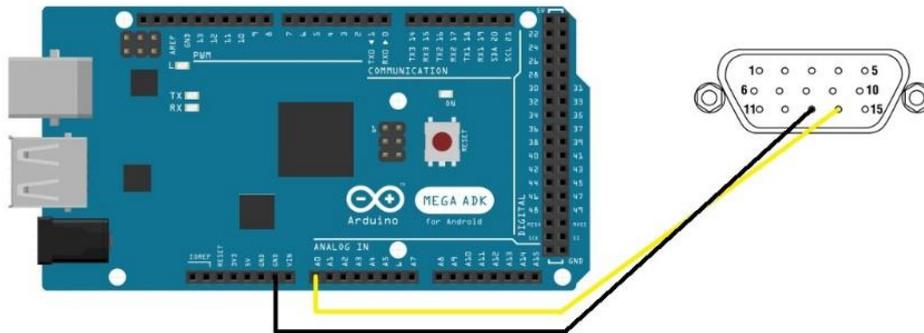


Figura 3.19 - Esquema ligação Arduino e porta Logic I/O

3.3.2 Controlo do motor

Quanto ao controlo do motor, uma vez que será reaproveitado o driver existente, apenas é necessário fazer a conexão do Arduino com o driver. Essa conexão será feita através da porta serie db25 e serão utilizados apenas os pinos com as funções apresentadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Correspondência pinos com função

2	Direção 1
3	Duty Cycle
4	Direção 2
25	Ground

A esquematização da ligação é apresentada na figura 3.20 onde o *ground* é representado pelo fio verde, a direção 1 e 2 pelos fios azul e vermelho respetivamente e o *duty cycle* pelo fio amarelo. De notar que no programa as portas digitais do Arduino definidas para o controlo da direção serão as 22 e 23 para a direção 1 e 2, respetivamente. No caso do duty cycle a porta predefinida é a 8, mas poderia ser qualquer uma das portas do Arduino que suporte o PWM

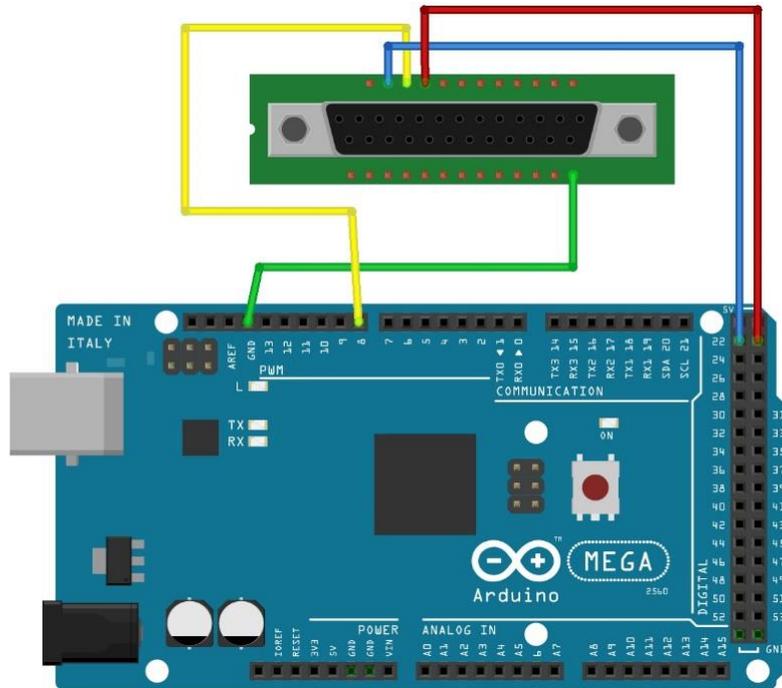


Figura 3.20 - Conexão Arduino porta serie db25 driver motor

3.3.3 Fluxograma do programa

Para facilitar a compreensão de todo o programa foi construído um fluxograma, uma vez que explicar todo o programa através do código em si pode ser bastante complicado. O fluxograma está dividido em três partes e cada uma delas é apresentada individualmente, nas figuras 3.21, 3.22 e 3.23, visto que o mesmo é bastante extenso. Desta forma simplifica-se a sua apresentação.

Inicialmente é feita a conexão com o Arduino onde o programa verifica a conexão com o mesmo, através da porta USB previamente definida, neste caso é a porta COM2. Em seguida é apresentada a seguinte mensagem ao utilizador:

“Selecione o tipo de teste e introduza os seguintes parâmetros seguidos de "OK":

Nome da amostra;

Taxa de aquisição;

Canal de aquisição;
Velocidade de aquisição;
Tempo de ensaio;
Temperatura;
Humidade relativa;
Sentido de rotação do motor.”

Como a própria mensagem diz é altura de o utilizador introduzir todos os parâmetros relativos ao ensaio a realizar e em seguida pressionar “Ok”. O painel principal do programa foi dividido em dois separadores, num deles são definidos os parâmetros do ensaio e no outro é iniciado e terminado o ensaio, assim como são apresentados alguns dados relativos ao ensaio. De notar que o sentido horário de rotação do motor se encontra predefinido e que o programa apenas permite que um dos sentidos esteja selecionado, isto é, caso seja selecionado o sentido anti-horário, automaticamente o sentido horário se desativa e vice-versa.

Quando o botão “Ok” é pressionado, o programa procede a validação dos parâmetros do ensaio (que necessitam de validação) e no caso de estes não serem válidos, apresenta a seguinte mensagem:

“Algum dos seguintes valores encontra-se fora do limite:
Velocidade (0-1.77 mm/s);
Taxa de aquisição (até 100 amostras/s);
Canal analógico (0-15).”

Em seguida deve ser novamente pressionado o “Ok” e a situação descrita repete-se até que os valores (a serem validados) sejam válidos.

Uma vez validados com sucesso os parâmetros, o programa apresenta a seguinte mensagem:

“Caso pretenda repetir o ensaio insira o número de ensaios pretendidos. Caso queira variar a velocidade durante o ensaio acione a opção.”

No caso de o utilizador pretender repetir o ensaio ou variar a velocidade, optou-se por apresentar esta mensagem de forma a informar o utilizador pois são opções que não necessitam de validação. No caso de o utilizador pretender repetir o ensaio é necessário escolher qual o número de ensaios pretendidos sendo que o número de ensaios predefinidos é um. Para o caso em que se pretende a variação da velocidade, automaticamente a velocidade inicial do ensaio será equivalente a um *duty cycle* de 0.2 e ignorada qualquer velocidade inicial definida anteriormente. A forma como é efetuada a variação de velocidade durante o ensaio é explicada mais à frente.

Terminadas estas etapas prévias ao ensaio propriamente dito, é necessário trocar de separador e passar ao separador onde é feito o controlo do ensaio. Uma vez neste separador, quando é pressionado o botão “INICIAR” o programa procede à execução do ensaio segundo os parâmetros definidos pelo utilizador.

Em primeiro lugar verifica se o utilizador selecionou a opção de repetir ensaio. Em caso afirmativo ou negativo o programa começa a contar o tempo de ensaio e inicia a aquisição do sinal proveniente do canal analógico, iniciando o movimento do motor. Para além disso o programa apresenta também de imediato as leituras provenientes do canal analógico, em tempo real.

Em ambos os casos verifica se a opção variar velocidade se encontra ativa ou não. No caso de se encontrar desativada, o programa liga o motor com a velocidade definida pelo utilizador e continua com a mesma até que o tempo decorrido seja igual ou superior ao tempo de ensaio. Caso seja verdadeira a opção variar velocidade o programa inicia o motor com um *duty cycle* de 0.2, como referido acima, e faz um incremento de 0.2 no *duty cycle* de cada vez que o tempo decorrido ultrapassa 1/5 do tempo de ensaio. Isto faz com que a opção variar ensaio tenha cinco degraus de velocidade correspondentes a 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 e 1 valores de *duty cycle* do motor. Simultaneamente vai também verificando sempre quando é que o tempo decorrido é igual ou superior ao tempo de ensaio, para parar o ensaio.

Quando o tempo decorrido é superior ao tempo de ensaio o programa pára o motor e no caso de repetir o ensaio espera 1,5 segundos. Ainda, no caso de repetição do ensaio, após esperar os 1,5 segundos, o programa volta a executar novamente todo o procedimento, para o número de ensaios introduzido pelo utilizador.

A partir do momento em que o utilizador inicia o ensaio, o comando “PARAR” encontra-se em *standby*. Caso seja ativado em qualquer momento durante o ensaio, o ensaio é automaticamente terminado e desligados o motor e a aquisição.

Por fim o programa pergunta se o utilizador pretende guardar os dados relativos ao ensaio ou ensaios e no caso afirmativo são guardados todos os dados relativos ao mesmo, na diretoria desejada. Em seguida pode ser selecionado repetir o ensaio ou não. Caso sim, o programa volta à introdução dos parâmetros do ensaio, caso contrário o programa é encerrado.

Em relação à voltagem proveniente do canal analógico, é automaticamente convertida em torque durante o ensaio e conforme o tipo de ensaio selecionado é também efetuado o cálculo de coeficiente de atrito, correspondente a esse valor de torque. Ambos os valores são guardados em *arrays*, para tratamento no final no ensaio. Uma vez terminado o ensaio, os valores de torque e atrito são tratados, apresentados e gravados, se pretendido. A determinação

do valor médio de torque e atrito são efetuados a partir da posição do valor máximo, de forma a obter a maior fiabilidade possível nos resultados.

O programa encontra-se apenas preparado para efetuar ensaios com um corpo padrão, uma vez que todos os outros tipos de ensaio caíram em desuso, mas caso seja necessário adicionar um novo tipo de ensaio, a adição ao programa das novas propriedades do ensaio é bastante simples, pois o programa já foi desenvolvido de forma a que novos ensaios fossem facilmente adicionados.

Como neste momento o equipamento não contém o sensor de temperatura e humidade, a introdução destes valores é feita pelo utilizador mas no caso da adição destes sensores, o programa pode facilmente ser alterado para a aquisição dos valores provenientes destes sensores.

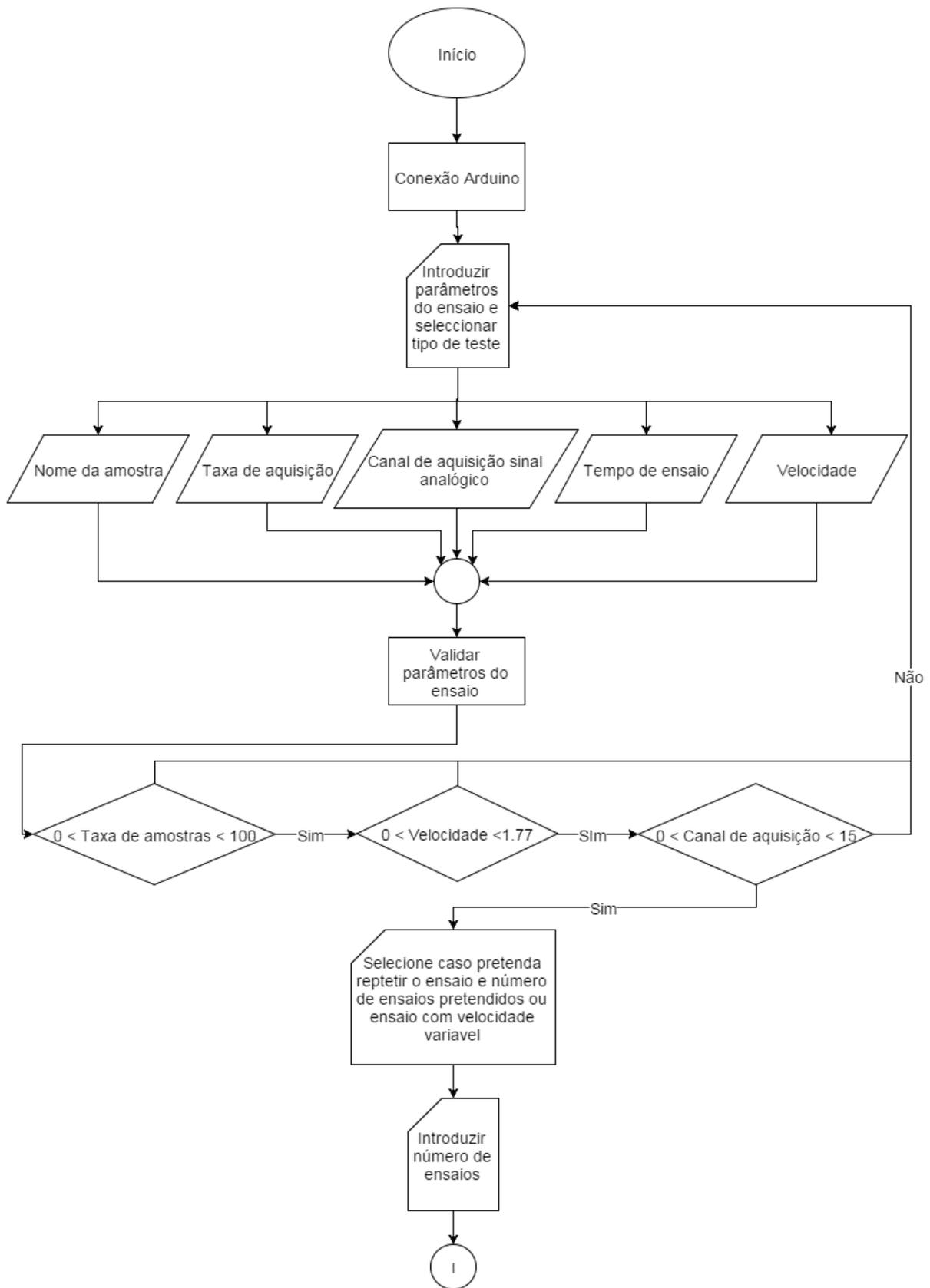


Figura 3.21 - Fluxograma parte I

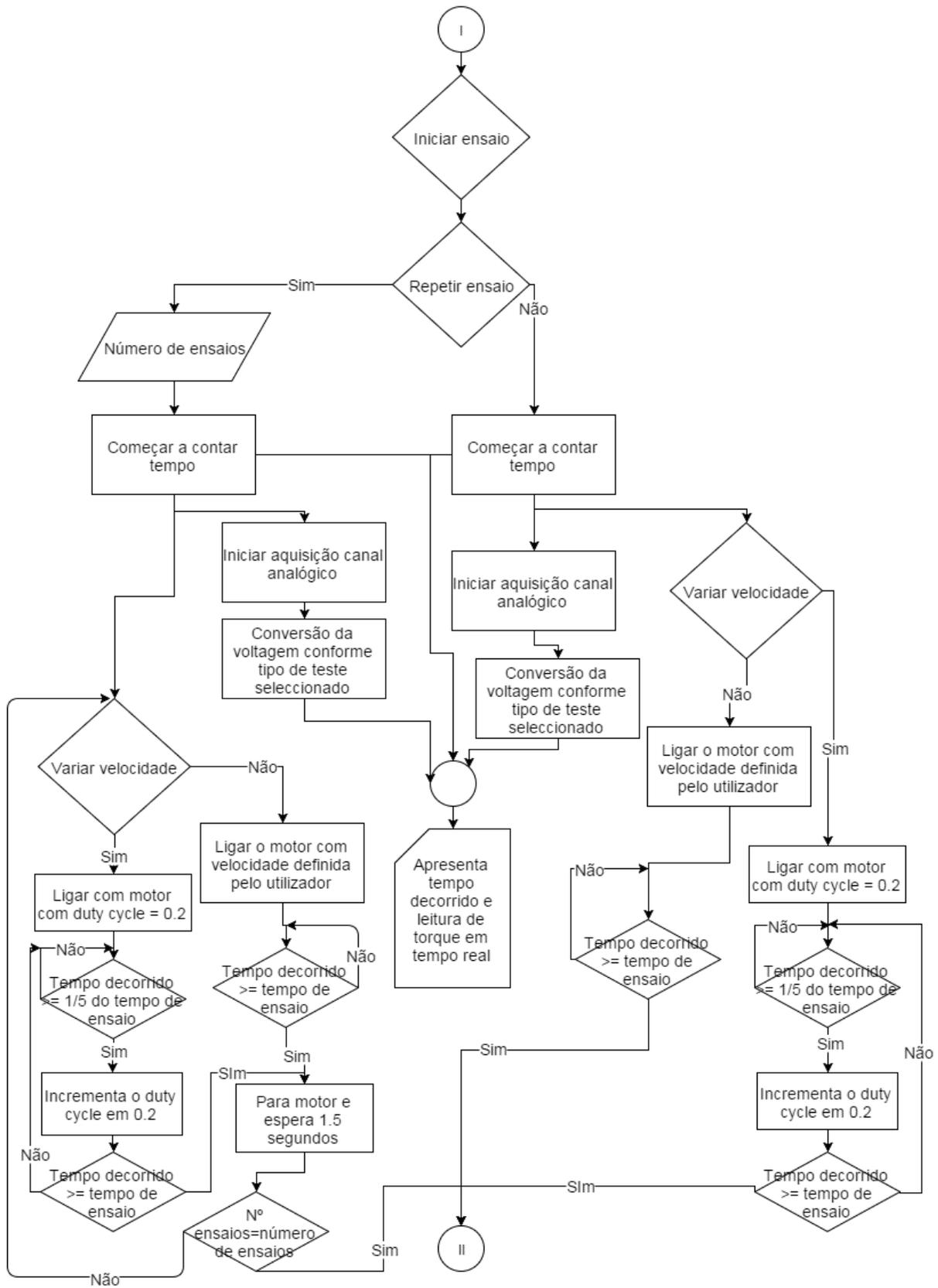


Figura 3.22 - Fluxograma parte II

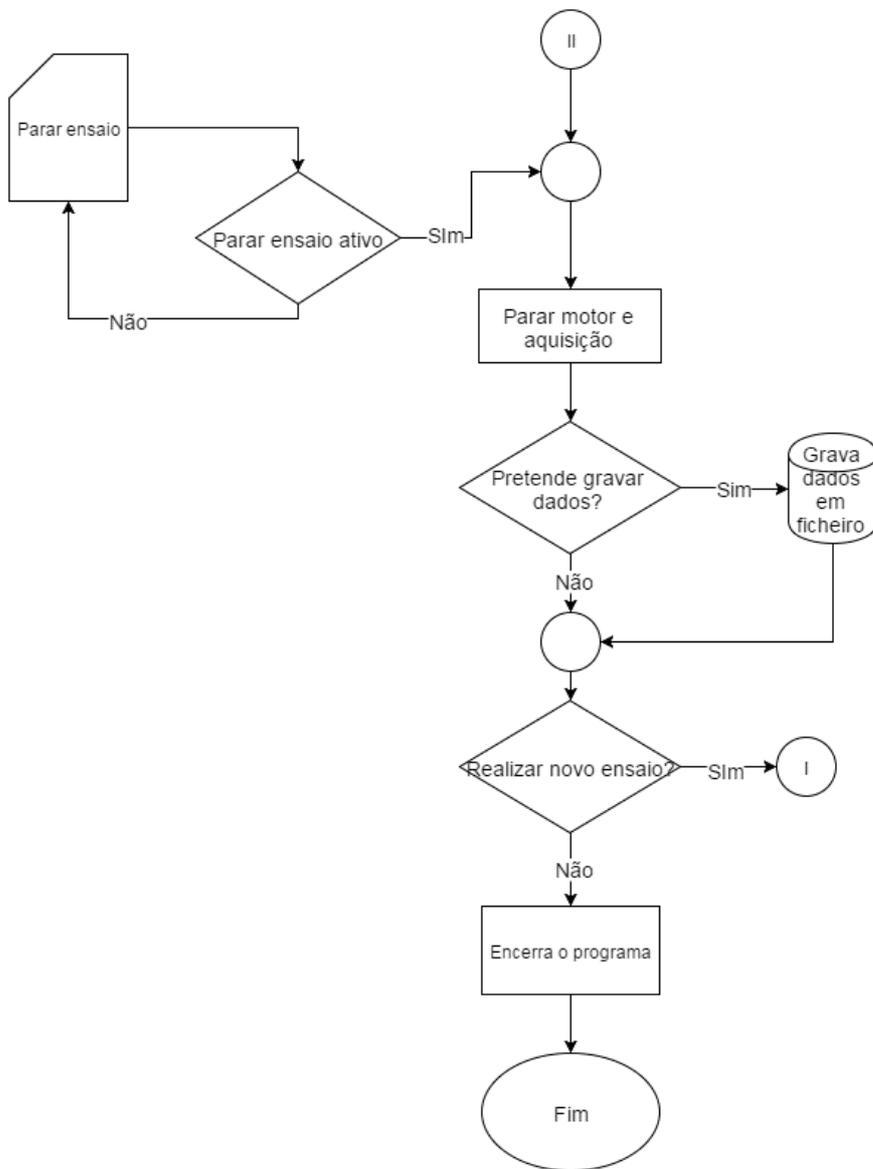


Figura 3.23 - Fluxograma parte III

3.3.4 Painel de interface com utilizador

O painel de interface com o utilizador do programa é apresentado nas figuras 3.24 e 3.25. Como já foi referido antes, o programa contém dois separadores onde são definidas as propriedades do ensaio e o controlo do ensaio. A primeira figura apresenta o separador denominado “Propriedades de ensaio” e a segunda o separador denominado “Controlo do ensaio”.

Em ambas as figuras aparece também o gráfico onde são apresentadas as leituras em tempo real de torque, assim como os valores de temperatura e humidade relativo. No final do ensaio são também mostrados por baixo do gráfico, os valores de torque máximo e médio e o atrito estático e dinâmico. De notar que estes valores e o gráfico encontram-se sempre visíveis independentemente do separador que se encontra selecionado.

No que diz respeito ao separador “Propriedades do ensaio” podemos observar o local onde são introduzidos os valores pretendidos para posterior validação assim como os botões para seleccionar o sentido de rotação do motor, a repetição do ensaio, ou a variação da velocidade. Para além disso existe também o botão “Ok” que quando pressionado ativa a validação das propriedades.

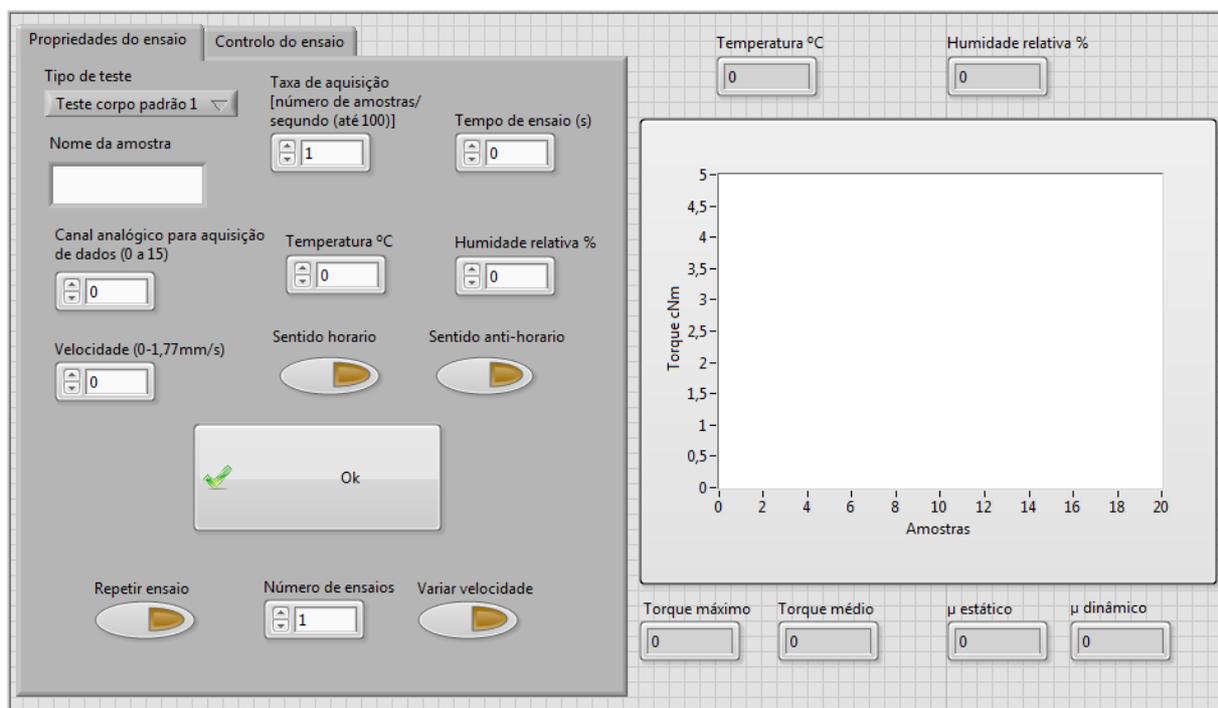


Figura 3.24 - Separador "Propriedades de ensaio"

No separador “Controlo do ensaio”, ilustrado na figura 3.25, é apresentado o tempo de aquisição atual, a velocidade atual do motor e a leitura atual, proveniente do canal analógico. A velocidade é apresentada através de um velocímetro e um indicador numérico. Além disto, o

separador contém também os botões que permitem iniciar e parar o ensaio, e duas caixas de texto onde são apresentados qualquer tipo de erros encontrados na conexão entre o programa e o Arduino.

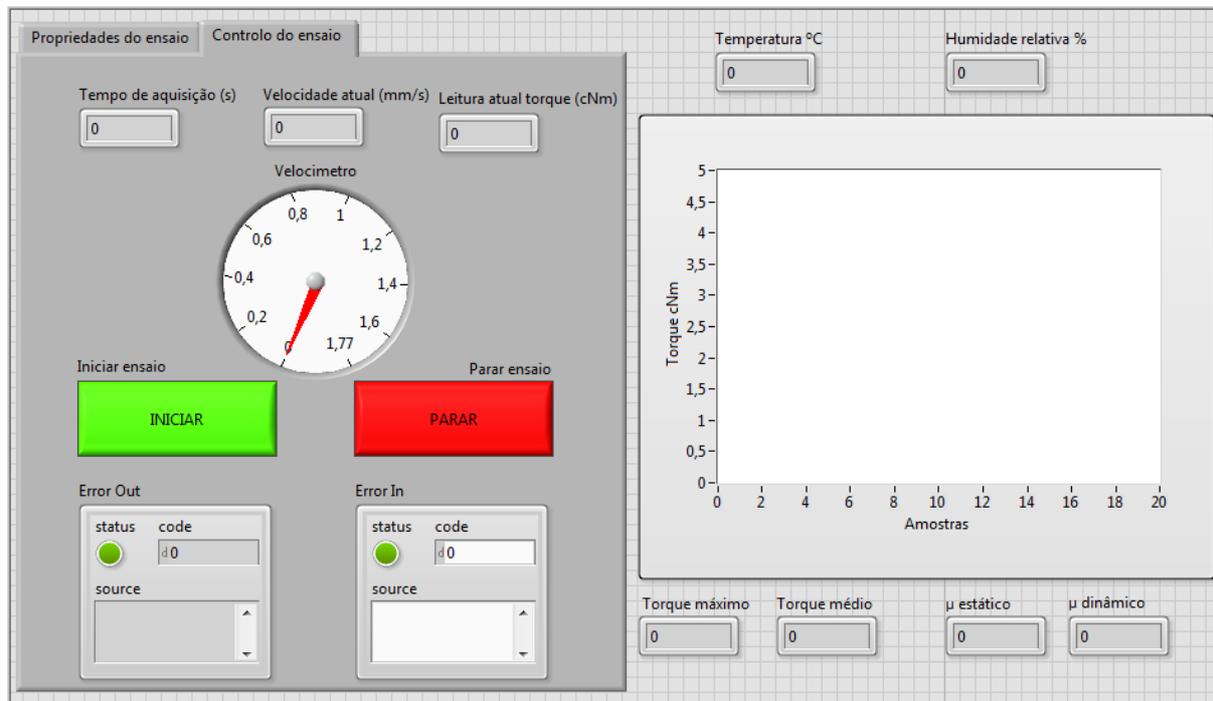


Figura 3.25 - Separador "Controlo do ensaio"

3.4 Calibração do Software

Para que os resultados dos ensaios fossem o mais fiáveis possível, a calibração do programa foi uma etapa importante do trabalho, pois relaciona-se diretamente com os resultados obtidos nos ensaios.

Uma vez que o sinal proveniente do condicionador de sinal é uma voltagem, foi necessário efetuar uma calibração no próprio *software*, de forma a transformar a voltagem de entrada no valor de torque correspondente.

Visto isto, e sabido que o condicionador de sinal apresenta o valor de torque em tempo real obtido pelo sensor de binário, foi aplicada uma carga constante no sensor de binário, e através da leitura do valor de voltagem fornecido pelo condicionador de sinal e comparando com o valor de torque apresentado no condicionador de sinal, foi possível chegar rapidamente à conversão da voltagem para torque através da seguinte expressão:

$$Torque (cNm) = \frac{Voltagem}{0.65} \quad (3.1)$$

Esta conversão é efetuada no próprio programa e logo após a aquisição do sinal analógico.

Para além desta calibração, pode também ser necessário efetuar a calibração do próprio sensor de binário previamente ao ensaio, mas caso esta seja necessária, o procedimento encontra-se explicado no protocolo de ensaio, apresentado mais à frente neste trabalho.

4. VALIDAÇÃO DO PROGRAMA DESENVOLVIDO

De forma a validar o programa desenvolvido foram efetuados testes no equipamento utilizando o programa desenvolvido e o que existe atualmente. De seguida os resultados foram comparados.

Os testes realizaram-se utilizando três amostras diferentes e efetuaram-se dez testes para cada uma, utilizando cada um dos programas. No total foram realizados 60 ensaios onde foram registados os valores de torque máximo e médio e atrito estático e dinâmico.

Ter em atenção que todos os testes foram realizados nas mesmas condições, utilizando o mesmo corpo padrão e os parâmetros apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Parâmetros de ensaio

Velocidade	Taxa de aquisição	Tempo de ensaio
1.77 mm/s	42 amostras/s	20 segundos

Foi tomado em consideração o facto do programa já existente recolher cerca de 840 amostras durante um ensaio com vinte segundos e de modo a que os ensaios fossem o mais semelhantes possível, com o programa desenvolvido foi definido um número de 42 amostras por segundo de forma a obter as cerca de 840 amostras no final do ensaio. Os ensaios foram realizados alternadamente, ou seja, um com o programa atual e outro com o programa desenvolvido.

Para a realização dos ensaios foi utilizado o protocolo de ensaio apresentado e explicado no subcapítulo 4.1.

4.1 Protocolo de ensaio

O protocolo de ensaio tem como objetivo facilitar a utilização do *software* desenvolvido de forma correta, para a realização de ensaios no equipamento FricTorq. Este protocolo contém todos os passos necessários à realização de um ensaio com sucesso, desde configurações do Arduino, caso seja necessário, até à conclusão do ensaio e gravação dos dados.

Para a realização do ensaio apenas é necessário ter a aplicação no computador do utilizador e certificar-se que a porta COM do dispositivo Arduino está definida como COM2, a utilizada por defeito no programa, no gestor de dispositivos. Isto pode ser verificado na seguinte diretoria:

Painel de controlo -> Sistema e Segurança -> Sistema.

Nesta diretoria basta selecionar a opção gestor de dispositivos e na secção Porta COM e LPT selecionar as propriedades da placa Arduino (deve estar conectado para aparecer) e então selecionar a porta COM2, como ilustrado na figura.

Na figura 4.1 é apresentado um exemplo de como pode ser alterada a configuração da porta COM para o dispositivo Arduino.

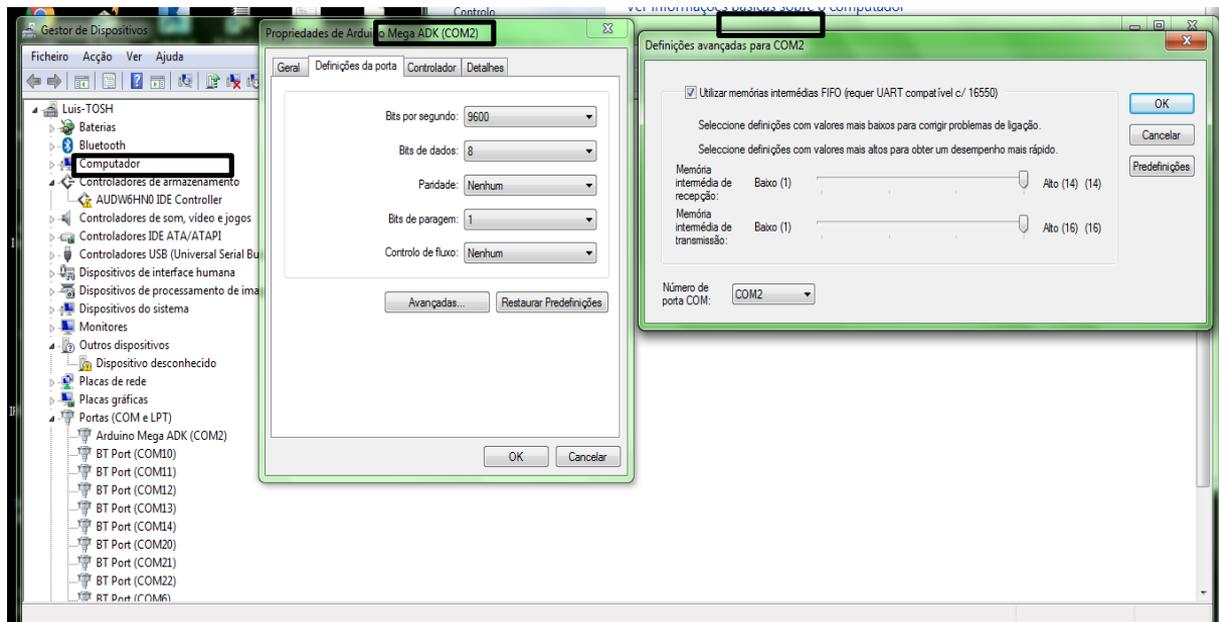


Figura 4.1 - Exemplo configuração porta Arduino

Uma vez definida esta situação apenas é necessário fazer a conexão entre o Arduino e as portas para o controlo da aquisição e motor através de dois cabos. As ligações são apresentadas na figura 4.2.



Figura 4.2 - Ligação Arduino com driver motor (vermelho) e condicionador (azul)

Após este passo é ligado o Arduino ao computador através de uma porta UBS e ligado o equipamento. Para ligar o equipamento basta ativar o botão vermelho que se encontra na frente da caixa, que contém o condicionador de sinal e restantes componentes eletrónicos.

Uma vez ligado o equipamento, o *display* do condicionador de sinal mostra os valores lidos por este como ilustrado na figura 4.3.



Figura 4.3 - Equipamento ligado

No caso dos valores apresentados serem diferentes de zero, é necessário proceder à calibração do sensor e a mesma é efetuada no próprio condicionador de sinal. Uma vez que o sensor é bastante sensível muitas vezes é necessário proceder a esta calibração de forma a que os resultados sejam o mais fiáveis possível.

Esta calibração do sensor é efetuada no menu do condicionador e basta seguir as instruções abaixo, utilizando as teclas do condicionador de sinal:



As indicações acima permitem chegar à secção do menu “Zero Zdc”. Uma vez nesta secção é apenas necessário pressionar “Enter” e esperar um pouco. Após esperar uns segundos deve-se ter algo no *display*, como o apresentado na figura 4.4.

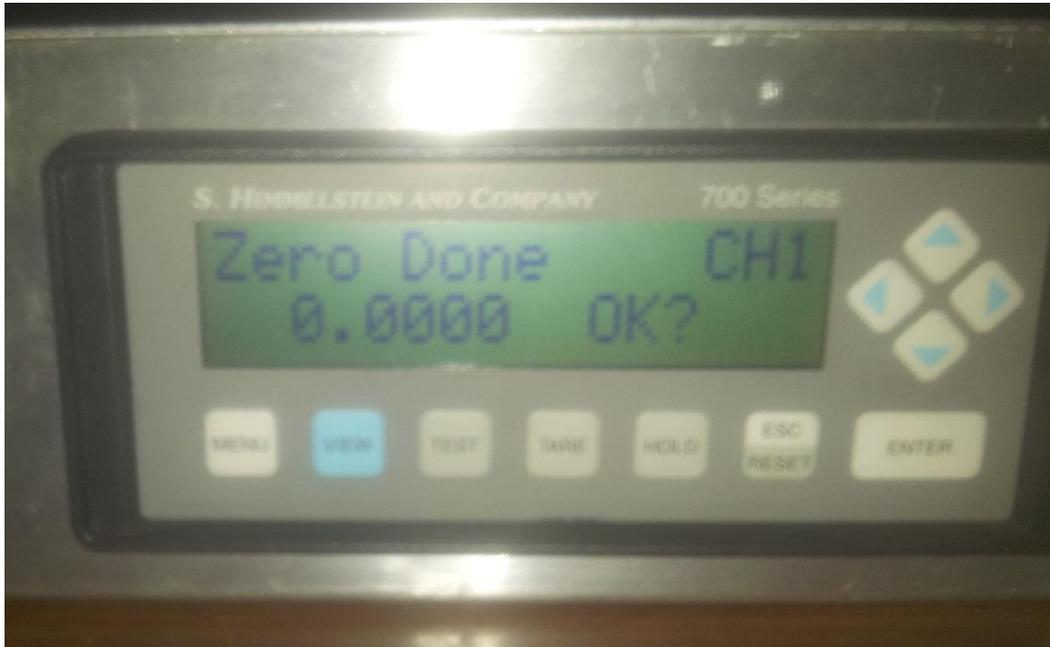


Figura 4.4 – Exemplo do display de calibração

Quando o *display* apresenta os dados que aparecem na figura 4.4 é apenas necessário clicar “Enter”, a calibração está terminada e o *display* deve apresentar zero como valor lido, mas devido à sensibilidade do sensor um valor como 0.0010 cNm é comum e não influencia de forma significativa os resultados do ensaio.

Caso não seja necessária a realização desta etapa de calibração do sensor podemos passar diretamente à preparação do ensaio propriamente dito. E uma vez que já estão prontas todas as ligações entre condicionador, motor, Arduíno e computador, é apenas necessário colocar a amostra a testar no equipamento, iniciar o *software* e realizar o ensaio.

A amostra deve ser colocada na base cónica rotativa e em seguida colocado o anel de pressão sobre a amostra (a amostra deve ficar esticada). Uma vez colocado o anel de pressão é necessário colocar o anel de centragem juntamente com o corpo padrão. O corpo padrão deve ser colocado de maneira a que ao levantar o sensor de binário para retirar o anel de centragem, o mesmo não toque no corpo padrão. Quando retirado o anel de centragem e colocado em

posição o sensor, podemos efetuar o ensaio. As figuras 4.5, 4.6 e 4.7 exemplificam, por ordem, a colocação da amostra no equipamento.



Figura 4.5 - Amostra na base cônica

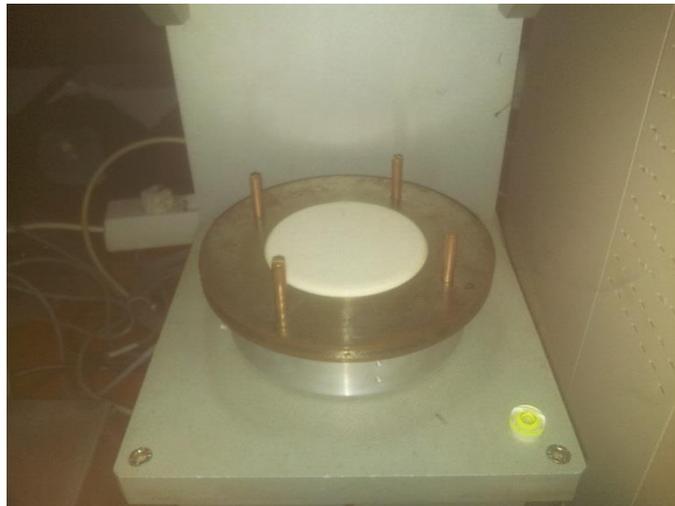


Figura 4.7 - Amostra com anel de pressão

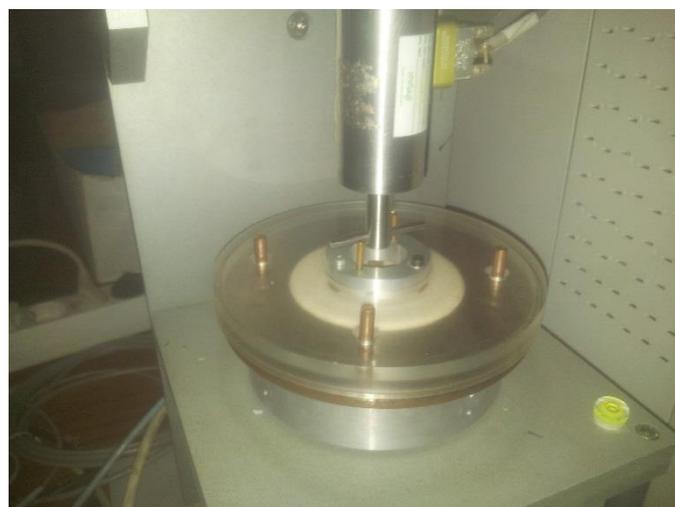


Figura 4.6 - Anel de centragem com corpo

Depois de colocada corretamente a amostra para a realização do ensaio, deve ser inicializado o programa, colocadas todas as propriedades necessárias ao ensaio e proceder à validação das mesmas através da tecla “Ok”. As figuras 4.8 e 4.9 contêm, respectivamente, um exemplo de validação das propriedades com e sem sucesso.

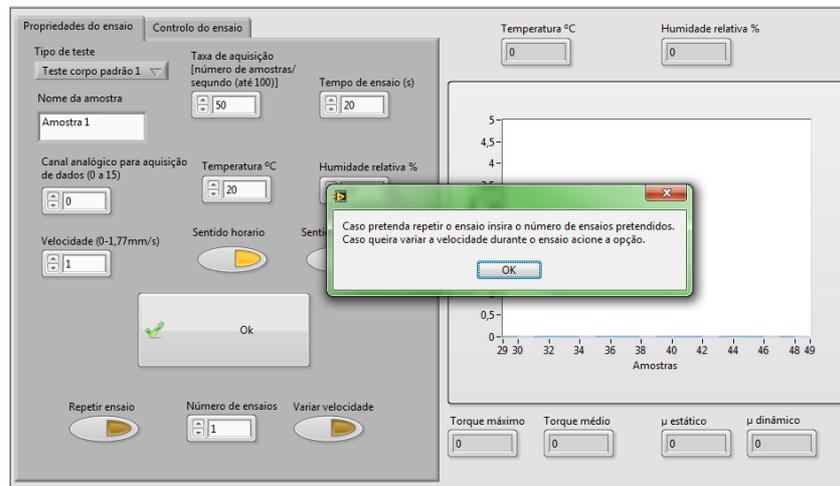


Figura 4.8 - Propriedades validadas com sucesso

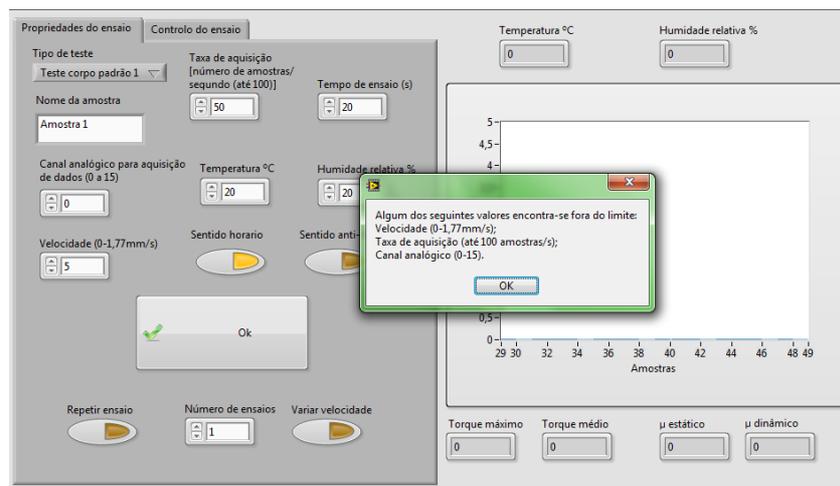


Figura 4.9 - Propriedades validadas sem sucesso

No caso de as propriedades não serem validadas com sucesso basta perceber quais não se encontram corretas, fazer a correção e voltar a validar. Depois de validadas, o programa permite que caso se pretenda repetir o ensaio ou variar a velocidade durante o ensaio se possa ativar a função através dos botões booleanos. No caso de repetir o ensaio é necessário colocar o número de ensaios pretendido.

Depois disto é necessário trocar para o separador “Controlo do ensaio”, figura 4.10, e iniciar o ensaio utilizando o botão “INICIAR”. Neste separador pode também ser terminado o ensaio em caso de emergência, através do botão “PARAR”.

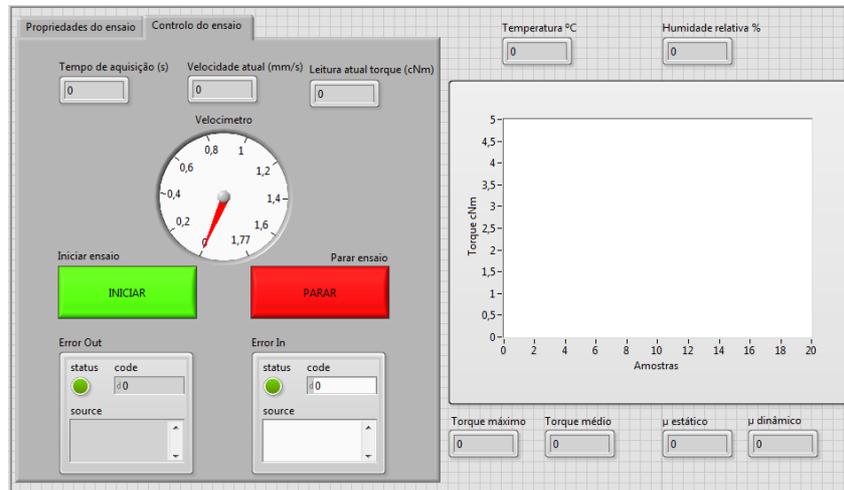


Figura 4.10 - Separador Controlo do ensaio

No final pode ser seleccionada a opção gravar os dados do ensaio ou dos ensaios, para posterior tratamento por parte do utilizador, e por fim pode ser seleccionado realizar novo ensaio ou então terminar o programa.

4.2 Análise dos resultados obtidos

As amostras selecionadas para realizar os ensaios foram três tecidos com texturas diferentes para que os resultados finais fossem diferentes de amostra para amostra. Na figura 4.11 podemos observar os resultados obtidos para o coeficiente de atrito médio para as diferentes amostras testadas. Todos os resultados obtidos nos ensaios estão presentes no anexo VIII.

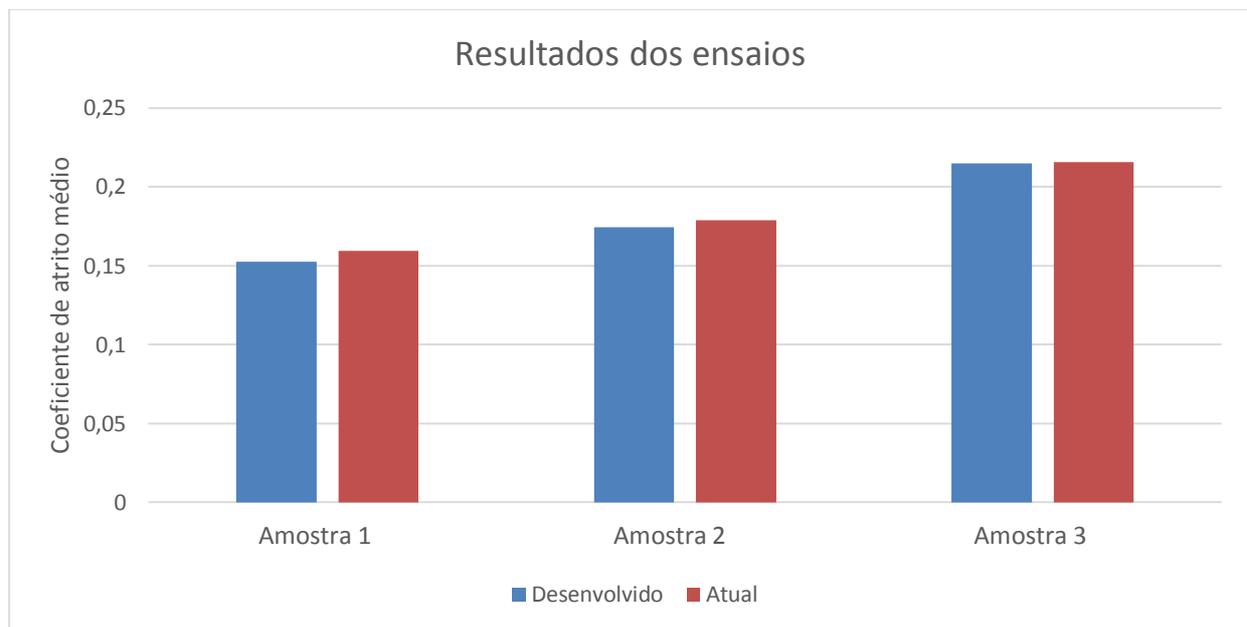


Figura 4.11- Gráfico com resultados obtidos

Analisando o gráfico da figura 4.11 podemos perceber facilmente que os resultados obtidos nos ensaios para o coeficiente de atrito médio, tanto no programa desenvolvido como com o atual, para todas as amostras são bastante semelhantes e as variações são mínimas. A azul, estão representados os resultados dos ensaios com o programa desenvolvido e por sua vez, a vermelho estão representados os ensaios com o programa que existe atualmente.

Com exceção da amostra 3, os valores medidos pelo programa desenvolvido são ligeiramente inferiores mas isso pode dever-se a características dos materiais testados uma vez, que durante a realização dos ensaios se verificou que à medida que se iam realizando mais ensaio, os valores obtidos eram inferiores.

Para melhor análise dos resultados obtidos, na tabela 4.2 são apresentados os resultados dos ensaios para o coeficiente de atrito médio, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo para cada uma das amostras.

Tabela 4.2 - Resultados dos ensaios realizados

	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
	Desenvolvido	Atual	Desenvolvido	Atual	Desenvolvido	Atual
Coef. Atrito médio	0,1525	0,1596	0,1744	0,1779	0,2149	0,2157
Desvio Padrão	0,0076	0,0064	0,0077	0,0073	0,0078	0,0072
Máximo	0,1656	0,1711	0,19	0,1936	0,2286	0,229
Mínimo	0,1435	0,1535	0,1668	0,1713	0,2049	0,2071

Com a análise dos valores presentes na tabela 4.2, podemos dizer que as diferenças entre ambos os sistemas de controlo foram mínimas. Os valores de coeficiente de atrito médio já foram analisados acima através da figura 4.11. Quanto aos valores de desvio padrão, estes foram ligeiramente superiores para o programa desenvolvido mas as diferenças são praticamente desprezáveis. Para os valores máximos e mínimo medidos durante os vários ensaios realizados, o *software* desenvolvido mediu para todas as amostras valores inferiores ao programa de controlo atual. Isto pode dever-se às já referidas características dos materiais testados.

Visto isto, e tendo em conta que todas as diferenças registadas são praticamente desprezáveis, podemos dizer que o programa de controlo e monitorização desenvolvido foi validado com sucesso.

5. CONCLUSÕES

Durante este capítulo é apresentado, analisado e discutido todo o trabalho realizado e são retiradas conclusões em relação ao mesmo. São ainda apresentadas propostas de trabalhos futuros que podem levar a novos avanços no equipamento.

5.1 Sumário

Esta dissertação, começa por apresentar um trabalho de estudo e análise do equipamento em questão, assim como as suas evoluções. Durante este estudo foram analisadas todas as suas funcionalidades e limitações, com especial foco no programa de controlo do equipamento.

Uma vez identificadas as suas limitações foi estudada a alteração e adição de componentes ao equipamento de forma a eliminar as limitações que o mesmo apresenta a nível de *hardware*.

Foi ainda desenvolvido um estudo das plataformas a utilizar para a aquisição de dados e efetuado desenvolvimento de um novo programa de controlo. Após uma comparação entre várias opções foi escolhido o Arduino como a plataforma ideal para a aquisição de dados. No caso do *software* foi selecionada a plataforma LabVIEW®.

O novo programa de controlo e monitorização foi desenvolvido de forma a eliminar as limitações do programa atual e também foram adicionadas funções como a possibilidade de repetir os ensaios automaticamente e variar a velocidade durante o ensaio.

Por fim foi desenvolvido um protocolo de ensaio, em português e em inglês, de forma a facilitar a utilização do programa a qualquer utilizador e foi validado o programa e analisados e discutidos os resultados obtidos.

5.2 Conclusões

Com a realização desta dissertação foi possível adquirir um maior conhecimento a nível de desenvolvimento de um projeto mecatrónico envolvendo tanto parte mecânica como eletrónica e de programação. Foi também adquirido um maior conhecimento do equipamento e do seu modo de funcionamento.

A nível de *hardware* foram apresentadas alterações que podem melhorar o equipamento e eliminar as suas limitações. Para além de apresentadas, foi também explicada a forma como

podem ser implementadas, sendo apenas necessário comprar os componentes e aplicá-los conforme é explicado nesta dissertação.

Os maiores avanços foram conseguidos através da concepção dum novo *software* de controlo, uma vez que permite que o departamento não necessite mais do computador completamente obsoleto, que para além de ser uma fonte de despesa, uma vez que necessita de manutenção, também permite uma redução substancial do espaço ocupado pelo equipamento. As novas funcionalidades presentes no novo programa são também uma mais-valia para o utilizador.

A validação do novo programa foi realizada com sucesso, uma vez que todos os resultados obtidos estão em concordância com os obtidos com o programa atual. De notar também que caso mais tarde sejam efetuadas as alterações a nível de *hardware*, como a alteração do driver do motor, o programa encontra-se já preparado para a utilização desses componentes. Podemos concluir que o programa foi desenvolvido com sucesso e pode já ser utilizado para o controlo do equipamento.

Para facilitar a utilização do equipamento com o novo programa de controlo foi elaborado um protocolo de ensaio detalhado, com todos os passos para a realização de um ensaio com sucesso. Este protocolo foi elaborado em português e em inglês para proporcionar a compreensão a qualquer utilizador. Foi também criada uma versão do programa em inglês.

Foram encontradas algumas dificuldades, na compreensão de como podia ser adquirido o sinal proveniente do condicionar de sinal, utilizando o Arduíno, assim como para a utilização do driver do motor uma vez que o mesmo já é bastante antigo. No desenvolvimento do programa foram também encontrados alguns obstáculos que foram ultrapassados com persistência e dedicação.

Em suma, todo o trabalho foi realizado com sucesso e foi também bastante produtivo uma vez que foi possível melhorar um equipamento que já pode ser utilizado de forma mais simples e mais eficiente, para além da possibilidade de realização de outro tipo de ensaios.

5.3 Trabalhos futuros

Este trabalho conduziu a um grande desenvolvimento no equipamento FricTorq pois foi elaborado todo um novo programa de controlo e apresentadas possíveis melhorias a implementar no equipamento, mas uma vez que o FricTorq é um projeto em constante desenvolvimento, são apresentadas as seguintes propostas de trabalhos futuros:

- Estudo dos parâmetros de outros tipos de ensaios e introdução dos mesmos no programa;
- Aplicação do novo driver do motor, sensor de temperatura e sensor de humidade relativa;
- Estudo de um sensor para medição da rugosidade e aplicação do mesmo;
- Efetuar todas as ligações com o Arduino de forma permanente e acomodar o mesmo dentro da caixa que contém todos os componentes eletrónicos, ficando apenas acessível o cabo USB;
- Estudar melhorias e novas funcionalidades que possam ser adicionadas ao programa.

REFEÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Dowson, D. (1997). History of tribology. Professional Engineering Publishing
2. Nosek, S. (1993). International Conference TEXTILE SCIENCE 93. Problems of Friction in Textile processes. Liberec, Czech Republic.
3. Macedo, D. P. (2012). Avaliação do coeficiente de atrito na presença de cremes cosméticos. Universidade do Minho
4. ETUDE DE L'ETAT DE SURFACE DES TEXTILES. (2010). Retrieved from https://www.sceiconcours.fr/tipe/TIPE_2010/sujets_2010/exemple_sujet_SI_TSI.pdf
5. Abreu, MJ. Almeida, L. (2014). CIENCIA DO CONFORTO. Guimarães, Portugal.
6. TECH, K. (2007). KESKATO. Obtido de http://english.keskato.co.jp/products/kes_fb4.html#anchor-2
7. Macedo, Dinis. (2012) FRICTORQ®: Avaliação do coeficiente de atrito na presença de cremes cosméticos. Guimarães, Portugal
8. Ramasubramanian, M.K. (2003). A Friction Sensor for Real-Time Measurement of Friction Coefficient on Moving Flexible Surfaces. USA.
9. CETR. UMT-main_07. California
10. Lopes Martins, José Pedro (2013) Estudo, conceção, desenvolvimento e construção de um tribómetro linear para ensaios em superfícies flexíveis. Guimarães, Portugal
11. Departamento de Engenharia Mecânica. (2015). Obtido de http://www.dem.uminho.pt/index.php?lab=14&field=apoio_inov1

12. Lima, M. Silva, L. Vasconcelos, R. Martins, J. Hes, L. (2005).FRICTORQ, Tribómetro para Avaliação Objectiva de Superfícies Têxteis. Guimarães, Portugal.
13. Carneira, Rúben. (2013). Aplicação de metodologias TRIZ no desenvolvimento do projeto FRICTORQ. Guimarães, Portugal.
14. Machado, CarvalhoFernandes. (2001). Componentes de software em LabVIEW® para integração em sistemas de informação industriais. Braga.
15. Nation Instruments. (2015). O que é aquisição de dados. Obtido de <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/pt/>
16. Nation Instruments. (2014). Dispositivos individuais com pequenas quantidades de canais.
17. Arduíno. (2015). Arduíno Mega ADK. Obtido de <https://www.arduino.cc>

ANEXO I – TUTORIAL INSTALAÇÃO LINX

Instalar LINX

1. Download do LINX a partir do LabVIEW® Tools Network;
2. Instalar LINX utilizando VIPM;
 - Instalar o LINX vai automaticamente instalar o toolbox do MakerHub;
3. Reiniciar o LabVIEW®.

Carregar Firmware

1. Iniciar LabVIEW®;
2. Selecionar **Tools»MakerHub»LINX»Firmware Wizard**;
3. Selecionar a sua familia de dispositivos e tipos de dispositivos e selecionar Next;
4. Selecionar a porta **COM** associada ao dispositivo e selecionar Next;
5. Selecionar a versao do firmware e selecionar Next;
 - Os **TX e RX** LEDs no seu dispositivo devem aparecer ligados durante alguns segundos enquanto o firmware é transferido. Caso contrário a conexão não está correta.
6. Selecionar **Launch Example** e seguir as instruções no painel frontal.and follow the instructions on the front panel.

ANEXO II – TUTORIAL INSTALAÇÃO LINX EM INGLÊS

Install LINX

1. Download LINX from the LabVIEW® Tools Network;
2. Install LINX using VIPM;
 - Installing LINX will automatically install the MakerHub toolbox.
3. Restart LabVIEW®.

Load Firmware

1. Launch LabVIEW®;
2. Click **Tools»MakerHub»LINX»Firmware Wizard**;
3. Select your **Device Family** and **Device Type** and click **Next**;
4. Select the **COM Port** associated with your device and click **Next**;
5. Select the **Firmware Version** (it's easiest to start with the **Serial/USB** firmware) and click **Next**;
 - The **TX and RX** LEDs on your device should appear to be solid on for a few seconds while the firmware is deployed. If you don't see this the firmware was likely not deployed.
6. Click **Launch Example** and follow the instructions on the front panel.

ANEXO III – DATASHEET CONDICIONADOR DE SINAL

PRECISION REACTION TORQUEMETERS

STATIONARY FOIL GAGE SENSORS FOR ROTATING & NON-ROTATING APPLICATIONS

10 ozf-in thru 2,400,000 lbf-in capacities

See Bulletin 772 For Solid Flanged Reaction Torquemeters with mV/V or ± 10 Volt Outputs

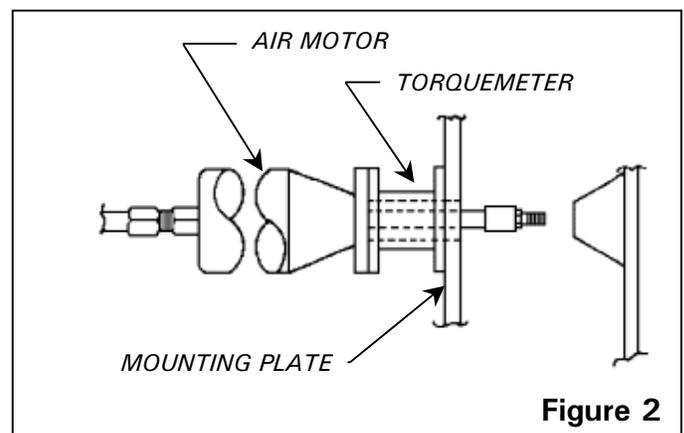
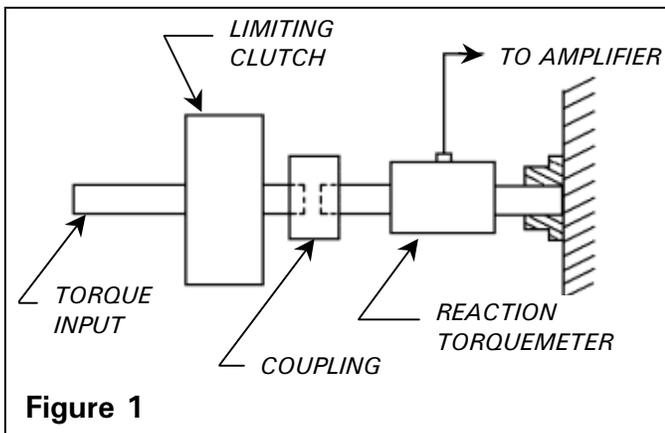


REACTION TORQUE MEASUREMENTS

Permit accurate determination of static and dynamic torque with a stationary (non-rotating) transducer even though the device under test may be rotating at high speed. Reaction torque measurements are based on Newton's third law of angular motion which states, "when a body exerts a torque upon another body, the second exerts an *equal torque* upon the first in the *opposite* direction and about the same axis of rotation." Referring to **Figure 1**, the reaction torque path must be through the torque meter, so the torque meter will accurately measure torque applied to the clutch and, with appropriate electronics, the test set-up can readily determine peak or slip torque.

Figure 2 shows how a hollow reaction torque meter is used to measure the output torque of an air tool. The torque meter will accurately measure the instantaneous tool output torque even though it rises rapidly (in milliseconds) as the fastener seats. However, all the reaction torque must pass through the torque meter - a rotating union (or equal) must be used at the air supply end to eliminate shunting part of the reaction torque through the air lines and thus producing a measurement error. Although it is possible to satisfy this requirement (no unwanted shunt torque paths) in an air tool application other potential applications can have significant, unavoidable shunt torque paths which, in turn, will limit the accuracy of the reaction measurement. An in-line torque measurement should be used in such cases.

(Continued on page 4)

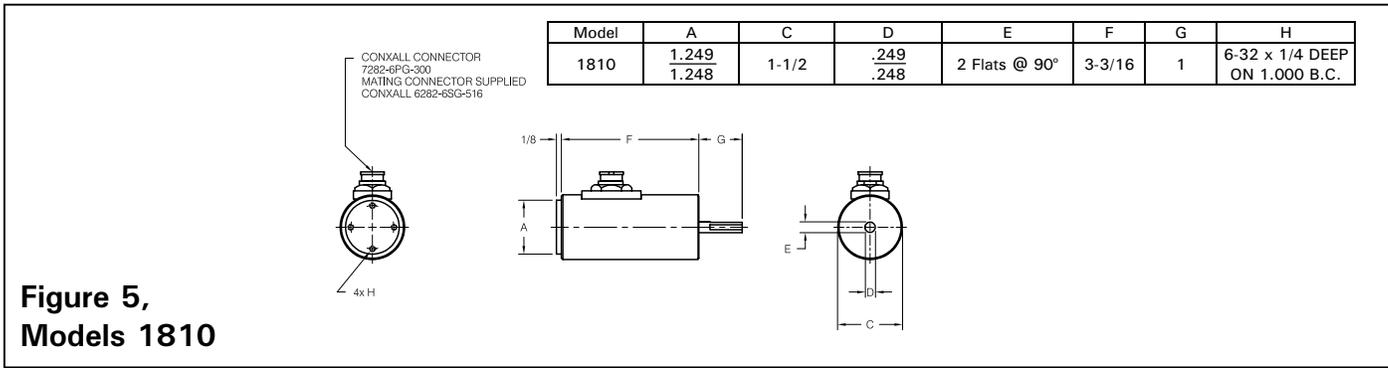


S. HIMMELSTEIN AND COMPANY

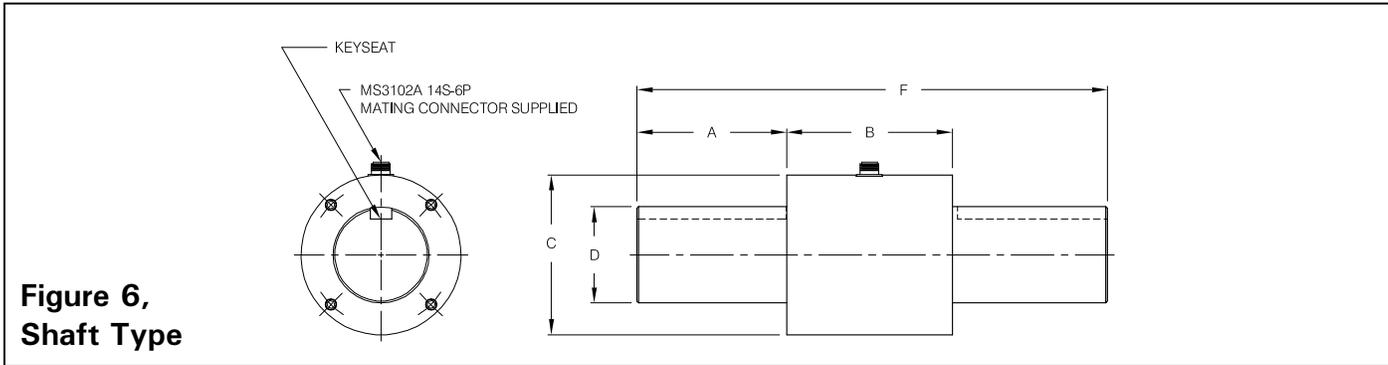
2490 Pembroke Avenue, Hoffman Estates, IL 60169 USA • Tel: 847/843-3300 • Fax: 847/843-8488

Dimensional Outlines

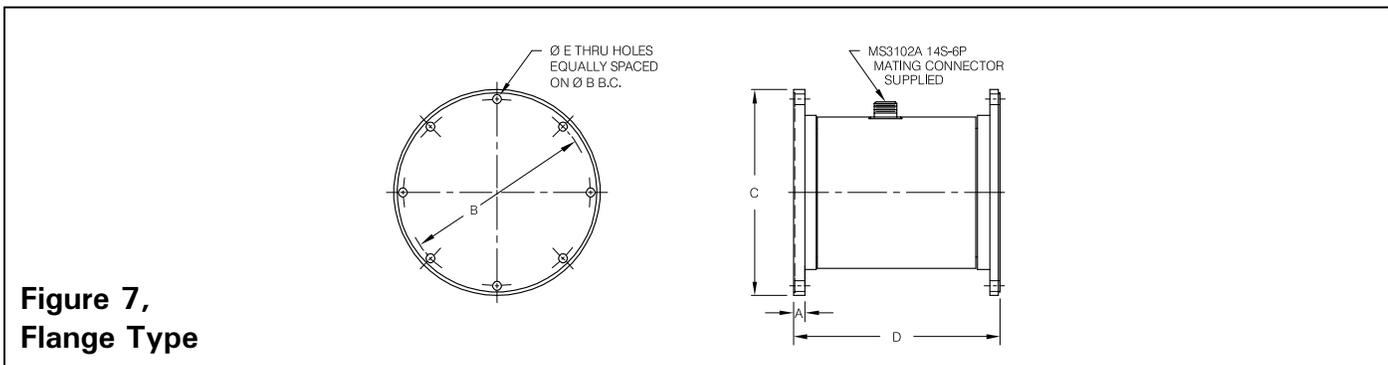
S. Himmelstein and Company Reaction Torquemeters



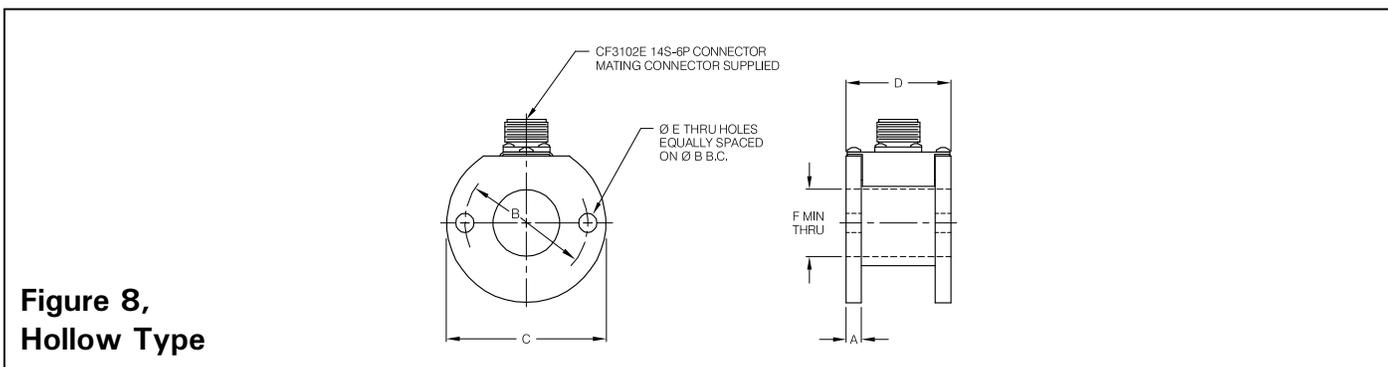
**Figure 5,
Models 1810**



**Figure 6,
Shaft Type**



**Figure 7,
Flange Type**



**Figure 8,
Hollow Type**

Electrical Connections

PIN	FUNCTION
A	+ EXCITATION
B	+ EXCITATION SENSE
C	- EXCITATION SENSE
D	- EXCITATION
E	- SIGNAL
F	+ SIGNAL

Complete Systems

When supplied with precision reaction torquemeters, Himmelstein systems include solid state readout, interconnecting cable, system checkout and NIST traceable dead weight calibration. You receive an operating system with guaranteed system performance, single source system responsibility and a full one year system warranty.

Signal Polarity

Hollow Type: Positive for CCW torque through the torquemeter.

All Other Types: Positive for CW torque through the torquemeter.

Reaction Torquemeters – Standard Ratings

TYPE	MODEL NUMBER	RANGE (lbf-in)	TORSIONAL STIFFNESS (lbf-in/rad)	MAXIMUM EXTRANEIOUS LOADS		DIMENSIONS (inches)					
				THRUST F (lbs)	BENDING MOMENT W x D (lb-in)	A	B	C	D	E	F
SHAFT TYPE See Figure 6	1810(1-1)	10*	230*	40*	100*	SEE FIGURE 5					
	1810(25-0)	25*	883*	80*	150*						
	1810(5-1)	50*	2,100*	100*	200*						
	1810(1-2)	100*	4,670*	150*	250*						
	1810(16-1)	160*	7,650*	150*	300*						
	1850A(2-4)	20,000	3,800,000	20,000	9,500	5-1/8	8-3/4	5-1/2	3,000 +0/-0.001	3/4 Square	19
	1850A(5-4)	50,000	5,700,000	48,000	23,250	5-1/8	8-3/4	5-1/2		3/4 Square	19
	1850A(1-5)	100,000	7,100,000	65,000	47,000	5-1/8	8-3/4	5-1/2		3/4 Square	19
	1850A(2-5)	200,000	29,000,000	70,000	98,000	7-1/8	7-3/4	7-1/2	4,500 +0/-0.001	1 Square	22
	1850A(3-5)	300,000	32,700,000	75,000	147,000	7-1/8	7-3/4	7-1/2		1 Square	22
FLANGE TYPE See Figure 7	1930(18-3)	18,000	4,820,000	18,000	9,000	3/8	7-1/4	8	8	8, 0.377D	N/A
	1930(25-3)	25,000	6,830,000	25,000	12,000	3/8	7-1/4	8	8	8, 0.377D	N/A
	1930(3-4)	30,000	8,220,000	30,000	15,000	3/8	7-1/4	8	8	8, 0.377D	N/A
	1930(48-3)	48,000	12,200,000	48,000	24,000	3/8	7-1/4	8	8	8, 0.377D	N/A
	1930(6-4)	60,000	14,400,000	50,000	30,000	3/8	7-1/4	8	8	8, 0.377D	N/A
	1930(96-3)	96,000	17,900,000	52,000	40,000	3/8	7-1/4	8	8	8, 0.377D	N/A
	1940(2-5)	200,000	37,500,000	60,000	90,000	3/4	10-3/8	12	13	16, 0.630D	N/A
	1940(3-5)	300,000	42,800,000	70,000	150,000	3/4	10-3/8	12	13	16, 0.630D	N/A
HOLLOW FLANGE TYPE See Figure 8	2010(6-1)	60	98,500	100	50	5/16	2	2-1/2	2-1/8	2, 0.203D	7/8
	2010(12-1)	120	98,500	120	60	5/16	2	2-1/2	2-1/8	2, 0.203D	7/8
	2020(24-1)	240	171,400	240	120	5/16	2	2-1/2	2-1/8	2, 0.203D	7/8
	2030(6-2)	600	712,000	600	300	5/16	2-1/2	3-1/4	2-1/8	2, 0.390D	1-3/8
	2030(12-2)	1,200	1,420,000	1,200	600	5/16	2-1/2	3-1/4	2-1/8	2, 0.390D	1-3/8
	2050(3-3)	3,000	3,340,000	3,000	1,500	5/16	3-3/8	4	2-1/8	4, 0.406D	2-3/8
	2050(6-3)	6,000	7,970,000	6,000	3,000	5/16	3-3/8	4	2-1/8	4, 0.406D	2-3/8
	2060(1-4)	10,000	8,380,000	2,500	2,250	5/8	4-3/8	5	3-1/2	6, 3/8-24 UNF	3-3/8
	2060(2-4)	20,000	14,300,000	5,000	4,500	5/8	4-3/8	5	3-1/2	6, 3/8-24 UNF	3-3/8
	2070(5-4)	50,000	36,800,000	10,000	10,000	5/8	7	8-1/2	3-1/2	8, 0.630D	3-3/8
	2070(1-5)	100,000	51,200,000	20,000	20,000	5/8	7	8-1/2	3-1/2	8, 0.630D	3-3/8
	2090(12-5) ⁵	1,200,000	3,500,000,000	480,000	480,000	3/4	19.00	21.00	5	32, 0.812D	14.25
	2090(18-5) ⁵	1,800,000	3,900,000,000	600,000	600,000						
	2090(24-5) ⁵	2,400,000	4,300,000,000	720,000	720,000						
FLAT TYPE	2137(5-1)	50	10,100	500	250	SEE FIGURE 9					
	2137(1-2)	100	46,200	500	250						
	2137(2-2)	200	129,000	500	250						
	2137(5-2)	500	506,000	500	250						

Figure 9, Flat Type (Model 2137)

NOTES:

- * Torque is in ozf-in, stiffness is ozf-in/radian, thrust is in oz's.
- 1. Torsional stiffness value includes shaft extensions, where they exist.
- 2. All units are stainless steel except Models 2010 and 2137, which are aluminum.
- 3. See Page 4 (overleaf) for a definition of extraneous loads.
- 4. See Page 4 for General Specifications applicable to all Models; includes output, torque overload capacity, temperature effects, etc.
- 5. Torquemeter has connector on 18" pigtail, see Bulletin 779.

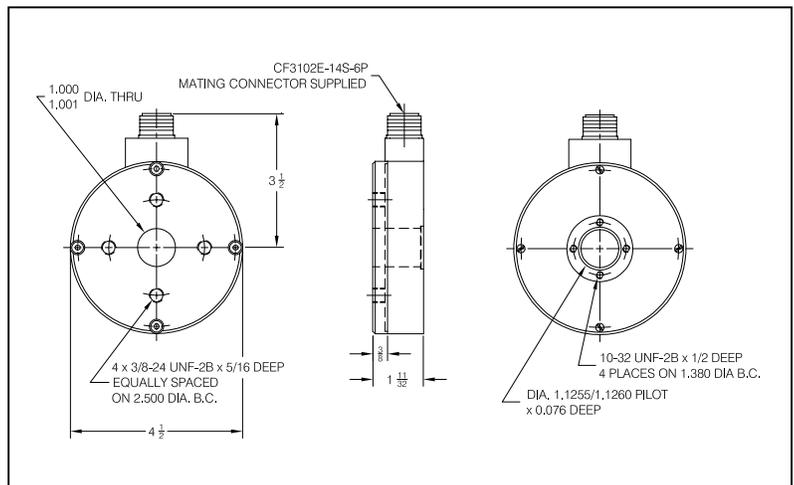
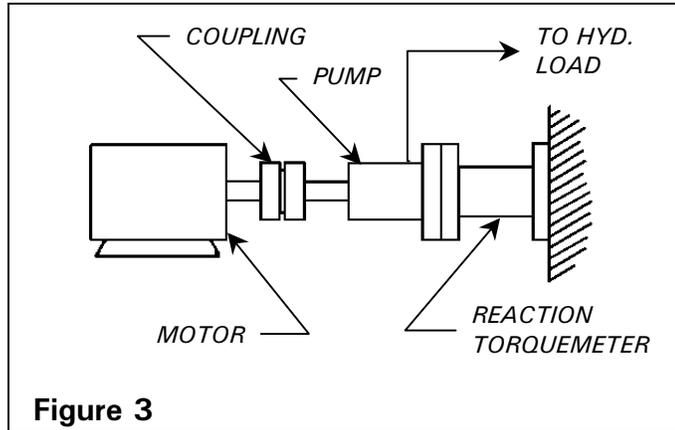
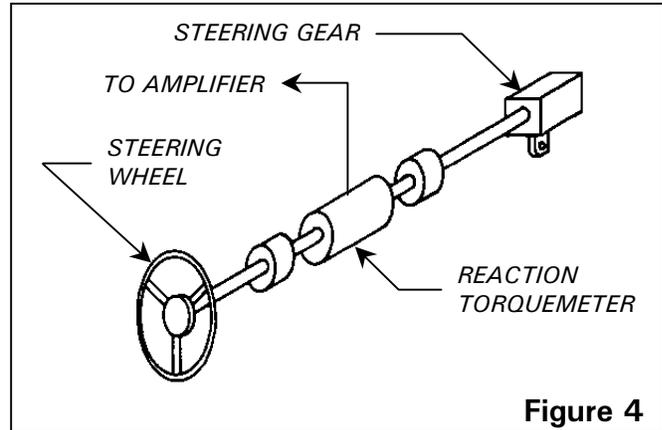


Figure 3 illustrates a measurement similar to that of Figure 2 but with a significant and very basic difference. Here the torquemeter measures the reaction of the power absorbing device instead of the power producing device. The torquemeter will measure the total reaction torque of the absorber but that torque is not necessarily equal to the output torque of the motor. For example, when the system is being accelerated (or decelerated), the motor output torque is equal to the torque required to accelerate the output shaft (the product of angular acceleration and total load inertia - including absorber rotor, intermediate shaft and couplings), the windage torque of the total load and the real torque load of the absorber. In a set-up



like this, no reaction measurement will see either the acceleration or windage torques and, as a result, it will be in error to the extent such torques exist. The acceleration torque error component disappears when a shaft is at a constant speed but windage errors are always present. Only in-line torque measurements are immune to these error sources.

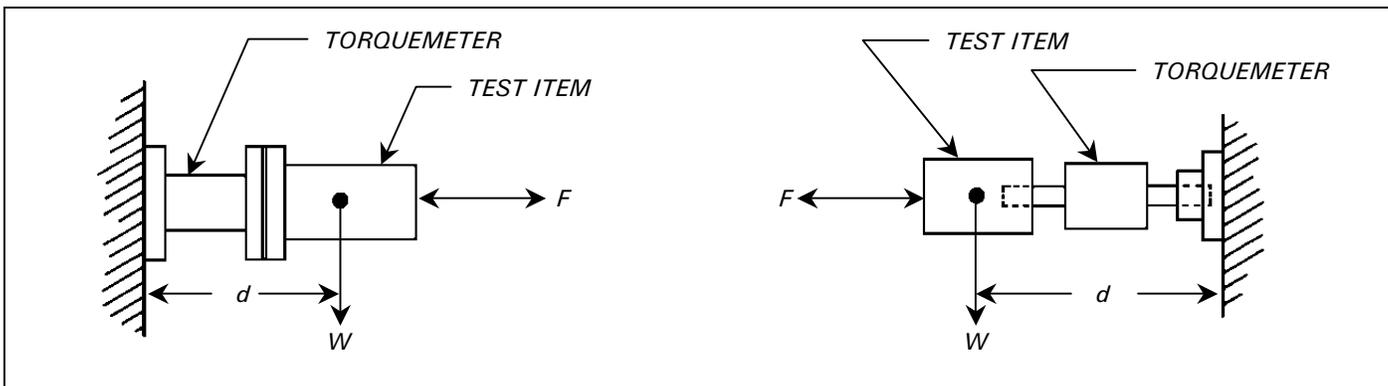
Reaction torquemeters are an economical solution where in-line measurements are required but where angular motion is restricted and cycle rates are low thus permitting cable "wind-up". Figure 4 illustrates such an application.



EXTRANEOUS LOADS

Any force or moment the torquemeter sees other than the reaction torque input is an extraneous load. Depending on installation (see illustration), these could include bending moments and axial thrust (tension or compression). The tabulation summarizes the maximum safe extraneous load that can be applied to the torquemeter assuming they are applied singly. Crosstalk errors from such loads will be typically 1% or less and, assuming they are constant, can be electrically zeroed.

- W** = weight of test item
- F** = thrust force, if any
- d** = distance to test item center of gravity
- Wxd** = bending moment



PRODUCT DESCRIPTION

S. Himmelstein and Company offers three basic types of reaction torquemeters, i.e. Hollow Torquemeters, Shaft Torquemeters and Flanged Torquemeters. All use temperature compensated full foil gage torque bridge sensors that provide inherent cancellation of bending and thrust signals. The RTM hollow reaction series utilizes a patented (No. 3,800,591) double wall construction (except Model 2050) that economically provides unusual isolation and high torsional stiffness in a compact mechanical package. This is done without the use of multiple bridges, which have reduced reliability because of the increased number of bridge connections and wiring complexities.

With two exceptions, (see tabulation) all transducers are constructed of 15-5 PH, a precipitation hardened stainless steel with exceptional fatigue properties. In that connection, transducers subjected to full scale reversals have essentially infinite fatigue life. All models are furnished with a mating connector and precision shunt calibration resistor referenced to an NIST traceable dead weight calibration.

GENERAL SPECIFICATIONS

- Bridge Impedance:** 350 Ohms, nominal except Models 2050 thru 2070 which are 700 Ohms
- Nominal Output:** 1½ mV/V except Model 2137 and Models 2010 thru 2050 which are 1 mV/V
- Nonlinearity:** ±0.1% of full scale
- Nonrepeatability:** ±0.05% of full scale
- Hysteresis:** ±0.1% of full scale except Models 2010 thru 2070 and Model 1810(1-1) which are ±0.25% of full scale
- Torque Overload Capacity:** 2 times full scale rating
- Temperature Effects:** Zero = ±0.002% of full scale per degree F
Span = ±0.002% of reading per degree F
- Compensated Temperature Range:** +75 to +175 degrees F
- Usable Temperature Range:** -65 to +225 degrees F
- Maximum Excitation:** 10V (ac or dc) except 8V for Model 1810

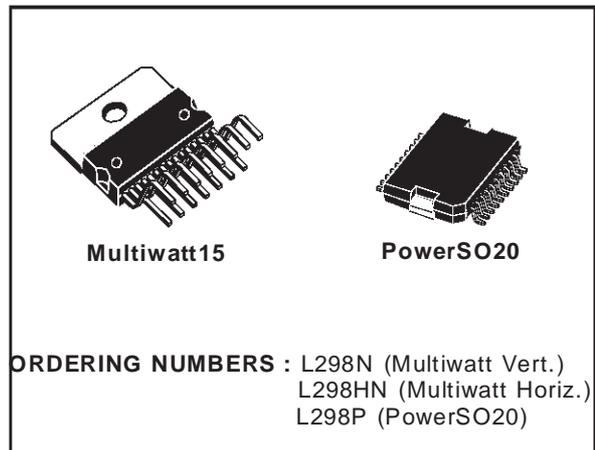
ANEXO IV – DATASHEET DRIVER MOTOR

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

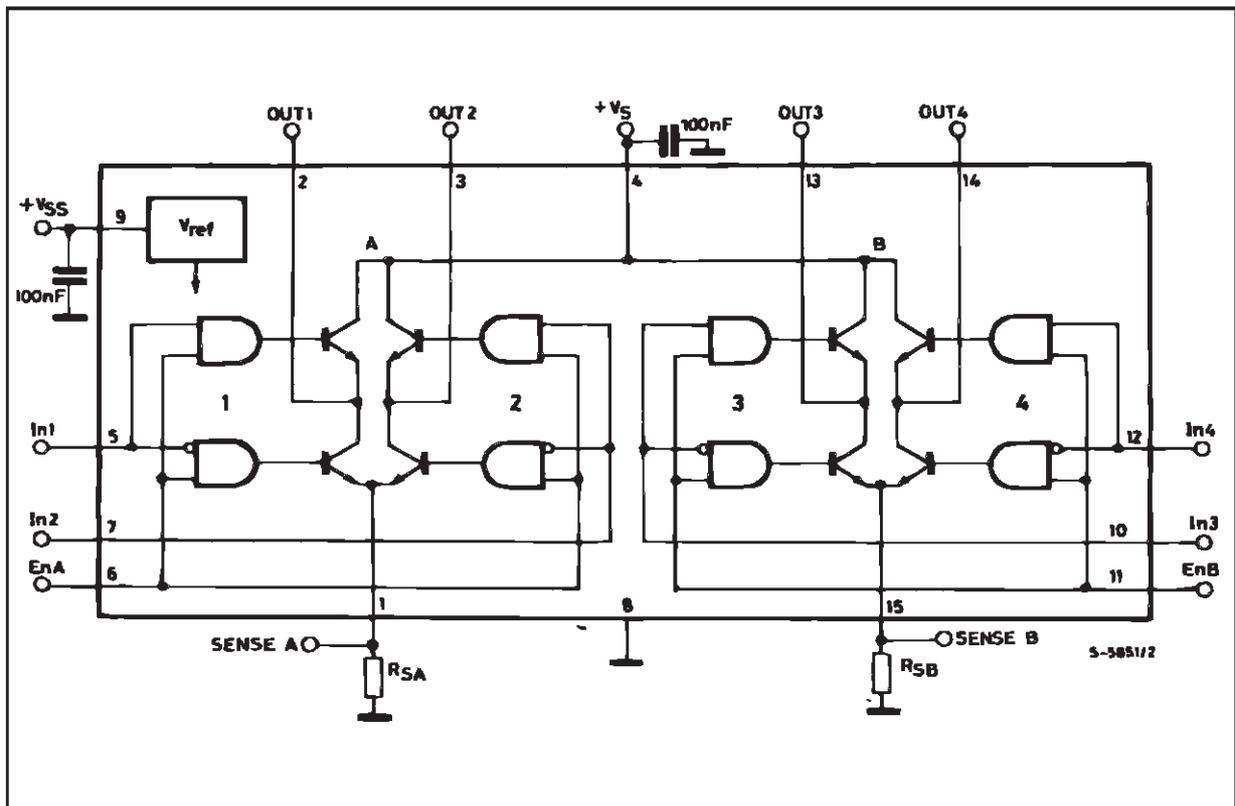
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

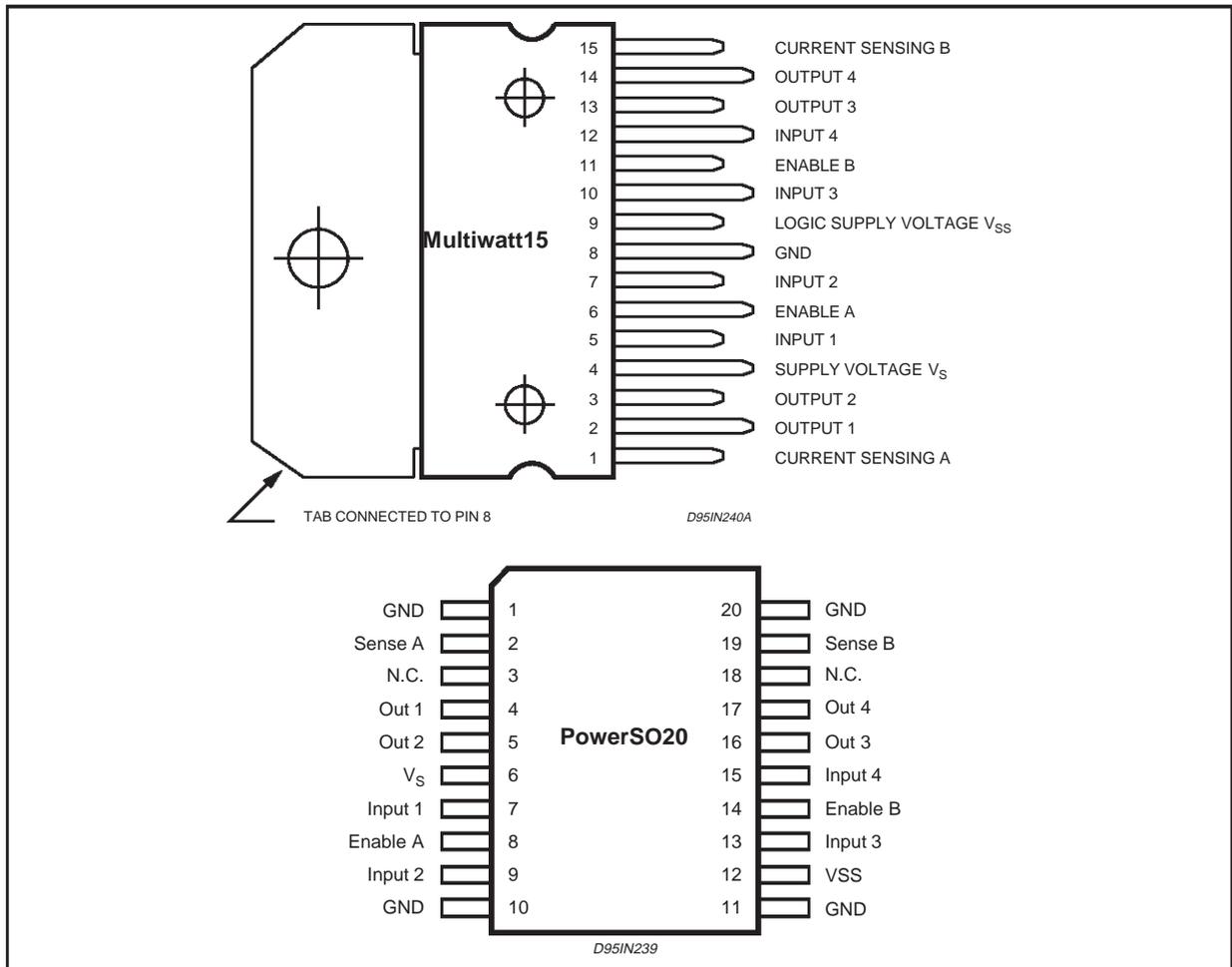
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	$^\circ C/W$
$R_{th j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		13 50	22 70	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		24 7	36 12	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			6	mA
V _{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		–0.3		1.5	V
V _{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			–10	μA
I _{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} –0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		–0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			–10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} –0.6V		30	100	μA
V _{CEsat(H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{CEsat(L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		–1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T ₁ (V _i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (2); (4)		1.5		μs
T ₂ (V _i)	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		0.2		μs
T ₃ (V _i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.1 I _L (2); (4)		2		μs
T ₄ (V _i)	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.7		μs
T ₅ (V _i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		0.7		μs
T ₆ (V _i)	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₇ (V _i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		1.6		μs
T ₈ (V _i)	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.2		μs
f _c (V _i)	Commutation Frequency	I _L = 2A		25	40	KHz
T ₁ (V _{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4)		3		μs
T ₂ (V _{en})	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		1		μs
T ₃ (V _{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4)		0.3		μs
T ₄ (V _{en})	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.4		μs
T ₅ (V _{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		2.2		μs
T ₆ (V _{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.35		μs
T ₇ (V _{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₈ (V _{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sens} min ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

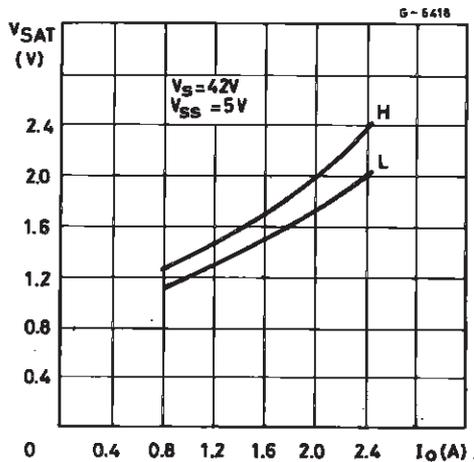
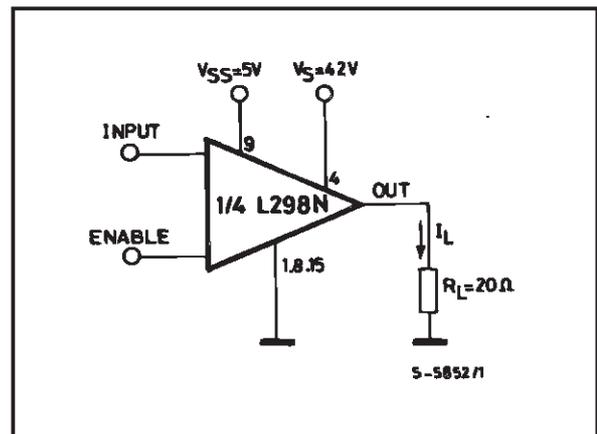


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note: For INPUT Switching, set EN = H
 For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

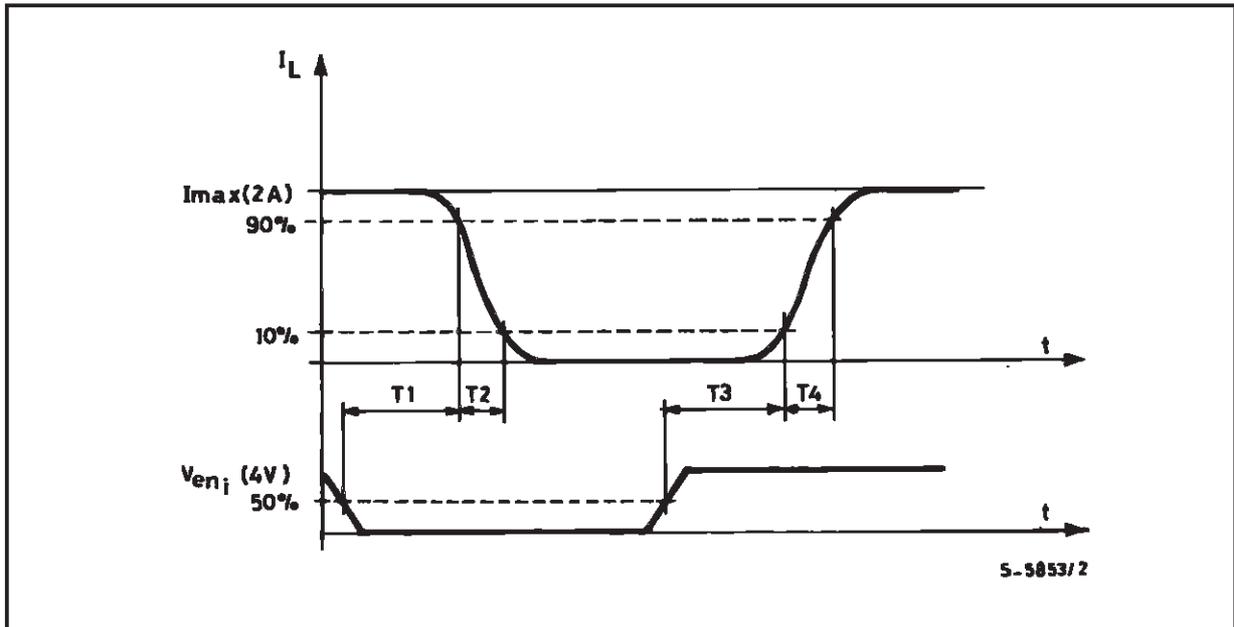
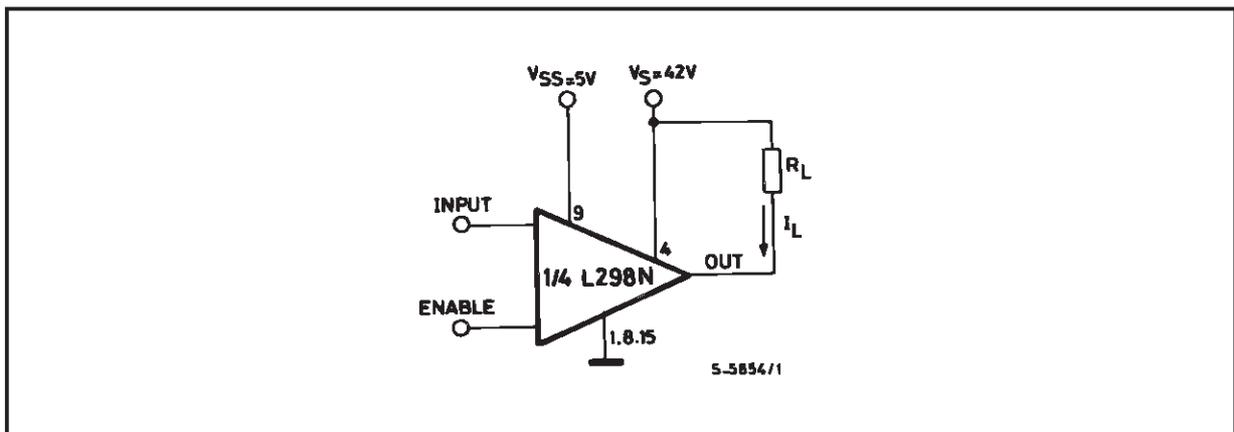


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

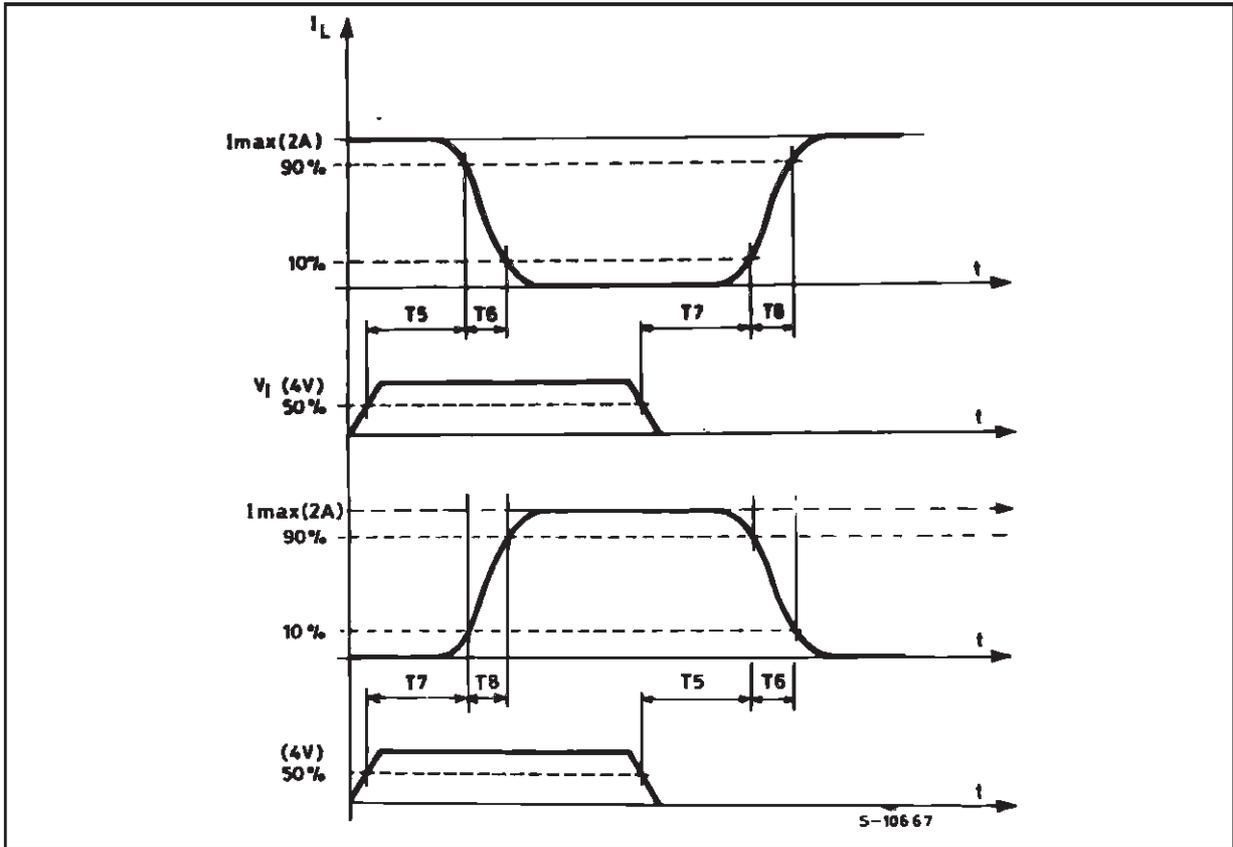


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

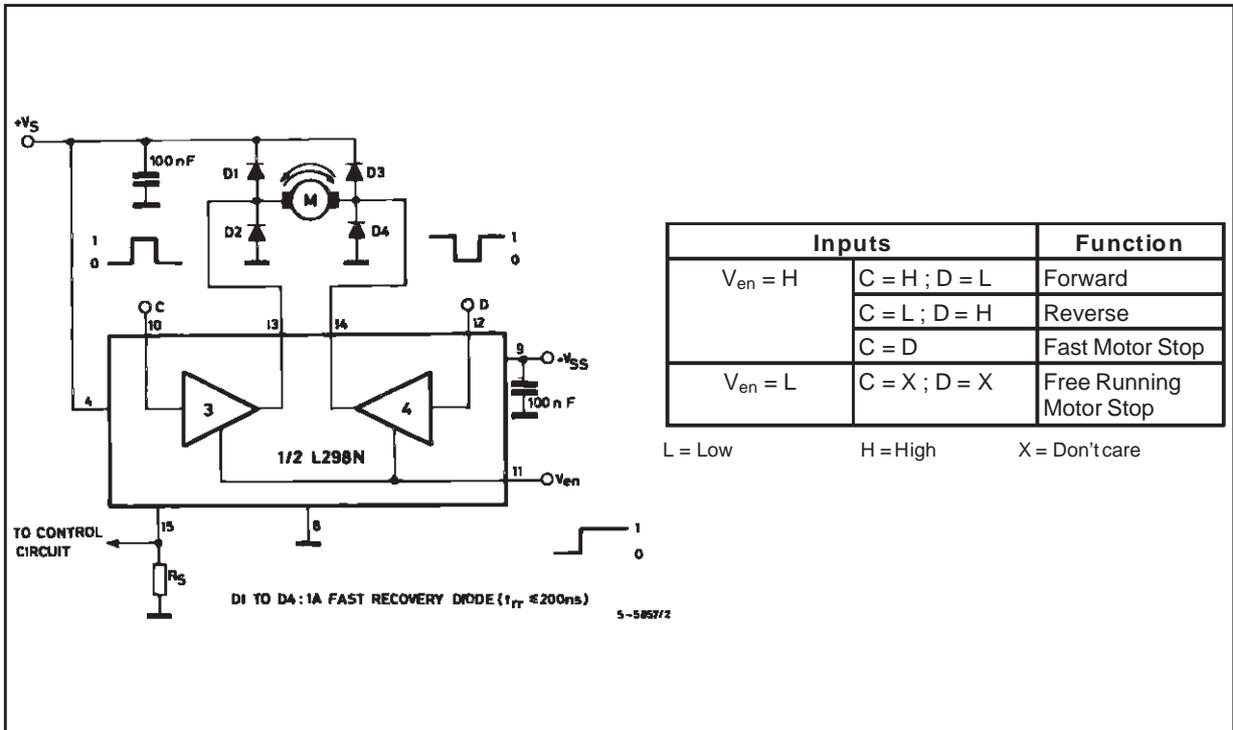
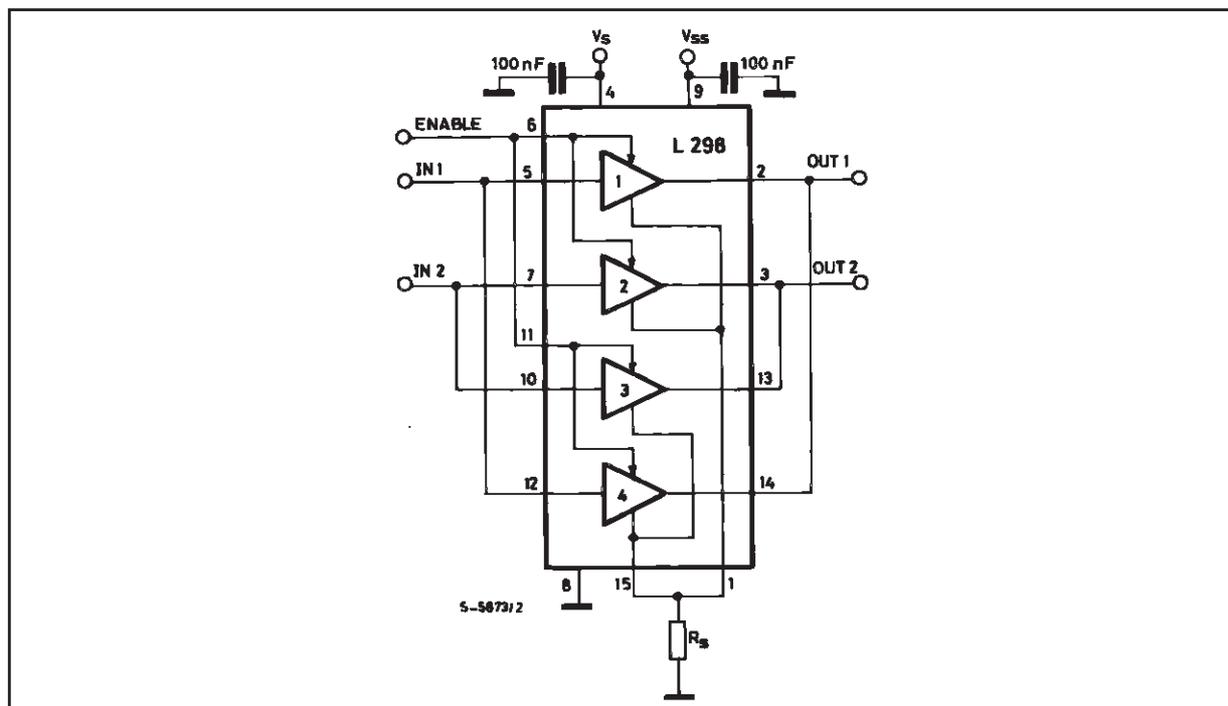


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In_1 ; In_2 ; EnA and In_3 ; In_4 ; EnB . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{tr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

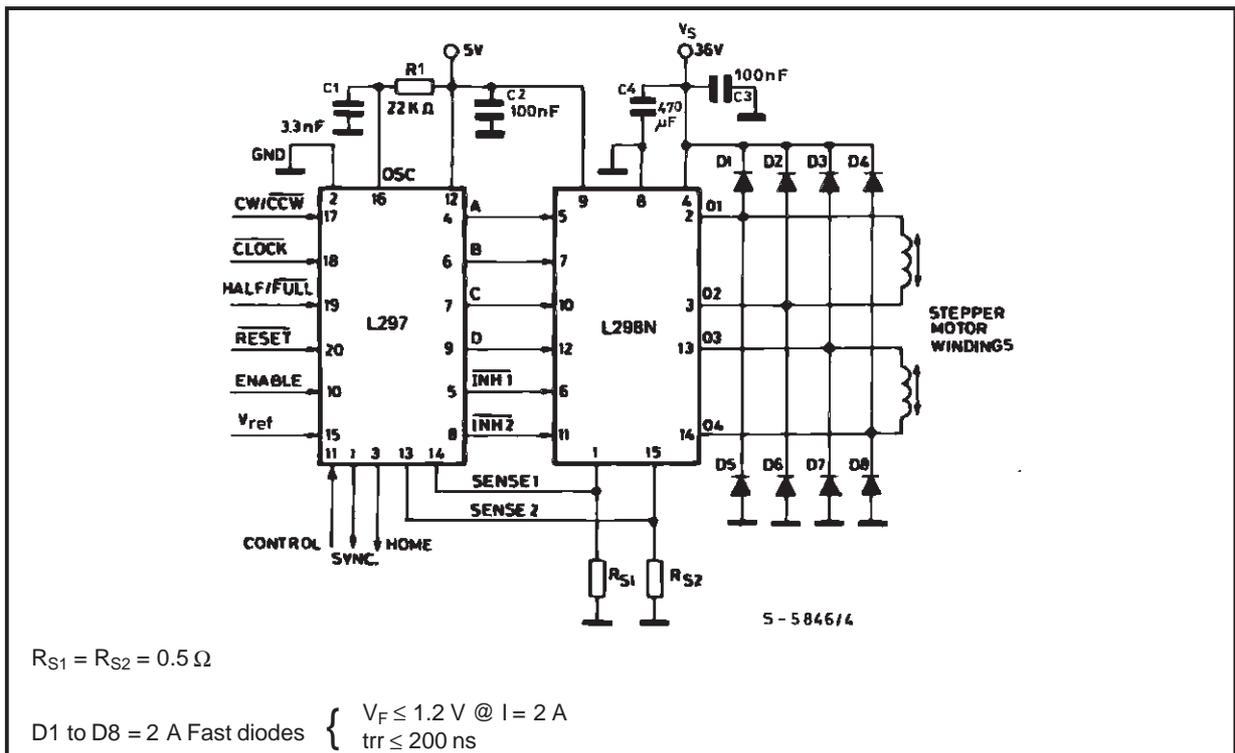
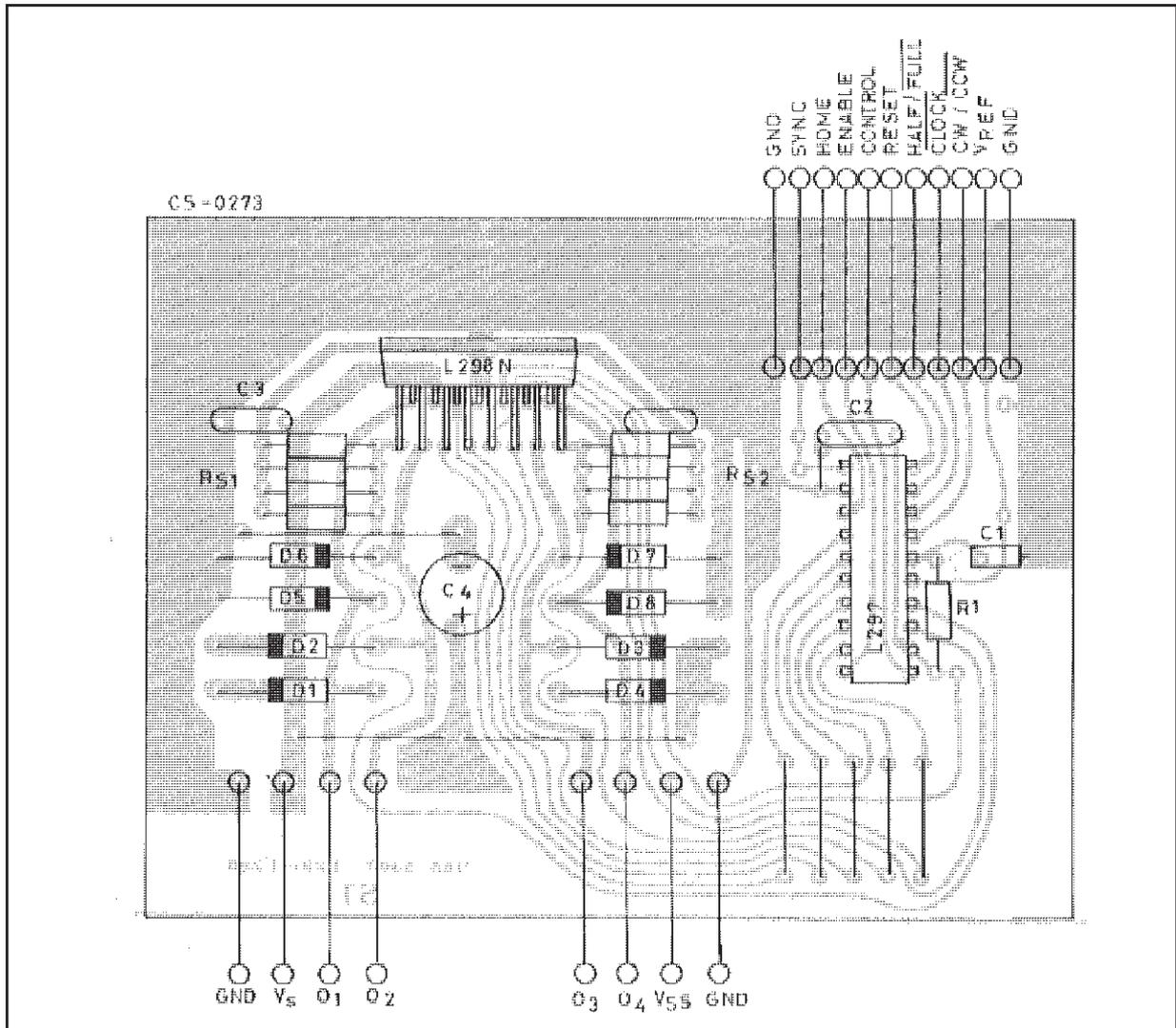


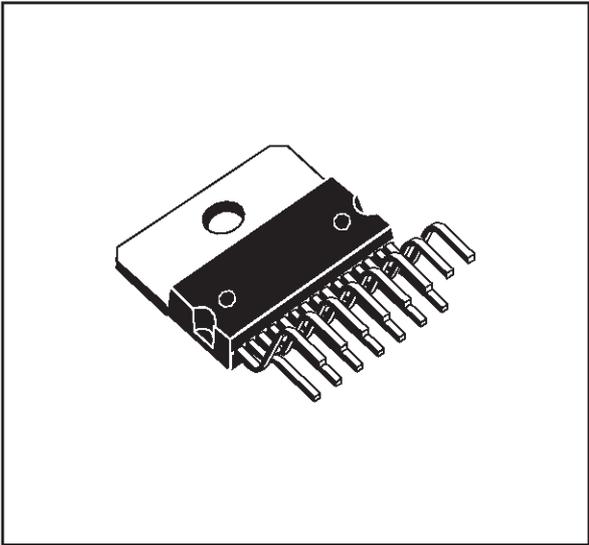
Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

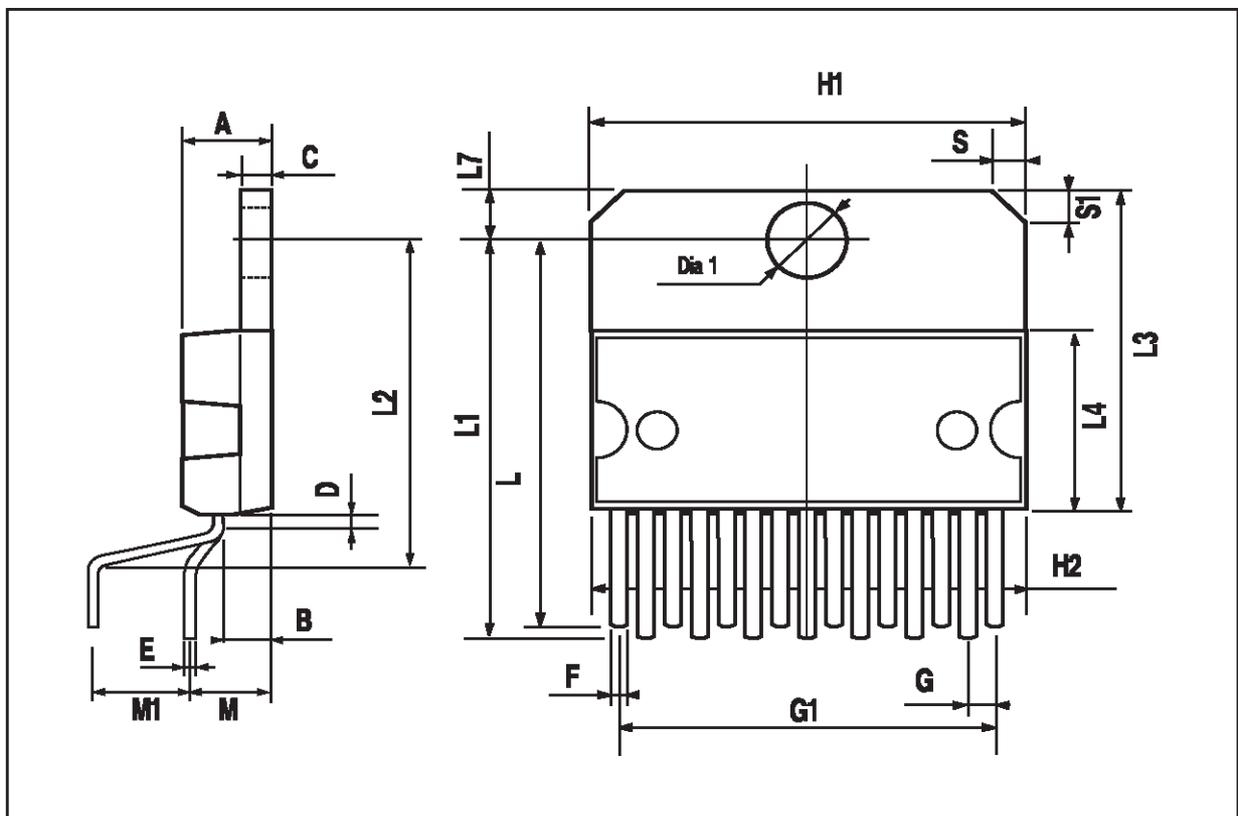


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

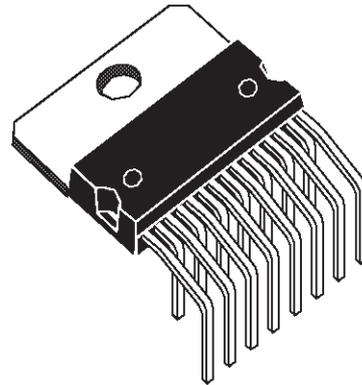


Multiwatt15 V

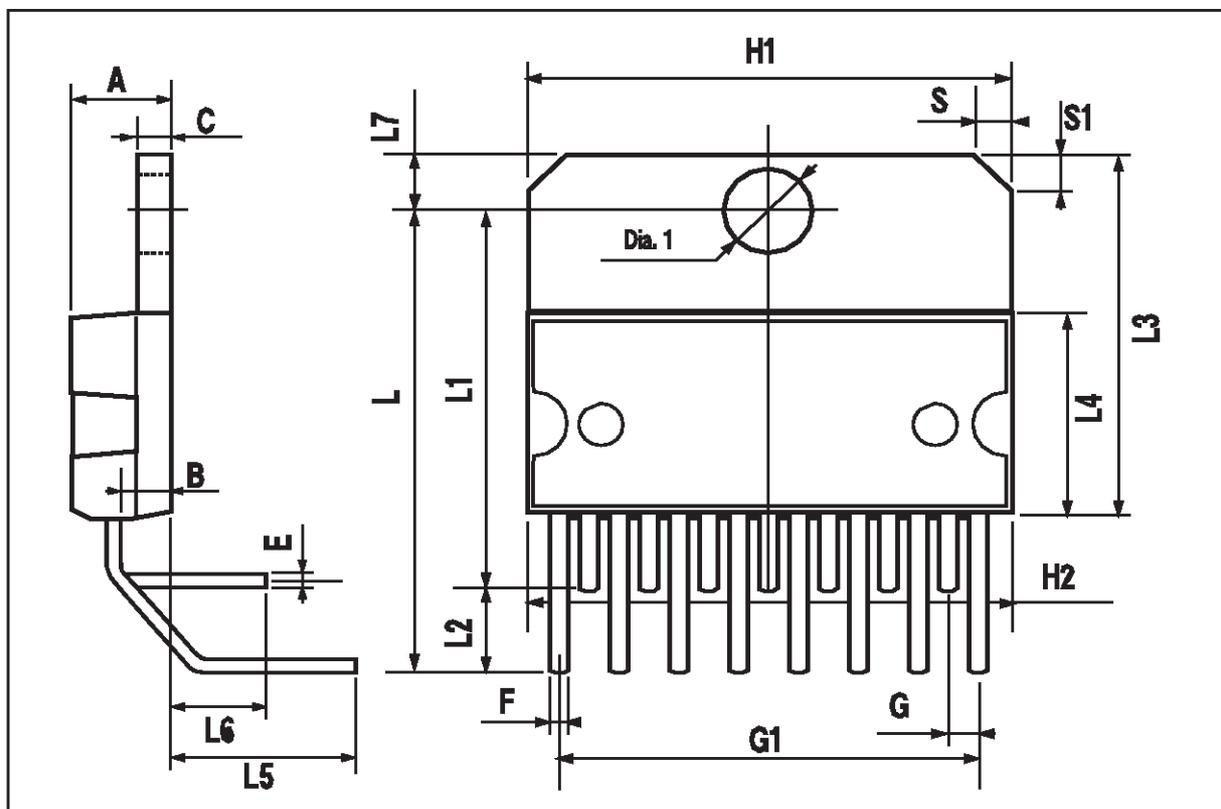


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



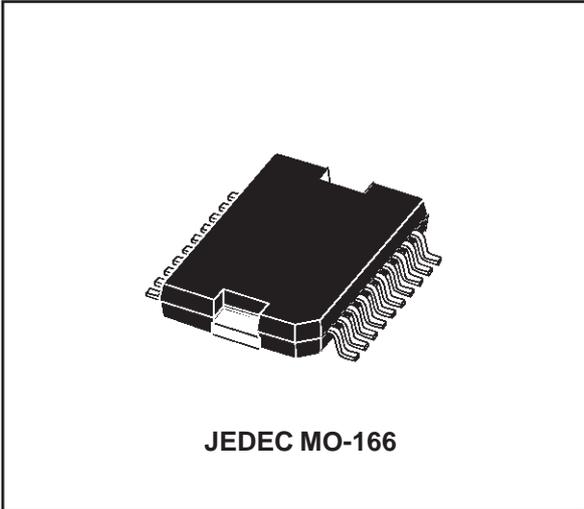
Multiwatt15 H



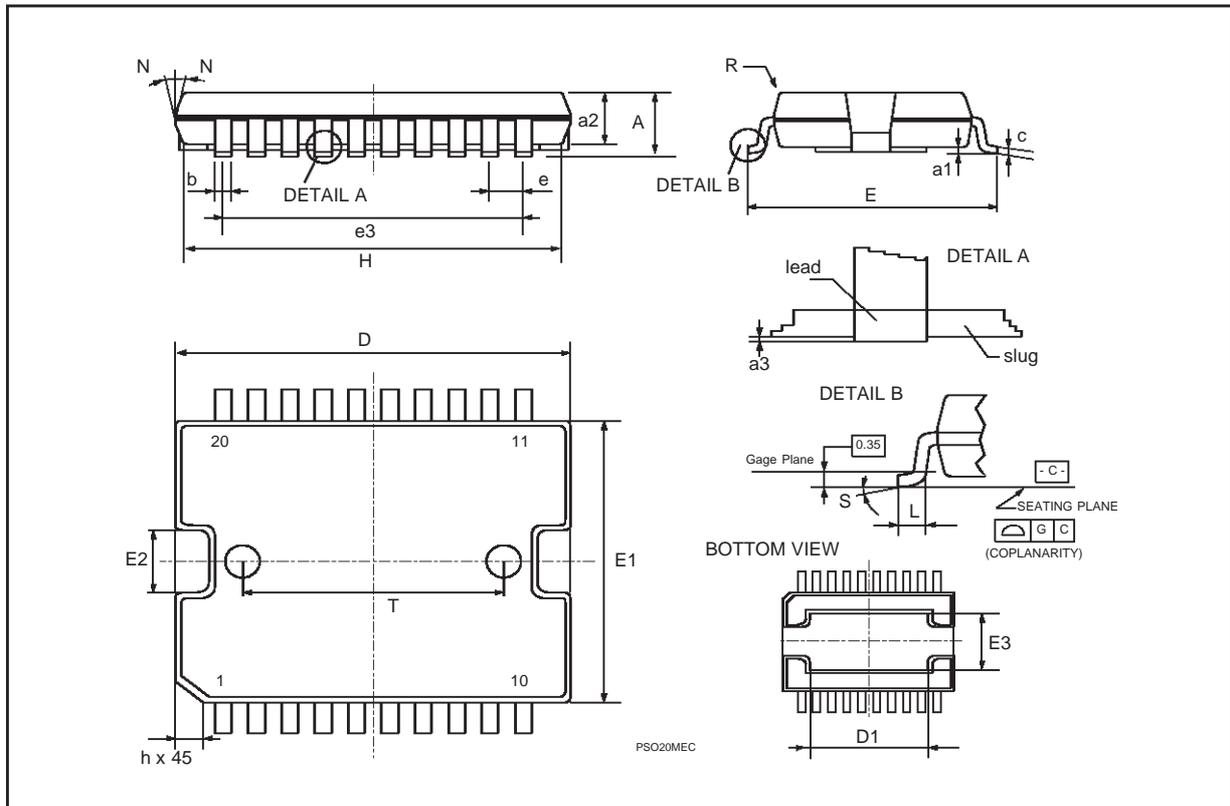
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions: "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



PowerSO20



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics
© 2000 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>

ANEXO V – DATASHEET SENSOR TEMPERATURA

FEATURES

- Low voltage operation (2.7 V to 5.5 V)**
- Calibrated directly in °C**
- 10 mV/°C scale factor (20 mV/°C on TMP37)**
- ±2°C accuracy over temperature (typ)**
- ±0.5°C linearity (typ)**
- Stable with large capacitive loads**
- Specified –40°C to +125°C, operation to +150°C**
- Less than 50 µA quiescent current**
- Shutdown current 0.5 µA max**
- Low self-heating**
- Qualified for automotive applications**

APPLICATIONS

- Environmental control systems**
- Thermal protection**
- Industrial process control**
- Fire alarms**
- Power system monitors**
- CPU thermal management**

GENERAL DESCRIPTION

The TMP35/TMP36/TMP37 are low voltage, precision centi-grade temperature sensors. They provide a voltage output that is linearly proportional to the Celsius (centigrade) temperature. The TMP35/ TMP36/TMP37 do not require any external calibration to provide typical accuracies of ±1°C at +25°C and ±2°C over the –40°C to +125°C temperature range.

The low output impedance of the TMP35/TMP36/TMP37 and its linear output and precise calibration simplify interfacing to temperature control circuitry and ADCs. All three devices are intended for single-supply operation from 2.7 V to 5.5 V maximum. The supply current runs well below 50 µA, providing very low self-heating—less than 0.1°C in still air. In addition, a shutdown function is provided to cut the supply current to less than 0.5 µA.

The TMP35 is functionally compatible with the LM35/LM45 and provides a 250 mV output at 25°C. The TMP35 reads temperatures from 10°C to 125°C. The TMP36 is specified from –40°C to +125°C, provides a 750 mV output at 25°C, and operates to 125°C from a single 2.7 V supply. The TMP36 is functionally compatible with the LM50. Both the TMP35 and TMP36 have an output scale factor of 10 mV/°C.

The TMP37 is intended for applications over the range of 5°C to 100°C and provides an output scale factor of 20 mV/°C. The TMP37 provides a 500 mV output at 25°C. Operation extends to 150°C with reduced accuracy for all devices when operating from a 5 V supply.

The TMP35/TMP36/TMP37 are available in low cost 3-lead TO-92, 8-lead SOIC_N, and 5-lead SOT-23 surface-mount packages.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

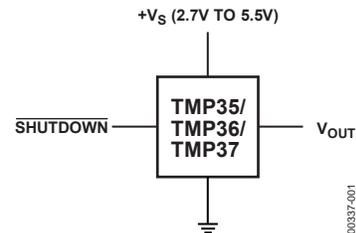


Figure 1.

00337-001

PIN CONFIGURATIONS

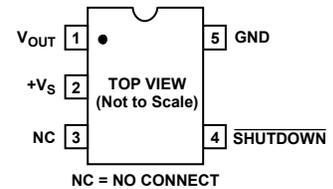


Figure 2. RJ-5 (SOT-23)

00337-002

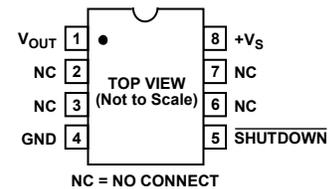


Figure 3. R-8 (SOIC_N)

00337-003

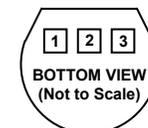


Figure 4. T-3 (TO-92)

00337-004

Rev. F

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

TMP35/TMP36/TMP37

TABLE OF CONTENTS

Features	1	Basic Temperature Sensor Connections.....	10
Applications.....	1	Fahrenheit Thermometers	10
General Description	1	Average and Differential Temperature Measurement	12
Functional Block Diagram	1	Microprocessor Interrupt Generator	13
Pin Configurations	1	Thermocouple Signal Conditioning with Cold-Junction Compensation.....	14
Revision History	2	Using TMP3x Sensors in Remote Locations	15
Specifications.....	3	Temperature to 4–20 mA Loop Transmitter	15
Absolute Maximum Ratings.....	4	Temperature-to-Frequency Converter	16
Thermal Resistance	4	Driving Long Cables or Heavy Capacitive Loads	17
ESD Caution.....	4	Commentary on Long-Term Stability	17
Typical Performance Characteristics	5	Outline Dimensions	18
Functional Description	8	Ordering Guide	19
Applications Information	9	Automotive Products.....	20
Shutdown Operation.....	9		
Mounting Considerations	9		
Thermal Environment Effects	9		

REVISION HISTORY

11/10—Rev. E to Rev. F

Changes to Features.....	1
Updated Outline Dimensions	18
Changes to Ordering Guide	19
Added Automotive Products Section	20

8/08—Rev. D to Rev. E

Updated Outline Dimensions	18
Changes to Ordering Guide	19

3/05—Rev. C to Rev. D

Updated Format.....	Universal
Changes to Specifications	3
Additions to Absolute Maximum Ratings.....	4
Updated Outline Dimensions	18
Changes to Ordering Guide	19

10/02—Rev. B to Rev. C

Changes to Specifications.....	3
Deleted Text from Commentary on Long-Term Stability Section.....	13
Updated Outline Dimensions	14

9/01—Rev. A to Rev. B

Edits to Specifications	2
Addition of New Figure 1	2
Deletion of Wafer Test Limits Section	3

6/97—Rev. 0 to Rev. A

3/96—Revision 0: Initial Version

SPECIFICATIONS

$V_S = 2.7\text{ V to }5.5\text{ V}$, $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter ¹	Symbol	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
ACCURACY						
TMP35/TMP36/TMP37 (F Grade)		$T_A = 25^\circ\text{C}$		± 1	± 2	$^\circ\text{C}$
TMP35/TMP36/TMP37 (G Grade)		$T_A = 25^\circ\text{C}$		± 1	± 3	$^\circ\text{C}$
TMP35/TMP36/TMP37 (F Grade)		Over rated temperature		± 2	± 3	$^\circ\text{C}$
TMP35/TMP36/TMP37 (G Grade)		Over rated temperature		± 2	± 4	$^\circ\text{C}$
Scale Factor, TMP35		$10^\circ\text{C} \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$		10		mV/ $^\circ\text{C}$
Scale Factor, TMP36		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		10		mV/ $^\circ\text{C}$
Scale Factor, TMP37		$5^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$		20		mV/ $^\circ\text{C}$
		$5^\circ\text{C} \leq T_A \leq 100^\circ\text{C}$		20		mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation		$3.0\text{ V} \leq V_S \leq 5.5\text{ V}$ $0\ \mu\text{A} \leq I_L \leq 50\ \mu\text{A}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +105^\circ\text{C}$		6	20	m $^\circ\text{C}/\mu\text{A}$
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$-105^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $3.0\text{ V} \leq V_S \leq 5.5\text{ V}$		25	60	m $^\circ\text{C}/\mu\text{A}$
Linearity				30	100	m $^\circ\text{C}/\text{V}$
Long-Term Stability				50		m $^\circ\text{C}/\text{V}$
				0.5		$^\circ\text{C}$
		$T_A = 150^\circ\text{C}$ for 1 kHz		0.4		$^\circ\text{C}$
SHUTDOWN						
Logic High Input Voltage	V_{IH}	$V_S = 2.7\text{ V}$	1.8			V
Logic Low Input Voltage	V_{IL}	$V_S = 5.5\text{ V}$			400	mV
OUTPUT						
TMP35 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		250		mV
TMP36 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		750		mV
TMP37 Output Voltage		$T_A = 25^\circ\text{C}$		500		mV
Output Voltage Range			100		2000	mV
Output Load Current	I_L		0		50	μA
Short-Circuit Current	I_{SC}	Note 2			250	μA
Capacitive Load Driving	C_L	No oscillations ²	1000	10000		pF
Device Turn-On Time		Output within $\pm 1^\circ\text{C}$, 100 k Ω 100 pF load ²		0.5	1	ms
POWER SUPPLY						
Supply Range	V_S		2.7		5.5	V
Supply Current	I_{SV} (ON)	Unloaded			50	μA
Supply Current (Shutdown)	I_{SV} (OFF)	Unloaded		0.01	0.5	μA

¹ Does not consider errors caused by self-heating.

² Guaranteed but not tested.

TMP35/TMP36/TMP37

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 2.

Parameter ^{1,2}	Rating
Supply Voltage	7 V
Shutdown Pin	$GND \leq \overline{SHUTDOWN} \leq +V_S$
Output Pin	$GND \leq V_{OUT} \leq +V_S$
Operating Temperature Range	-55°C to +150°C
Die Junction Temperature	175°C
Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
IR Reflow Soldering	
Peak Temperature	220°C (0°C/5°C)
Time at Peak Temperature Range	10 sec to 20 sec
Ramp-Up Rate	3°C/sec
Ramp-Down Rate	-6°C/sec
Time 25°C to Peak Temperature	6 min
IR Reflow Soldering—Pb-Free Package	
Peak Temperature	260°C (0°C)
Time at Peak Temperature Range	20 sec to 40 sec
Ramp-Up Rate	3°C/sec
Ramp-Down Rate	-6°C/sec
Time 25°C to Peak Temperature	8 min

¹ Digital inputs are protected; however, permanent damage can occur on unprotected units from high energy electrostatic fields. Keep units in conductive foam or packaging at all times until ready to use. Use proper antistatic handling procedures.

² Remove power before inserting or removing units from their sockets.

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

THERMAL RESISTANCE

θ_{JA} is specified for the worst-case conditions, that is, a device in socket.

Table 3. Thermal Resistance

Package Type	θ_{JA}	θ_{JC}	Unit
TO-92 (T-3)	162	120	°C/W
SOIC_N (R-8)	158	43	°C/W
SOT-23 (RJ-5)	300	180	°C/W

ESD CAUTION



ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

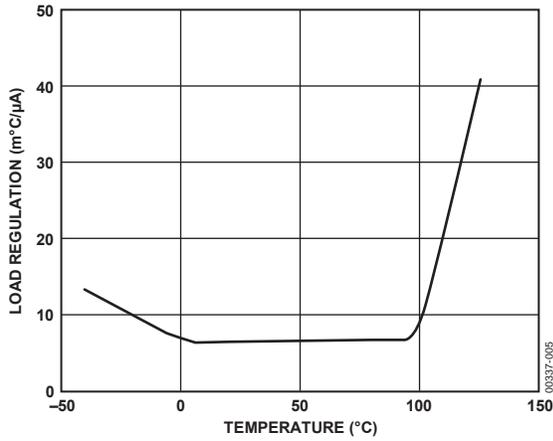


Figure 5. Load Regulation vs. Temperature ($m^{\circ}C/\mu A$)

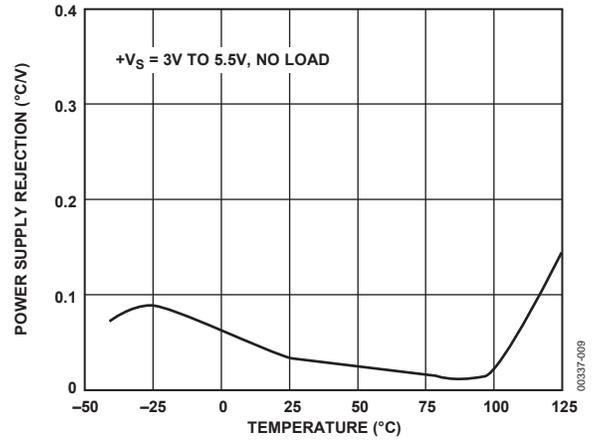


Figure 8. Power Supply Rejection vs. Temperature

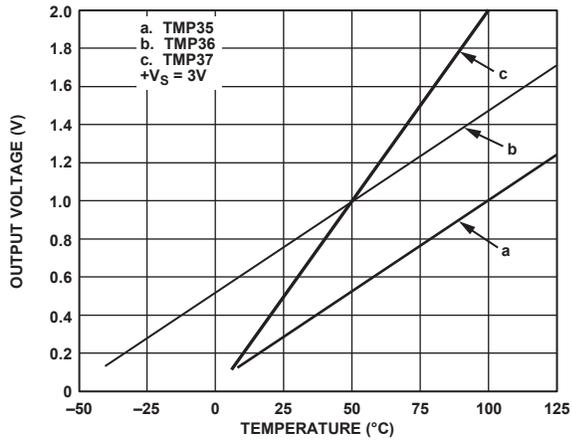


Figure 6. Output Voltage vs. Temperature

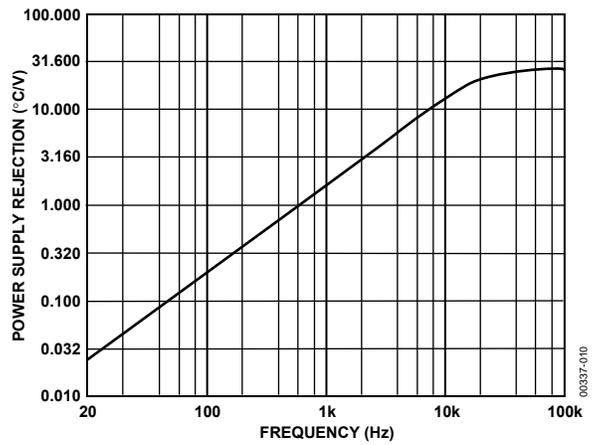


Figure 9. Power Supply Rejection vs. Frequency

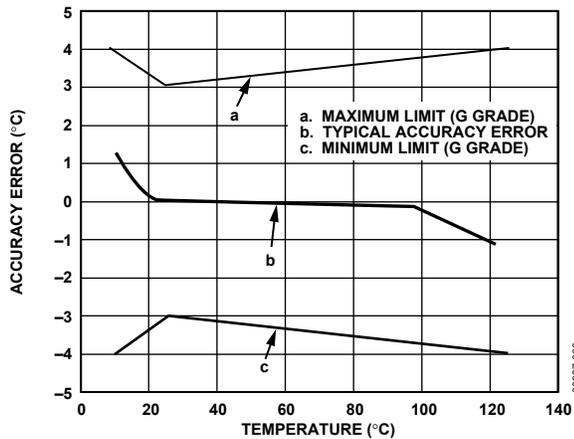


Figure 7. Accuracy Error vs. Temperature

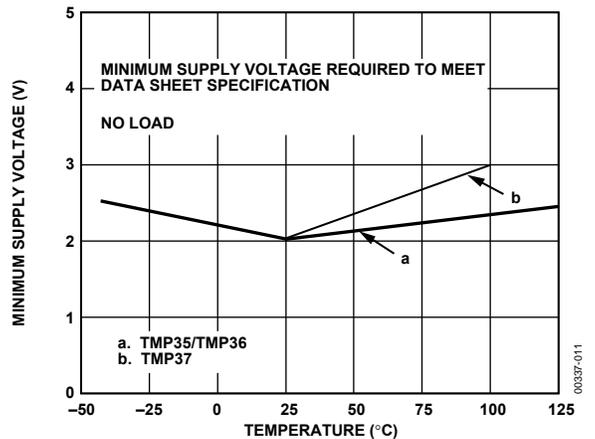


Figure 10. Minimum Supply Voltage vs. Temperature

TMP35/TMP36/TMP37

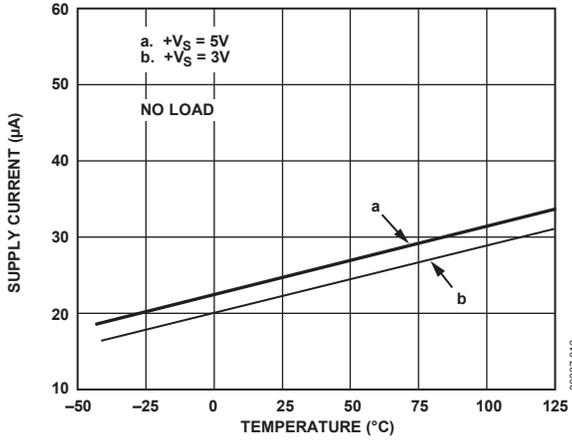


Figure 11. Supply Current vs. Temperature

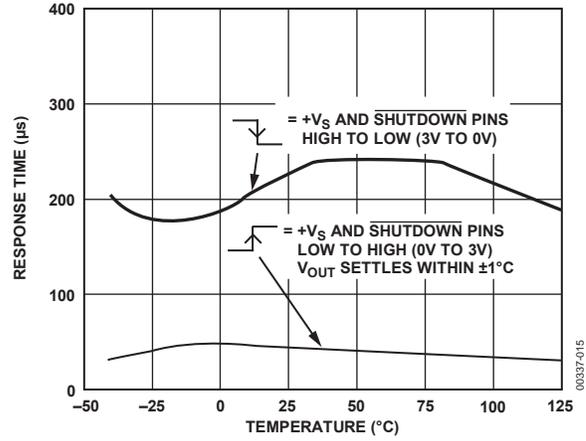


Figure 14. V_{OUT} Response Time for $+V_S$ Power-Up/Power-Down vs. Temperature

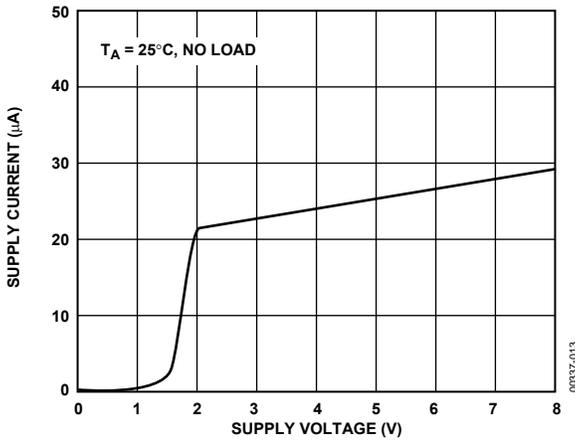


Figure 12. Supply Current vs. Supply Voltage

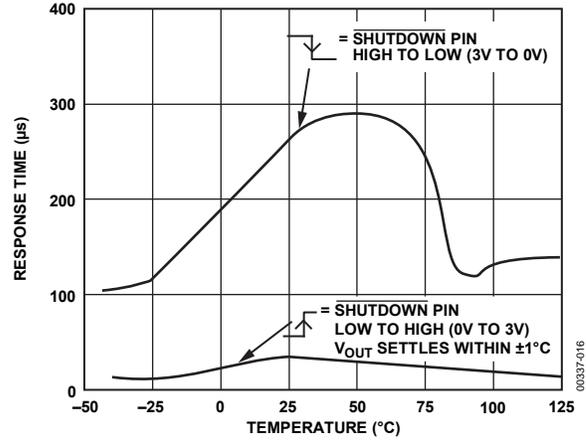


Figure 15. V_{OUT} Response Time for $\overline{SHUTDOWN}$ Pin vs. Temperature

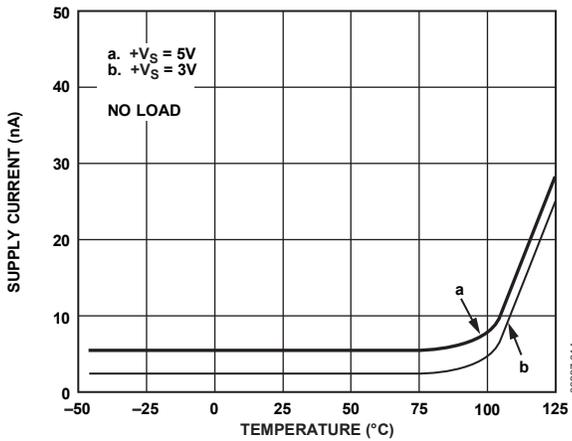


Figure 13. Supply Current vs. Temperature ($SHUTDOWN = 0V$)

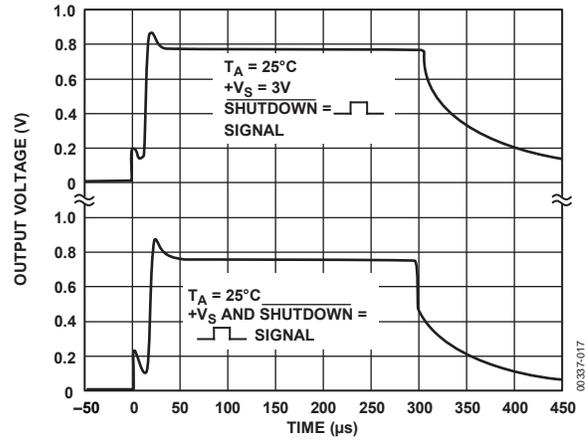


Figure 16. V_{OUT} Response Time to $\overline{SHUTDOWN}$ Pin and $+V_S$ Pin vs. Time

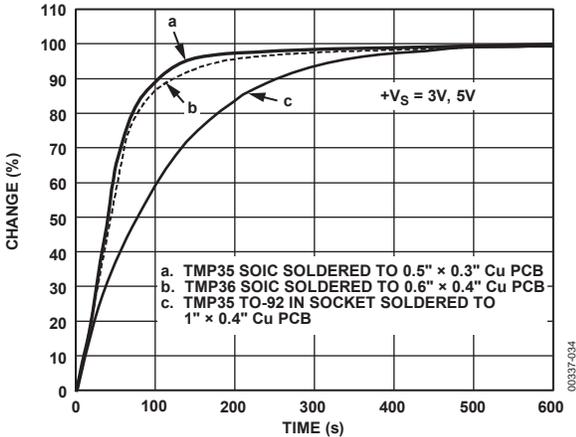


Figure 17. Thermal Response Time in Still Air

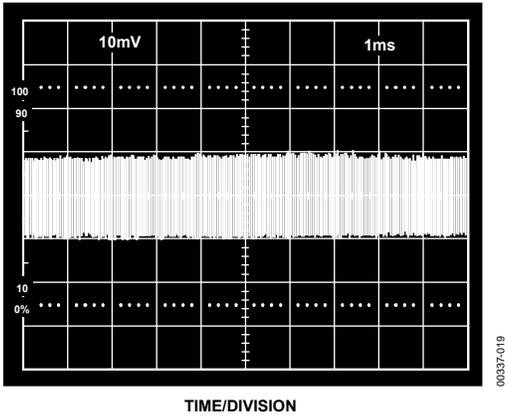


Figure 20. Temperature Sensor Wideband Output Noise Voltage; Gain = 100, BW = 157 kHz

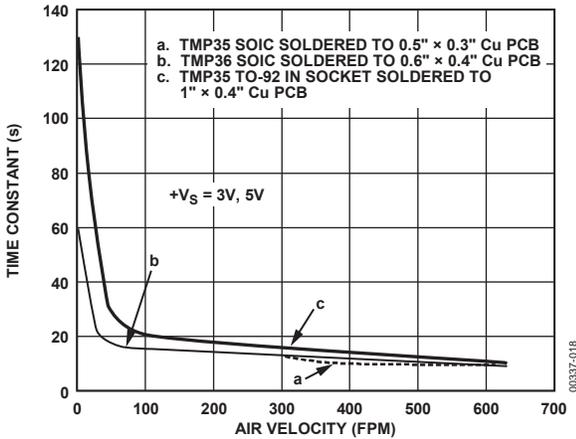


Figure 18. Thermal Response Time Constant in Forced Air

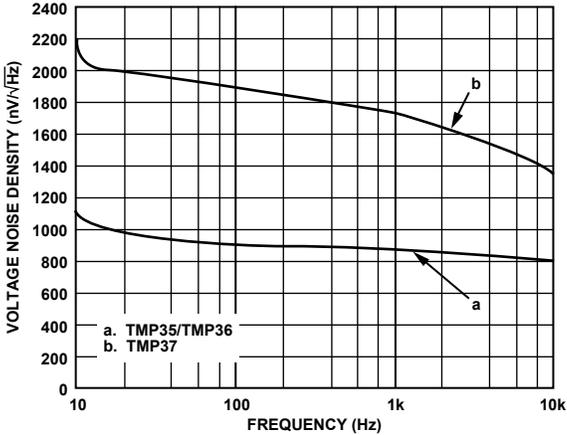


Figure 21. Voltage Noise Spectral Density vs. Frequency

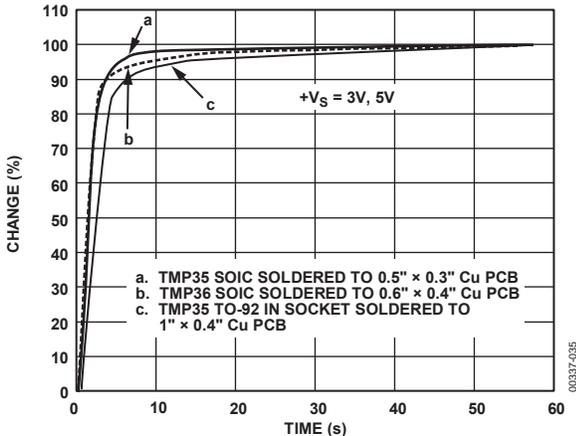


Figure 19. Thermal Response Time in Stirred Oil Bath

TMP35/TMP36/TMP37

FUNCTIONAL DESCRIPTION

An equivalent circuit for the TMP3x family of micropower, centigrade temperature sensors is shown in Figure 22. The core of the temperature sensor is a band gap core that comprises transistors Q1 and Q2, biased by Q3 to approximately 8 μA . The band gap core operates both Q1 and Q2 at the same collector current level; however, because the emitter area of Q1 is 10 times that of Q2, the V_{BE} of Q1 and the V_{BE} of Q2 are not equal by the following relationship:

$$\Delta V_{BE} = V_T \times \ln\left(\frac{A_{E,Q1}}{A_{E,Q2}}\right)$$

Resistors R1 and R2 are used to scale this result to produce the output voltage transfer characteristic of each temperature sensor and, simultaneously, R2 and R3 are used to scale the V_{BE} of Q1 as an offset term in V_{OUT} . Table 4 summarizes the differences in the output characteristics of the three temperature sensors.

The output voltage of the temperature sensor is available at the emitter of Q4, which buffers the band gap core and provides load current drive. The current gain of Q4, working with the available base current drive from the previous stage, sets the short-circuit current limit of these devices to 250 μA .

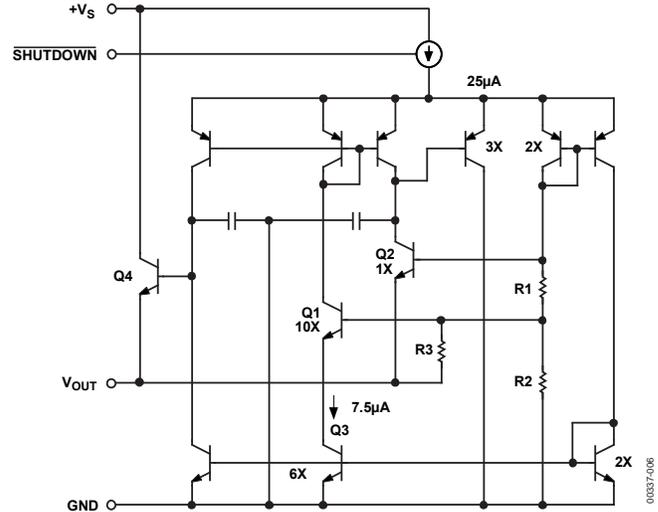


Figure 22. Temperature Sensor Simplified Equivalent Circuit

Table 4. TMP3x Output Characteristics

Sensor	Offset Voltage (V)	Output Voltage Scaling (mV/°C)	Output Voltage @ 25°C (mV)
TMP35	0	10	250
TMP36	0.5	10	750
TMP37	0	20	500

APPLICATIONS INFORMATION

SHUTDOWN OPERATION

All TMP3x devices include a shutdown capability, which reduces the power supply drain to less than 0.5 μA maximum. This feature, available only in the SOIC_N and the SOT-23 packages, is TTL/CMOS level-compatible, provided that the temperature sensor supply voltage is equal in magnitude to the logic supply voltage. Internal to the TMP3x at the SHUTDOWN pin, a pull-up current source to $+V_S$ is connected. This allows the SHUTDOWN pin to be driven from an open-collector/drain driver. A logic low, or zero-volt condition, on the SHUTDOWN pin is required to turn off the output stage. During shutdown, the output of the temperature sensors becomes high impedance where the potential of the output pin is then determined by external circuitry. If the shutdown feature is not used, it is recommended that the SHUTDOWN pin be connected to $+V_S$ (Pin 8 on the SOIC_N; Pin 2 on the SOT-23).

The shutdown response time of these temperature sensors is shown in Figure 14, Figure 15, and Figure 16.

MOUNTING CONSIDERATIONS

If the TMP3x temperature sensors are thermally attached and protected, they can be used in any temperature measurement application where the maximum temperature range of the medium is between -40°C and $+125^\circ\text{C}$. Properly cemented or glued to the surface of the medium, these sensors are within 0.01°C of the surface temperature. Caution should be exercised, especially with T-3 packages, because the leads and any wiring to the device can act as heat pipes, introducing errors if the surrounding air-surface interface is not isothermal. Avoiding this condition is easily achieved by dabbing the leads of the temperature sensor and the hookup wires with a bead of thermally conductive epoxy. This ensures that the TMP3x die temperature is not affected by the surrounding air temperature. Because plastic IC packaging technology is used, excessive mechanical stress should be avoided when fastening the device with a clamp or a screw-on heat tab. Thermally conductive epoxy or glue, which must be electrically nonconductive, is recommended under typical mounting conditions.

These temperature sensors, as well as any associated circuitry, should be kept insulated and dry to avoid leakage and corrosion. In wet or corrosive environments, any electrically isolated metal or ceramic well can be used to shield the temperature sensors. Condensation at very cold temperatures can cause errors and should be avoided by sealing the device, using electrically nonconductive epoxy paints or dip or any one of the many printed circuit board coatings and varnishes.

THERMAL ENVIRONMENT EFFECTS

The thermal environment in which the TMP3x sensors are used determines two important characteristics: self-heating effects and thermal response time. Figure 23 illustrates a thermal model of the TMP3x temperature sensors, which is useful in understanding these characteristics.

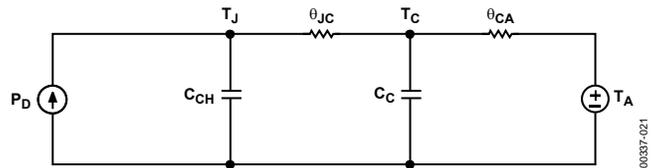


Figure 23. Thermal Circuit Model

In the T-3 package, the thermal resistance junction-to-case, θ_{JC} , is $120^\circ\text{C}/\text{W}$. The thermal resistance case-to-ambient, C_A , is the difference between θ_{JA} and θ_{JC} , and is determined by the characteristics of the thermal connection. The power dissipation of the temperature sensor, P_D , is the product of the total voltage across the device and its total supply current, including any current delivered to the load. The rise in die temperature above the ambient temperature of the medium is given by

$$T_J = P_D \times (\theta_{JC} + \theta_{CA}) + T_A$$

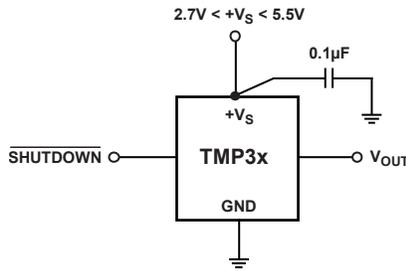
Thus, the die temperature rise of a TMP35 SOT-23 package mounted into a socket in still air at 25°C and driven from a 5 V supply is less than 0.04°C .

The transient response of the TMP3x sensors to a step change in the temperature is determined by the thermal resistances and the thermal capacities of the die, C_{CH} , and the case, C_C . The thermal capacity of C_C varies with the measurement medium because it includes anything in direct contact with the package. In all practical cases, the thermal capacity of C_C is the limiting factor in the thermal response time of the sensor and can be represented by a single-pole RC time constant response. Figure 17 and Figure 19 show the thermal response time of the TMP3x sensors under various conditions. The thermal time constant of a temperature sensor is defined as the time required for the sensor to reach 63.2% of the final value for a step change in the temperature. For example, the thermal time constant of a TMP35 SOIC package sensor mounted onto a $0.5'' \times 0.3''$ PCB is less than 50 sec in air, whereas in a stirred oil bath, the time constant is less than 3 sec.

TMP35/TMP36/TMP37

BASIC TEMPERATURE SENSOR CONNECTIONS

Figure 24 illustrates the basic circuit configuration for the TMP3x family of temperature sensors. The table in Figure 24 shows the pin assignments of the temperature sensors for the three package types. For the SOT-23, Pin 3 is labeled NC, as are Pin 2, Pin 3, Pin 6, and Pin 7 on the SOIC_N package. It is recommended that no electrical connections be made to these pins. If the shutdown feature is not needed on the SOT-23 or on the SOIC_N package, the $\overline{\text{SHUTDOWN}}$ pin should be connected to $+V_S$.



PIN ASSIGNMENTS

PACKAGE	+V _S	GND	V _{OUT}	$\overline{\text{SHUTDOWN}}$
SOIC_N	8	4	1	5
SOT-23	2	5	1	4
TO-92	1	3	2	NA

Figure 24. Basic Temperature Sensor Circuit Configuration

Note the 0.1 μF bypass capacitor on the input. This capacitor should be a ceramic type, have very short leads (surface-mount is preferable), and be located as close as possible in physical proximity to the temperature sensor supply pin. Because these temperature sensors operate on very little supply current and may be exposed to very hostile electrical environments, it is important to minimize the effects of radio frequency interference (RFI) on these devices. The effect of RFI on these temperature sensors specifically and on analog ICs in general is manifested as abnormal dc shifts in the output voltage due to the rectification of the high frequency ambient noise by the IC. When the devices are operated in the presence of high frequency radiated or conducted noise, a large value tantalum capacitor ($\pm 2.2 \mu\text{F}$) placed across the 0.1 μF ceramic capacitor may offer additional noise immunity.

FAHRENHEIT THERMOMETERS

Although the TMP3x temperature sensors are centigrade temperature sensors, a few components can be used to convert the output voltage and transfer characteristics to directly read Fahrenheit temperatures. Figure 25 shows an example of a simple Fahrenheit thermometer using either the TMP35 or the TMP37. Using the TMP35, this circuit can be used to sense temperatures from 41°F to 257°F with an output transfer characteristic of 1 mV/°F; using the TMP37, this circuit can be used to sense temperatures from 41°F to 212°F with an output transfer characteristic of 2 mV/°F. This particular approach does not lend itself to the TMP36 because of its inherent 0.5 V output offset. The circuit is constructed with an AD589, a 1.23 V voltage reference, and four resistors whose values for each sensor are shown in the table in Figure 25. The scaling of the output resistance levels ensures minimum output loading on the temperature sensors. A generalized expression for the transfer equation of the circuit is given by

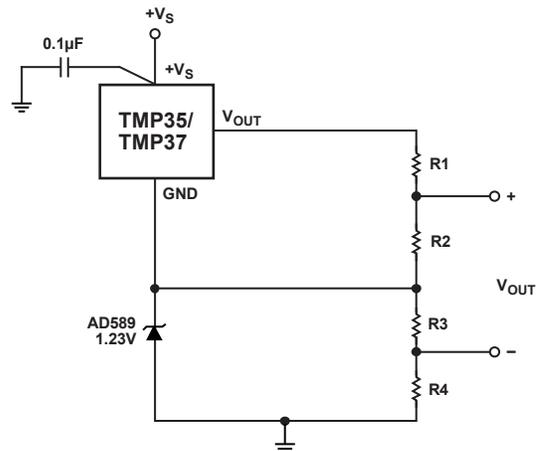
$$V_{OUT} = \left(\frac{R1}{R1 + R2} \right) (TMP35) + \left(\frac{R3}{R3 + R4} \right) (AD589)$$

where:

$TMP35$ is the output voltage of the TMP35 or the TMP37 at the measurement temperature, T_M .

$AD589$ is the output voltage of the reference, that is, 1.23 V.

The output voltage of this circuit is not referenced to the circuit's common ground. If this output voltage were applied directly to the input of an ADC, the ADC common ground should be adjusted accordingly.



SENSOR	TCV_{OUT}	R1 (k Ω)	R2 (k Ω)	R3 (k Ω)	R4 (k Ω)
TMP35	1mV/°F	45.3	10	10	374
TMP37	2mV/°F	45.3	10	10	182

Figure 25. TMP35/TMP37 Fahrenheit Thermometers

The same circuit principles can be applied to the TMP36, but because of the inherent offset of the TMP36, the circuit uses only two resistors, as shown in Figure 26. In this circuit, the output voltage transfer characteristic is 1 mV/°F but is referenced to the common ground of the circuit; however, there is a 58 mV (58°F) offset in the output voltage. For example, the output voltage of the circuit reads 18 mV if the TMP36 is placed in a -40°F ambient environment and 315 mV at +257°F.

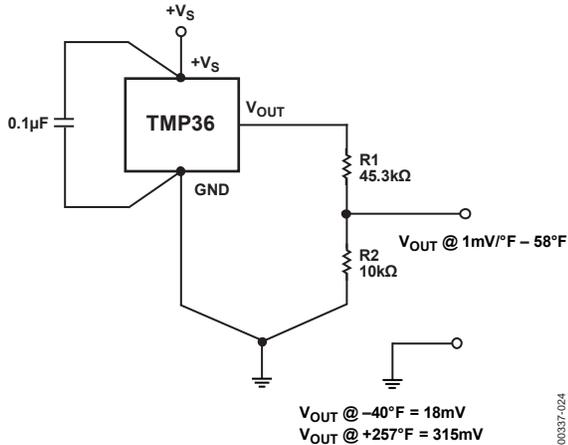


Figure 26. TMP36 Fahrenheit Thermometer Version 1

At the expense of additional circuitry, the offset produced by the circuit in Figure 26 can be avoided by using the circuit in Figure 27. In this circuit, the output of the TMP36 is conditioned by a single-supply, micropower op amp, the OP193. Although the entire circuit operates from a single 3 V supply, the output voltage of the circuit reads the temperature directly, with a transfer characteristic of 1 mV/°F, without offset. This is accomplished through an ADM660, which is a supply voltage inverter. The 3 V supply is inverted and applied to the V- terminal of the OP193. Thus, for a temperature range between -40°F and +257°F, the output of the circuit reads -40 mV to +257 mV. A general expression for the transfer equation of the circuit is given by

$$V_{OUT} = \left(\frac{R6}{R5 + R6} \right) \left(1 + \frac{R4}{R3} \right) (TMP36) - \left(\frac{R4}{R3} \right) \left(\frac{V_S}{2} \right)$$

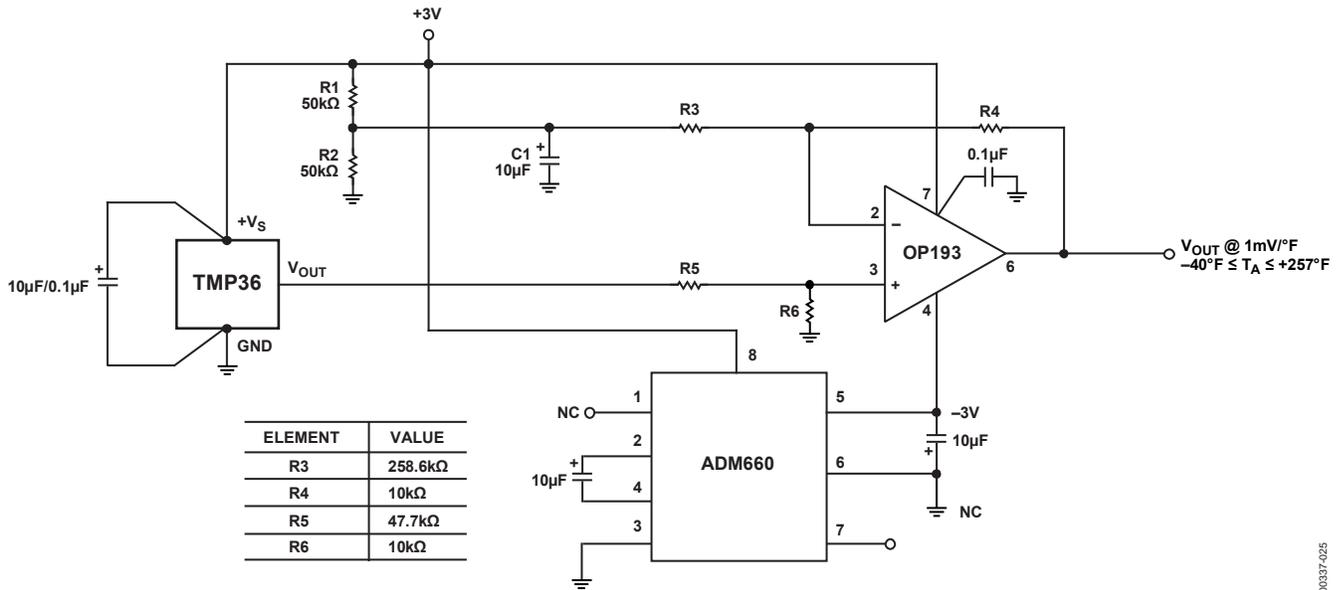


Figure 27. TMP36 Fahrenheit Thermometer Version 2

TMP35/TMP36/TMP37

AVERAGE AND DIFFERENTIAL TEMPERATURE MEASUREMENT

In many commercial and industrial environments, temperature sensors often measure the average temperature in a building, or the difference in temperature between two locations on a factory floor or in an industrial process. The circuits in Figure 28 and Figure 29 demonstrate an inexpensive approach to average and differential temperature measurement.

In Figure 28, an OP193 sums the outputs of three temperature sensors to produce an output voltage scaled by 10 mV/°C that represents the average temperature at three locations. The circuit can be extended to include as many temperature sensors as required as long as the transfer equation of the circuit is maintained. In this application, it is recommended that one temperature sensor type be used throughout the circuit; otherwise, the output voltage of the circuit cannot produce an accurate reading of the various ambient conditions.

The circuit in Figure 29 illustrates how a pair of TMP3x sensors used with an OP193 configured as a difference amplifier can read the difference in temperature between two locations. In these applications, it is always possible that one temperature sensor is reading a temperature below that of the other sensor. To accommodate this condition, the output of the OP193 is offset to a voltage at one-half the supply via R5 and R6. Thus, the output voltage of the circuit is measured relative to this point, as shown in Figure 29. Using the TMP36, the output voltage of the circuit is scaled by 10 mV/°C. To minimize the error in the difference between the two measured temperatures, a common, readily available thin-film resistor network is used for R1 to R4.

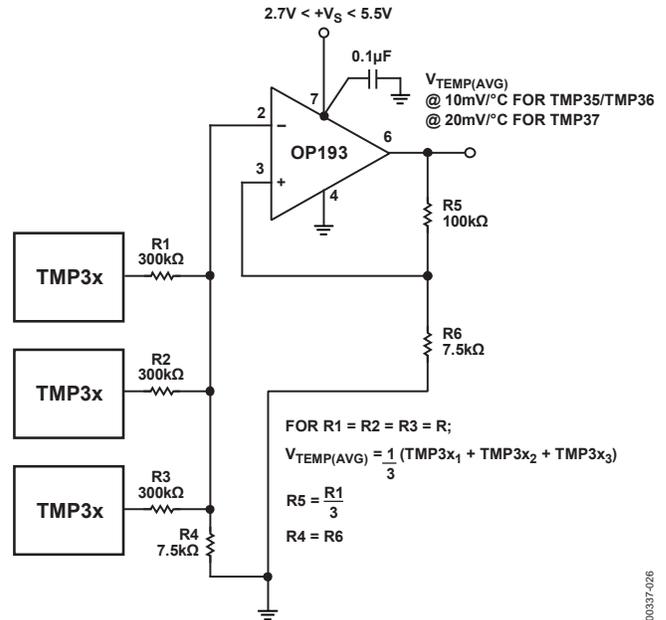
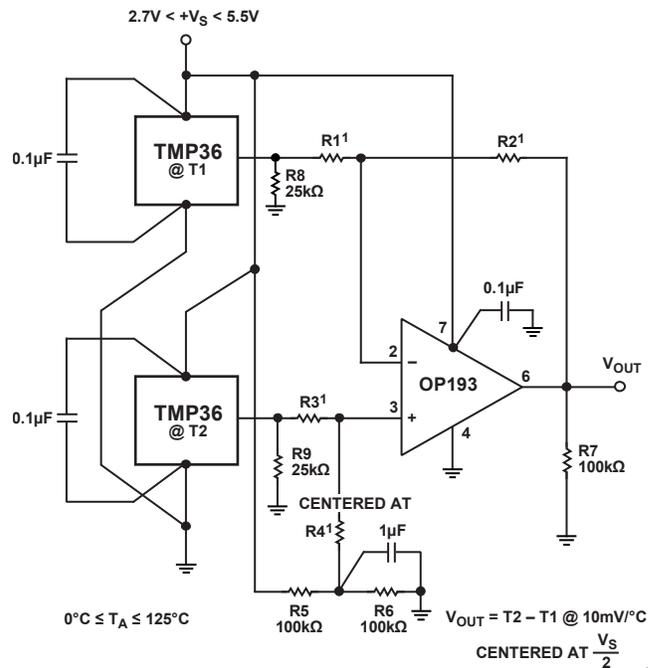


Figure 28. Configuring Multiple Sensors for Average Temperature Measurements



NOTE:
 1 R1–R4, Caddock T914–100k–100, OR EQUIVALENT.

Figure 29. Configuring Multiple Sensors for Differential Temperature Measurements

MICROPROCESSOR INTERRUPT GENERATOR

These inexpensive temperature sensors can be used with a voltage reference and an analog comparator to configure an interrupt generator for microprocessor applications. With the popularity of fast microprocessors, the need to indicate a microprocessor overtemperature condition has grown tremendously. The circuit in Figure 30 demonstrates one way to generate an interrupt using a TMP35, a CMP402 analog comparator, and a REF191, a 2 V precision voltage reference.

The circuit is designed to produce a logic high interrupt signal if the microprocessor temperature exceeds 80°C. This 80°C trip point was arbitrarily chosen (final value set by the microprocessor thermal reference design) and is set using an R3 to R4 voltage divider of the REF191 output voltage. Because the output of the TMP35 is scaled by 10 mV/°C, the voltage at the inverting terminal of the CMP402 is set to 0.8 V.

Because temperature is a slowly moving quantity, the possibility for comparator chatter exists. To avoid this condition, hysteresis is used around the comparator. In this application, a hysteresis of 5°C about the trip point was arbitrarily chosen; the ultimate value for hysteresis should be determined by the end application. The output logic voltage swing of the comparator with R1 and R2 determines the amount of comparator hysteresis. Using a 3.3 V supply, the output logic voltage swing of the CMP402 is 2.6 V; therefore, for a hysteresis of 5°C (50 mV @ 10 mV/°C), R1 is set to 20 kΩ, and R2 is set to 1 MΩ. An expression for the hysteresis of this circuit is given by

$$V_{HYS} = \left(\frac{R1}{R2} \right) (V_{LOGIC SWING, CMP402})$$

Because this circuit is probably used in close proximity to high speed digital circuits, R1 is split into equal values and a 1000 pF capacitor is used to form a low-pass filter on the output of the TMP35. Furthermore, to prevent high frequency noise from contaminating the comparator trip point, a 0.1 μF capacitor is used across R4.

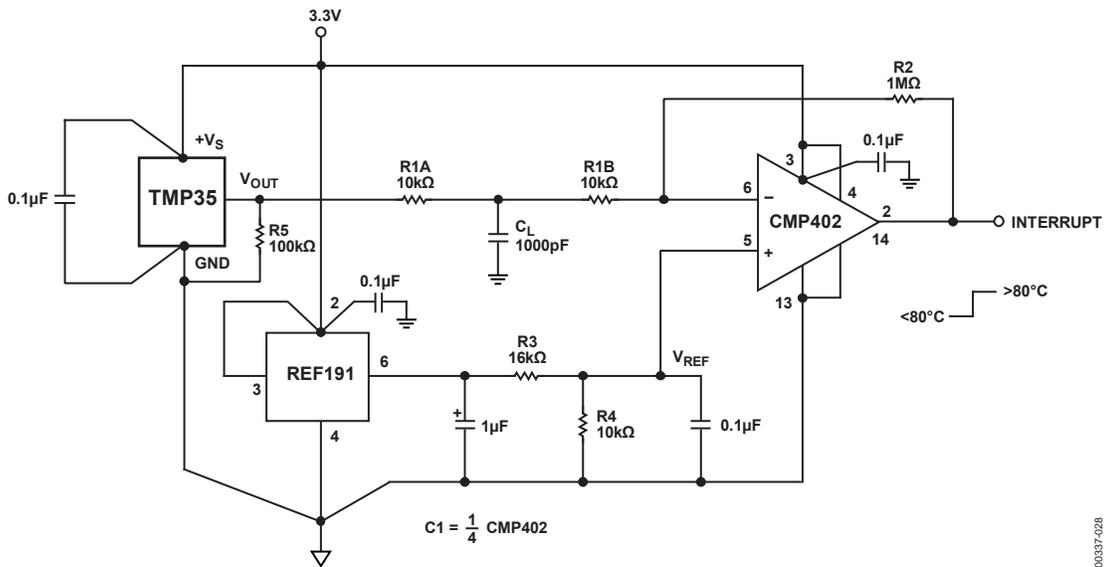


Figure 30. Microprocessor Overtemperature Interrupt Generator

00337-02B

USING TMP3x SENSORS IN REMOTE LOCATIONS

In many industrial environments, sensors are required to operate in the presence of high ambient noise. These noise sources take many forms, for example, SCR transients, relays, radio transmitters, arc welders, and ac motors. They can also be used at considerable distances from the signal conditioning circuitry. These high noise environments are typically in the form of electric fields, so the voltage output of the temperature sensor can be susceptible to contamination from these noise sources.

Figure 32 illustrates a way to convert the output voltage of a TMP3x sensor into a current to be transmitted down a long twisted pair shielded cable to a ground referenced receiver. The temperature sensors are not capable of high output current operation; thus, a standard PNP transistor is used to boost the output current drive of the circuit. As shown in the table in Figure 32, the values of R2 and R3 were chosen to produce an arbitrary full-scale output current of 2 mA. Lower values for the full-scale current are not recommended. The minimum-scale output current produced by the circuit could be contaminated by ambient magnetic fields operating in the near vicinity of the circuit/cable pair. Because the circuit uses an external transistor, the minimum recommended operating voltage for this circuit is 5 V. To minimize the effects of EMI (or RFI), both the circuit and the temperature sensor supply pins are bypassed with good quality ceramic capacitors.

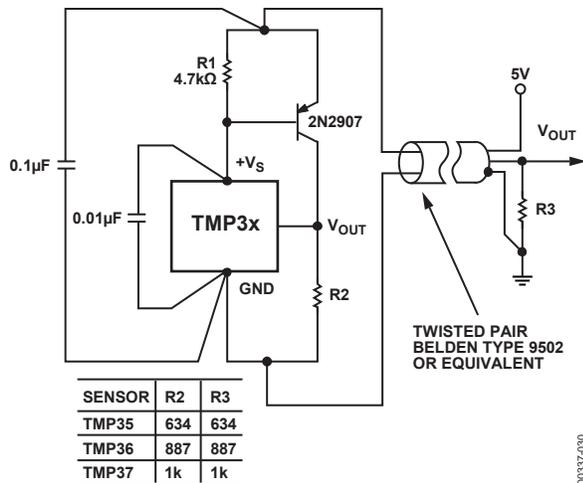


Figure 32. Remote, 2-Wire Boosted Output Current Temperature Sensor

TEMPERATURE TO 4–20 mA LOOP TRANSMITTER

In many process control applications, 2-wire transmitters are used to convey analog signals through noisy ambient environments. These current transmitters use a zero-scale signal current of 4 mA, which can be used to power the signal conditioning circuitry of the transmitter. The full-scale output signal in these transmitters is 20 mA.

Figure 33 illustrates a circuit that transmits temperature information in this fashion. Using a TMP3x as the temperature sensor, the output current is linearly proportional to the temperature of the medium. The entire circuit operates from the 3 V output of the REF193. The REF193 requires no external trimming because of its tight initial output voltage tolerance and the low supply current of the TMP3x, the OP193, and the REF193. The entire circuit consumes less than 3 mA from a total budget of 4 mA. The OP193 regulates the output current to satisfy the current summation at the noninverting node of the OP193. A generalized expression for the KCL equation at Pin 3 of the OP193 is given by

$$I_{OUT} = \left(\frac{1}{R7}\right) \times \left(\frac{TMP3x \times R3}{R1} + \frac{V_{REF} \times R3}{R2}\right)$$

For each temperature sensor, Table 5 provides the values for the components P1, P2, and R1 to R4.

Table 5. Circuit Element Values for Loop Transmitter

Sensor	R1	P1	R2	P2	R3	R4
TMP35	97.6 kΩ	5 kΩ	1.58 MΩ	100 kΩ	140 kΩ	56.2 kΩ
TMP36	97.6 kΩ	5 kΩ	931 kΩ	50 kΩ	97.6 kΩ	47 kΩ
TMP37	97.6 kΩ	5 kΩ	10.5 kΩ	500 Ω	84.5 kΩ	8.45 kΩ

The 4 mA offset trim is provided by P2, and P1 provides the full-scale gain trim of the circuit at 20 mA. These two trims do not interact because the noninverting input of the OP193 is held at a virtual ground. The zero-scale and full-scale output currents of the circuit are adjusted according to the operating temperature range of each temperature sensor. The Schottky diode, D1, is required in this circuit to prevent loop supply power-on transients from pulling the noninverting input of the OP193 more than 300 mV below its inverting input. Without this diode, such transients can cause phase reversal of the operational amplifier and possible latch-up of the transmitter. The loop supply voltage compliance of the circuit is limited by the maximum applied input voltage to the REF193; it is from 9 V to 18 V.

TMP35/TMP36/TMP37

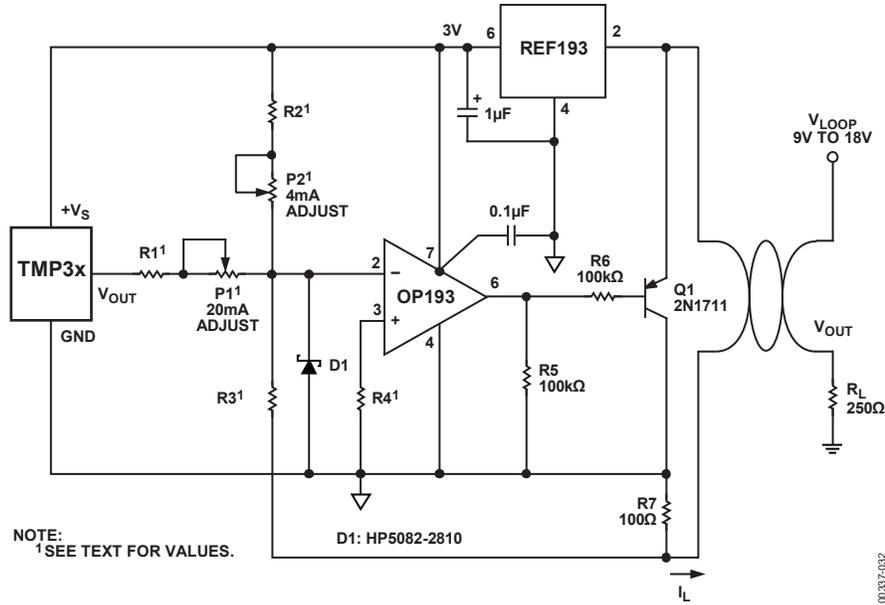


Figure 33. Temperature to 4–20 mA Loop Transmitter

TEMPERATURE-TO-FREQUENCY CONVERTER

Another common method of transmitting analog information from a remote location is to convert a voltage to an equivalent value in the frequency domain. This is readily done with any of the low cost, monolithic voltage-to-frequency converters (VFCs) available. These VFCs feature a robust, open-collector output transistor for easy interfacing to digital circuitry. The digital signal produced by the VFC is less susceptible to contamination from external noise sources and line voltage drops because the only important information is the frequency of the digital signal. When the conversions between temperature and frequency are done accurately, the temperature data from the sensors can be reliably transmitted.

The circuit in Figure 34 illustrates a method by which the outputs of these temperature sensors can be converted to a frequency using the AD654. The output signal of the AD654 is a square wave that is proportional to the dc input voltage across Pin 4 and Pin 3. The transfer equation of the circuit is given by

$$f_{OUT} = \left(\frac{V_{TPM} - V_{OFFSET}}{10 \times (R_T \times C_T)} \right)$$

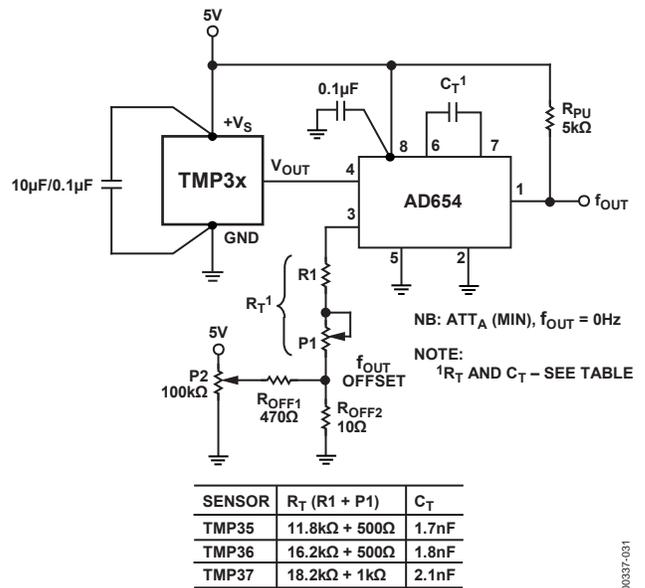


Figure 34. Temperature-to-Frequency Converter

An offset trim network ($f_{OUT\ OFFSET}$) is included with this circuit to set f_{OUT} to 0 Hz when the minimum output voltage of the temperature sensor is reached. Potentiometer P1 is required to calibrate the absolute accuracy of the AD654. The table in Figure 34 illustrates the circuit element values for each of the three sensors. The nominal offset voltage required for 0 Hz output from the TMP35 is 50 mV; for the TMP36 and TMP37, the offset voltage required is 100 mV. For the circuit values shown, the output frequency transfer characteristic of the circuit was set at 50 Hz/°C in all cases. At the receiving end, a frequency-to-voltage converter (FVC) can be used to convert the frequency back to a dc voltage for further processing. One such FVC is the AD650.

For complete information about the AD650 and the AD654, consult the individual data sheets for those devices.

DRIVING LONG CABLES OR HEAVY CAPACITIVE LOADS

Although the TMP3x family of temperature sensors can drive capacitive loads up to 10,000 pF without oscillation, output voltage transient response times can be improved by using a small resistor in series with the output of the temperature sensor, as shown in Figure 35. As an added benefit, this resistor forms a low-pass filter with the cable capacitance, which helps to reduce bandwidth noise. Because the temperature sensor is likely to be used in environments where the ambient noise level can be very high, this resistor helps to prevent rectification by the devices of the high frequency noise. The combination of this resistor and the supply bypass capacitor offers the best protection.

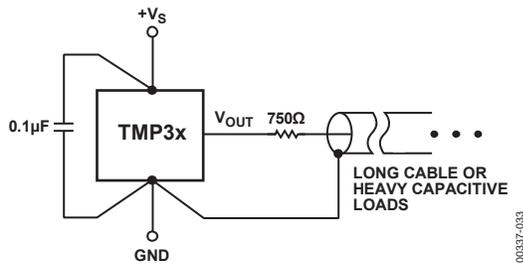


Figure 35. Driving Long Cables or Heavy Capacitive Loads

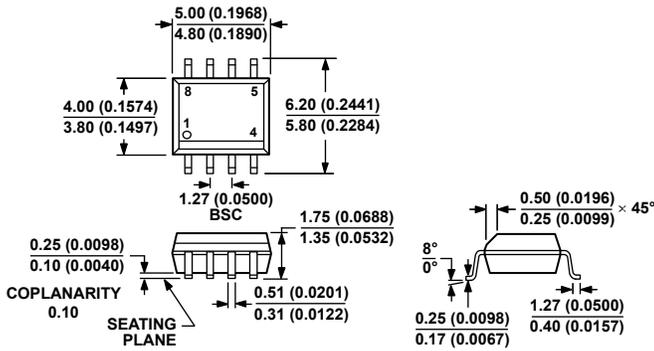
COMMENTARY ON LONG-TERM STABILITY

The concept of long-term stability has been used for many years to describe the amount of parameter shift that occurs during the lifetime of an IC. This is a concept that has been typically applied to both voltage references and monolithic temperature sensors. Unfortunately, integrated circuits cannot be evaluated at room temperature (25°C) for 10 years or more to determine this shift. As a result, manufacturers very typically perform accelerated lifetime testing of integrated circuits by operating ICs at elevated temperatures (between 125°C and 150°C) over a shorter period of time (typically, between 500 and 1000 hours).

As a result of this operation, the lifetime of an integrated circuit is significantly accelerated due to the increase in rates of reaction within the semiconductor material.

TMP35/TMP36/TMP37

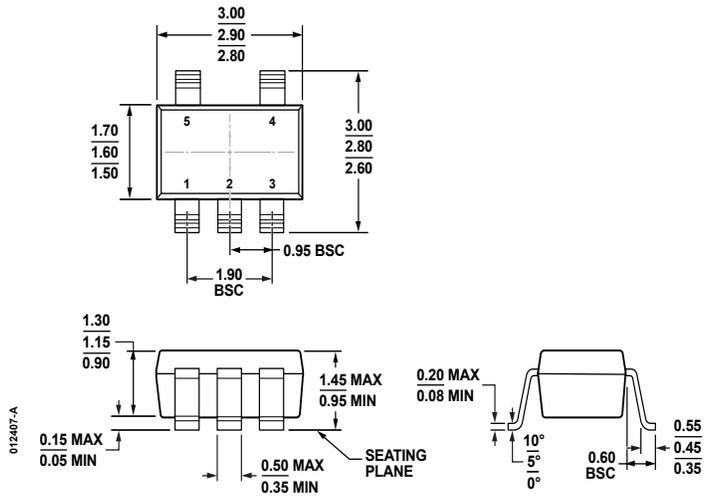
OUTLINE DIMENSIONS



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MS-012-AA
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS; INCH DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF MILLIMETER EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 36. 8-Lead Standard Small Outline Package [SOIC_N] Narrow Body (R-8)

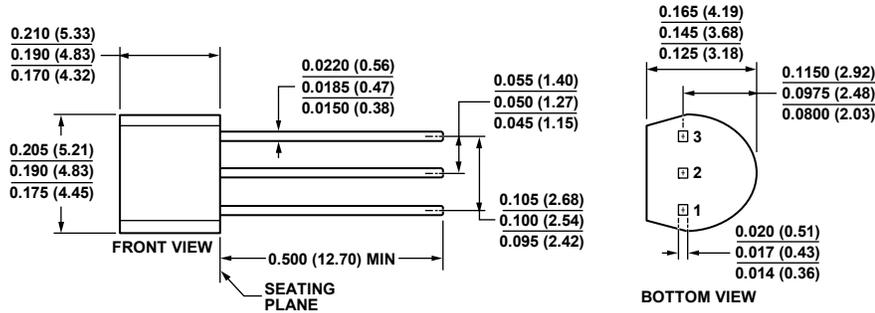
Dimensions shown in millimeters and (inches)



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MO-178-AA

Figure 37. 5-Lead Small Outline Transistor Package [SOT-23] (RJ-5)

Dimensions shown in millimeters



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS TO-226-AA
 CONTROLLING DIMENSIONS ARE IN INCHES; MILLIMETER DIMENSIONS (IN PARENTHESES) ARE ROUNDED-OFF EQUIVALENTS FOR REFERENCE ONLY AND ARE NOT APPROPRIATE FOR USE IN DESIGN.

Figure 38. 3-Pin Plastic Header-Style Package [TO-92] (T-3)

Dimensions shown in inches and (millimeters)

ORDERING GUIDE

Model ^{1,2}	Accuracy at 25°C (°C max)	Linear Operating Temperature Range	Package Description	Package Option	Branding
TMP35FSZ-REEL	±2.0	10°C to 125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP35GRT-REEL7	±3.0	10°C to 125°C	5-Lead Small Outline Transistor Package (SOT-23)	RJ-5	T5G
TMP35GRTZ-REEL7	±3.0	10°C to 125°C	5-Lead Small Outline Transistor Package (SOT-23)	RJ-5	#T11
TMP35GS	±3.0	10°C to 125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP35GT9	±3.0	10°C to 125°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
TMP35GT9Z	±3.0	10°C to 125°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
ADW75001Z-0REEL7	±3.0	-40°C to +125°C	5-Lead Small Outline Transistor Package (SOT-23)	RJ-5	#T6G
TMP36FS	±2.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36FS-REEL	±2.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36FSZ	±2.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36FSZ-REEL	±2.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36GRT-REEL7	±3.0	-40°C to +125°C	5-Lead Small Outline Transistor Package (SOT-23)	RJ-5	T6G
TMP36GRTZ-REEL7	±3.0	-40°C to +125°C	5-Lead Small Outline Transistor Package (SOT-23)	RJ-5	#T6G
TMP36GS	±3.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36GS-REEL	±3.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36GS-REEL7	±3.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36GSZ	±3.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36GSZ-REEL	±3.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36GSZ-REEL7	±3.0	-40°C to +125°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP36GT9	±3.0	-40°C to +125°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
TMP36GT9Z	±3.0	-40°C to +125°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
TMP37FT9	±2.0	5°C to 100°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
TMP37FT9-REEL	±2.0	5°C to 100°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
TMP37FT9Z	±2.0	5°C to 100°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
TMP37GRT-REEL7	±3.0	5°C to 100°C	5-Lead Small Outline Transistor Package (SOT-23)	RJ-5	T7G
TMP37GRTZ-REEL7	±3.0	5°C to 100°C	5-Lead Small Outline Transistor Package (SOT-23)	RJ-5	#T12
TMP37GSZ	±3.0	5°C to 100°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP37GSZ-REEL	±3.0	5°C to 100°C	8-Lead Standard Small Outline Package (SOIC_N)	R-8	
TMP37GT9	±3.0	5°C to 100°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
TMP37GT9-REEL	±3.0	5°C to 100°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	
TMP37GT9Z	±3.0	5°C to 100°C	3-Pin Plastic Header-Style Package (TO-92)	T-3	

¹ Z = RoHS Compliant Part.

² W = Qualified for Automotive Applications.

TMP35/TMP36/TMP37

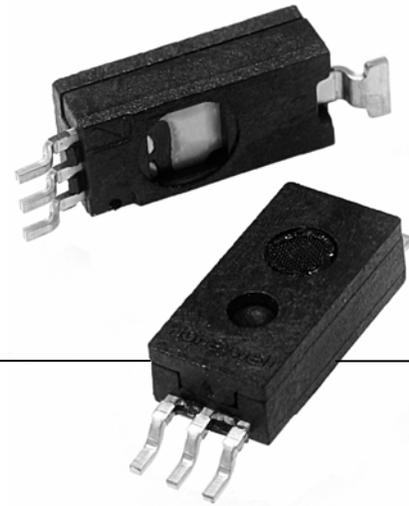
AUTOMOTIVE PRODUCTS

The ADW75001Z-0REEL7 model is available with controlled manufacturing to support the quality and reliability requirements of automotive applications. Note that this automotive model may have specifications that differ from the commercial models; therefore, designers should review the Specifications section of this data sheet carefully. Only automotive grade products shown are available for use in automotive applications. Contact your local Analog Devices account representative for specific product ordering information and to obtain the specific Automotive Reliability reports for these models.

ANEXO VI – DATASHEET SENSOR HUMIDADE

HIH-4030/31 Series

Humidity Sensors



DESCRIPTION

Honeywell has expanded our HIH Series to include an SMD (Surface Mount Device) product line: the new HIH 4030/4031. The HIH 4030/4031 complements our existing line of non-SMD humidity sensors. SMD packaging on tape and reel allows for use in high volume, automated pick and place manufacturing, eliminating lead misalignment to printed circuit board through-hole.

The HIH-4030/4031 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users.

Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's near linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-4030/4031 Series is often ideally suited for low drain, battery operated systems.

Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

FEATURES

- Tape and reel packaging allows for use in high volume pick and place manufacturing (1,000 units per tape and reel)
- Molded thermoset plastic housing
- Near linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- Enhanced accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

The HIH-4030/4031 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SMD.

The HIH-4030 is a covered integrated circuit humidity sensor. The HIH-4031 is a covered, condensation-resistant, integrated circuit humidity sensor that is factory-fitted with a hydrophobic filter allowing it to be used in condensing environments including industrial, medical and commercial applications.

The RH sensor uses a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning.

The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as condensation, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

Sample packs are available. See order guide.

POTENTIAL APPLICATIONS

- Refrigeration equipment
- HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) equipment
- Medical equipment
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

HIH-4030/31 Series

TABLE 1. PERFORMANCE SPECIFICATIONS (At 5 Vdc supply and 25 °C [77 °F] unless otherwise noted.)

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Specific Note
Interchangeability (first order curve)	–	–	–	–	–
0% RH to 59% RH	-5	–	5	% RH	–
60% RH to 100% RH	-8	–	8	% RH	–
Accuracy (best fit straight line)	-3.5	–	+3.5	% RH	1
Hysteresis	–	3	–	% RH	–
Repeatability	–	±0.5	–	% RH	–
Settling time	–	–	70	ms	–
Response time (1/e in slow moving air)	–	5	–	s	–
Stability (at 50% RH in a year)	–	±1.2	–	% RH	2
Stability (at 50% RH in a year)	–	±0.5	–	% RH	3
Voltage supply	4	–	5.8	Vdc	4
Current supply	–	200	500	µA	–
Voltage output (1 st order curve fit)	$V_{OUT} = (V_{SUPPLY})(0.0062(\text{sensor RH}) + 0.16)$, typical at 25 °C				
Temperature compensation	True RH = (Sensor RH)/(1.0546 – 0.00216T), T in °C				
Output voltage temp. coefficient at 50% RH, 5 V	–	-4	–	mV/°C	–
Operating temperature	-40[-40]	See Figure 1.	85[185]	°C[°F]	–
Operating humidity (HIH-4030)	0	See Figure 1.	100	% RH	5
Operating humidity (HIH-4031)	0	See Figure 1.	100	% RH	–
Storage temperature	-50[-58]	–	125[257]	°C[°F]	–
Storage humidity	See Figure 2.			% RH	5

Specific Notes:

1. Can only be achieved with the supplied slope and offset. For HIH-4030/31-003 catalog listings only.
2. Includes testing outside of recommended operating zone.
3. Includes testing for recommended operating zone only.
4. Device is calibrated at 5 Vdc and 25 °C.
5. Non-condensing environment. When liquid water falls on the humidity sensor die, output goes to a low rail condition indicating no humidity.

General Notes:

- Sensor is ratiometric to supply voltage.
- Extended exposure to ≥90% RH causes a reversible shift of 3% RH.
- Sensor is light sensitive. For best performance, shield sensor from bright light.

FACTORY CALIBRATION DATA

HIH-4030/31 Sensors may be ordered with a calibration and data printout. See Table 2 and the order guide on the back page.

TABLE 2. EXAMPLE DATA PRINTOUT

Model	HIH-4030-003
Channel	92
Wafer	030996M
MRP	337313
Calculated values at 5 V	
V _{OUT} at 0% RH	0.958 V
V _{OUT} at 75.3% RH	3.268 V
Linear output for 3.5% RH accuracy at 25 °C	
Zero offset	0.958 V
Slope	30.680 mV/%RH
Sensor RH	(V _{OUT} - zero offset)/slope (V _{OUT} - 0.958)/0.0307
Ratiometric response for 0% RH to 100% RH	
V _{OUT}	V _{SUPPLY} (0.1915 to 0.8130)



Humidity Sensors

FIGURE 1. OPERATING ENVIRONMENT (Non-condensing environment for HIH-4030 catalog listings only.)

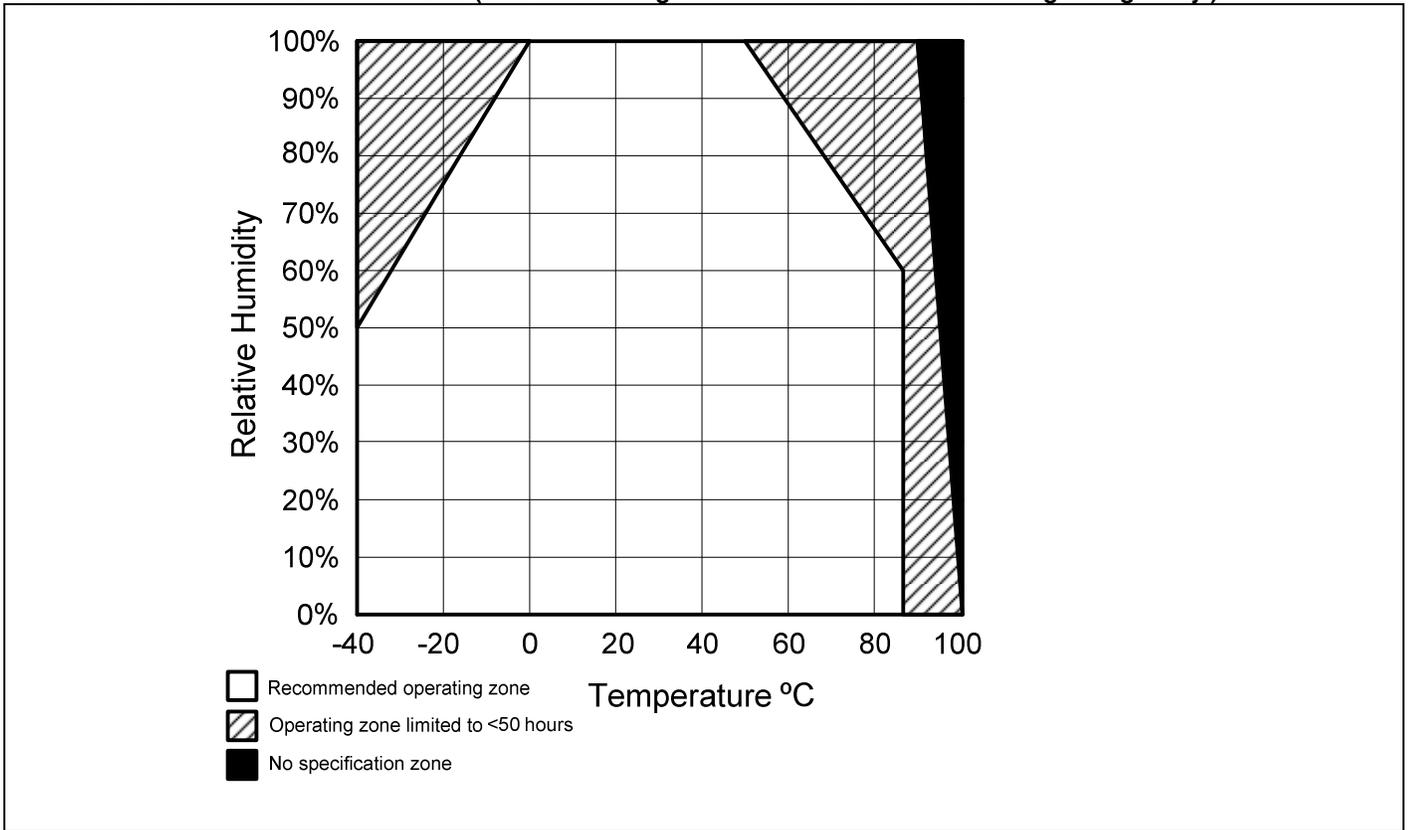
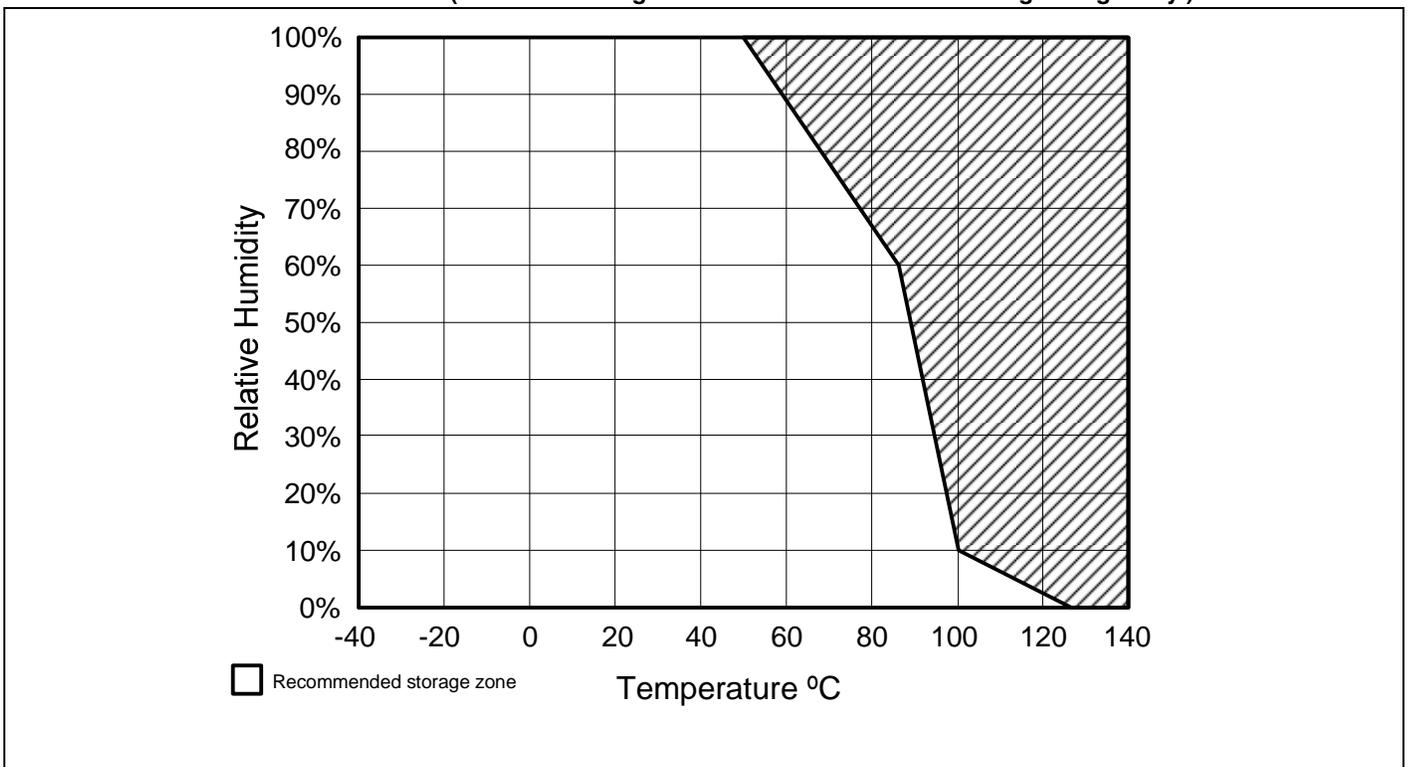


FIGURE 2. STORAGE ENVIRONMENT (Non-condensing environment for HIH-4030 catalog listings only.)



HIH-4030/31 Series

FIGURE 3. TYPICAL OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY (At 25 °C and 5 V.)

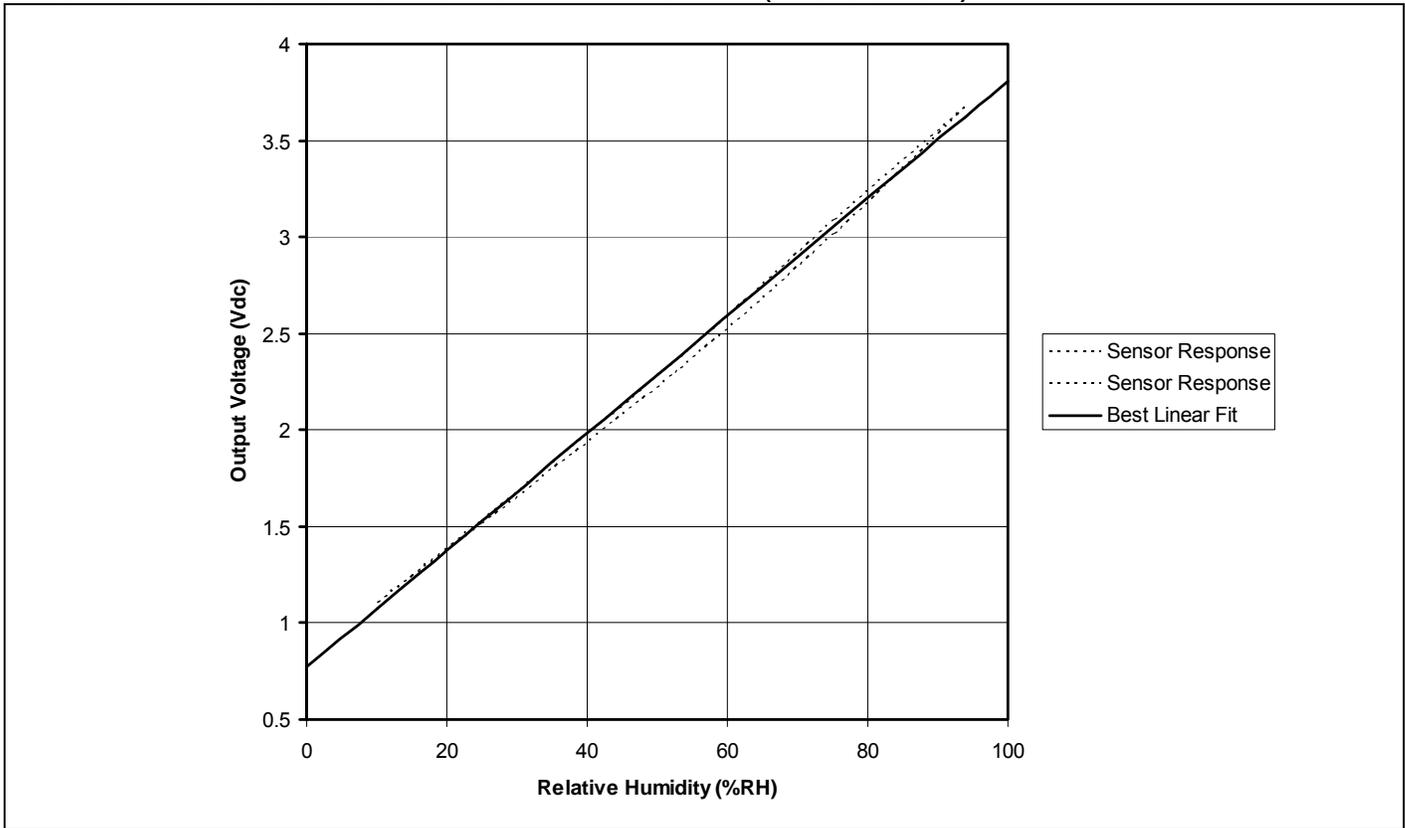
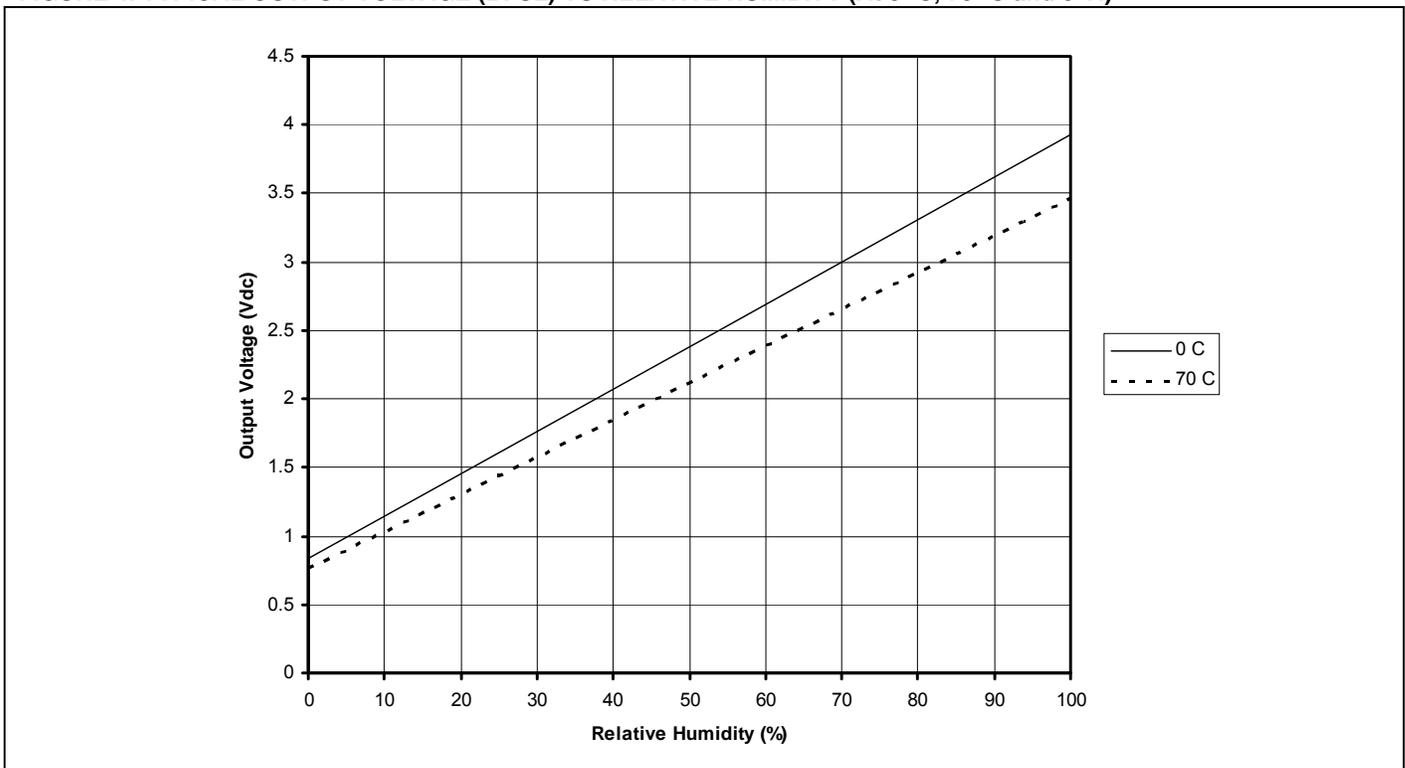
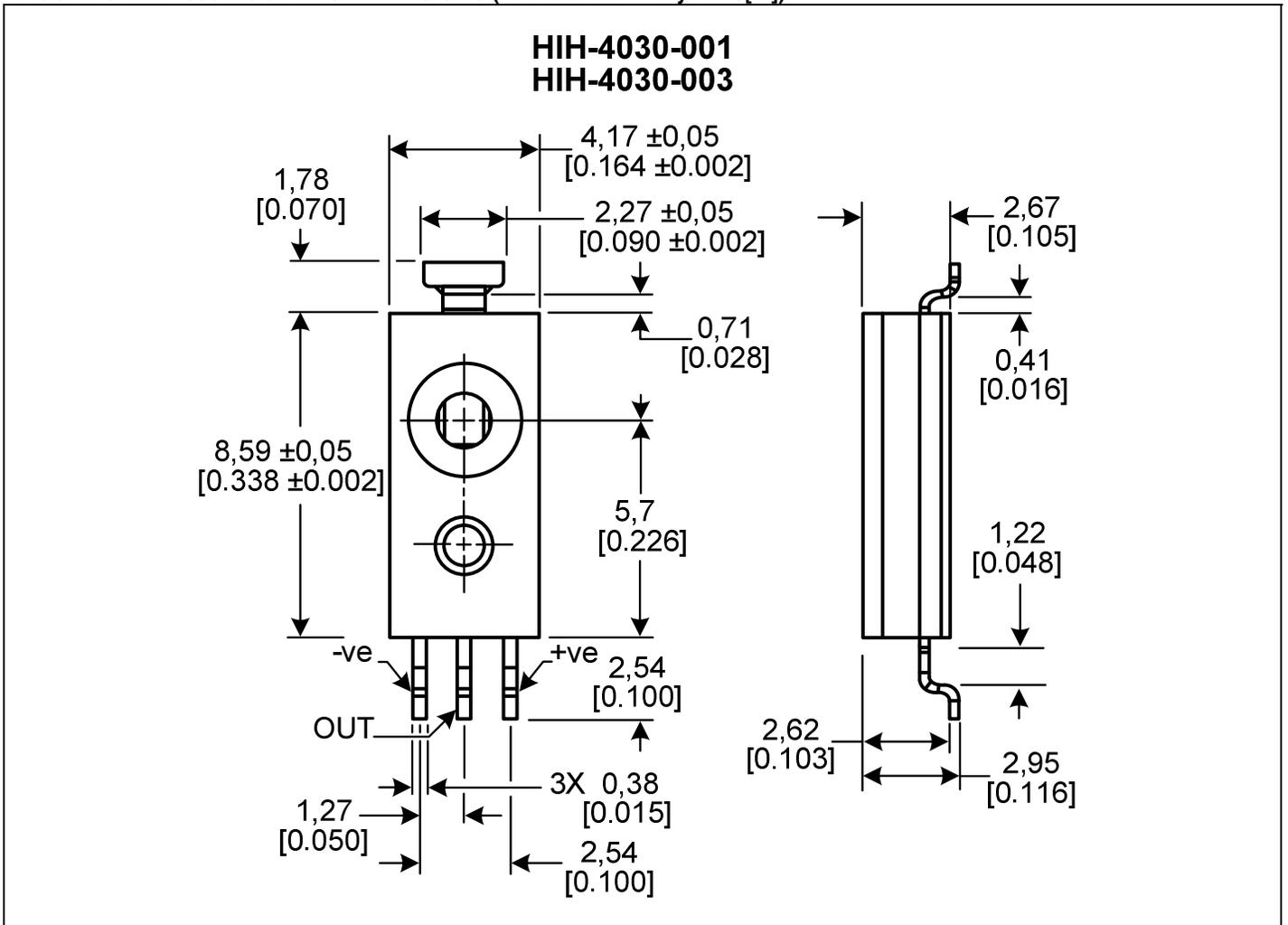


FIGURE 4. TYPICAL OUTPUT VOLTAGE (BFSL) VS RELATIVE HUMIDITY (At 0 °C, 70 °C and 5 V.)



Humidity Sensors

FIGURE 5. HIH-4030 MOUNTING DIMENSIONS (For reference only. mm/[in])



Humidity Sensors

FIGURE 8. TAPE AND REEL DIMENSIONS (For reference only. mm/[in])

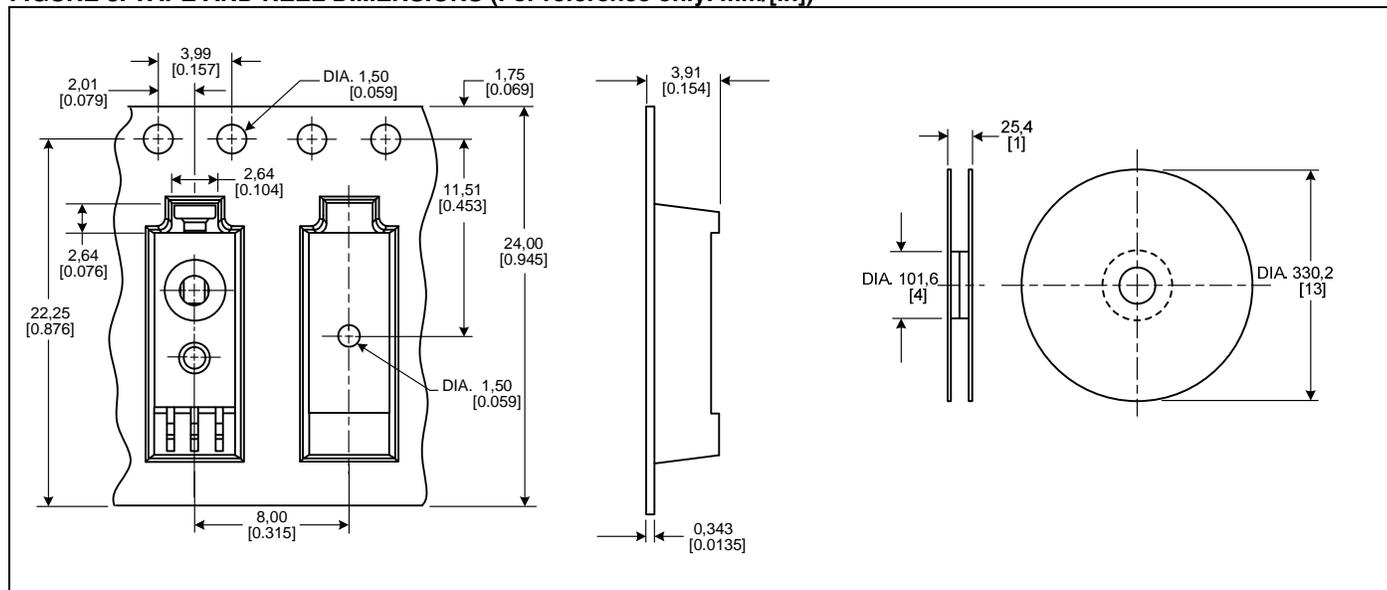
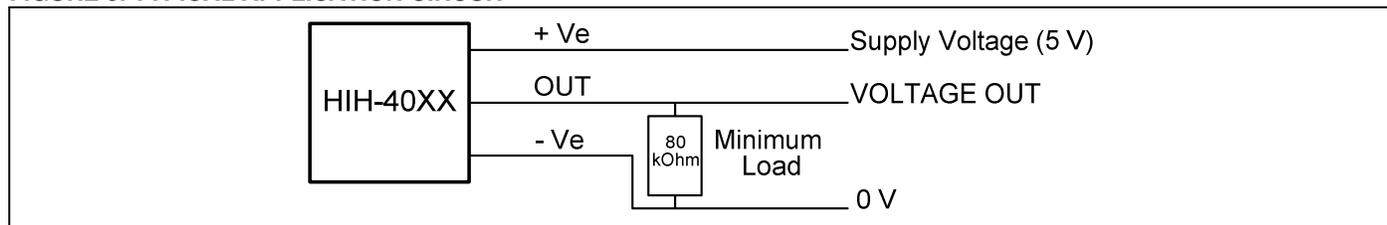


FIGURE 9. TYPICAL APPLICATION CIRCUIT



ORDER GUIDE

Catalog Listing	Description
HIH-4030-001	Covered integrated circuit humidity sensor, SMD, 1000 units on tape and reel
HIH-4030-003	Covered integrated circuit humidity sensor, SMD, calibration and data printout, 1000 units on tape and reel
HIH-4031-001	Covered, filtered integrated circuit humidity sensor, SMD, 1000 units on tape and reel
HIH-4031-003	Covered, filtered integrated circuit humidity sensor, SMD, calibration and data printout, 1000 units on tape and reel
HIH-4030-001S	Sample pack: covered integrated circuit humidity sensor, SMD, five units on tape
HIH-4030-003S	Sample pack: covered integrated circuit humidity sensor, SMD, calibration and data printout, five units on tape
HIH-4031-001S	Sample pack: covered, filtered integrated circuit humidity sensor, SMD, sample pack, five units on tape
HIH-4031-003S	Sample pack: covered, filtered integrated circuit humidity sensor, SMD, calibration and data printout, five units on tape

FURTHER HUMIDITY SENSOR INFORMATION

See the following associated literature is available on the [Web](#):

- Product installation instructions
- Application sheets:
 - Humidity Sensor Performance Characteristics
 - Humidity Sensor Theory and Behavior
 - Humidity Sensor Moisture and Psychrometrics
 - Thermoset Polymer-based Capacitive Sensors

WARNING

MISUSE OF DOCUMENTATION

- The information presented in this product sheet is for reference only. Do not use this document as a product installation guide.
- Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

WARRANTY/REMEDY

Honeywell warrants goods of its manufacture as being free of defective materials and faulty workmanship. Honeywell's standard product warranty applies unless agreed to otherwise by Honeywell in writing; please refer to your order acknowledgement or consult your local sales office for specific warranty details. If warranted goods are returned to Honeywell during the period of coverage, Honeywell will repair or replace, at its option, without charge those items it finds defective. **The foregoing is buyer's sole remedy and is in lieu of all other warranties, expressed or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. In no event shall Honeywell be liable for consequential, special, or indirect damages.**

While we provide application assistance personally, through our literature and the Honeywell web site, it is up to the customer to determine the suitability of the product in the application.

Specifications may change without notice. The information we supply is believed to be accurate and reliable as of this printing. However, we assume no responsibility for its use.

WARNING

PERSONAL INJURY

DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

SALES AND SERVICE

Honeywell serves its customers through a worldwide network of sales offices, representatives and distributors. For application assistance, current specifications, pricing or name of the nearest Authorized Distributor, contact your local sales office or:

E-mail: info.sc@honeywell.com

Internet: www.honeywell.com/sensing

Phone and Fax:

Asia Pacific	+65 6355-2828 +65 6445-3033 Fax
Europe	+44 (0) 1698 481481 +44 (0) 1698 481676 Fax
Latin America	+1-305-805-8188 +1-305-883-8257 Fax
USA/Canada	+1-800-537-6945 +1-815-235-6847 +1-815-235-6545 Fax

Sensing and Control
Honeywell
1985 Douglas Drive North
Minneapolis, MN 55422
www.honeywell.com/sensing

009021-4-EN IL50 GLO Printed in USA
March 2008
© 2008 Honeywell International Inc. All rights reserved.

Honeywell

ANEXO VII – PROTOCOLO DE ENSAIO EM INGLÊS

The test protocol aims to facilitate the use of the software correctly to carry out trials in FricTorq equipment. This protocol contains all the steps necessary to carry out a successful test, from Arduino settings, if necessary, until the end of testing and recording of data.

To do a test is only necessary to have the application on your computer and make sure the COM port of the Arduino device is set to COM2, used by default in the program in the device manager. This can be verified in the following directory:

Control Panel -> System and Security - > System.

Here just select the option Device Manager and Section COM port and LPT select the properties of the Arduino board (must be logged in to appear) and then select the COM2 port, as illustrated in the figure.

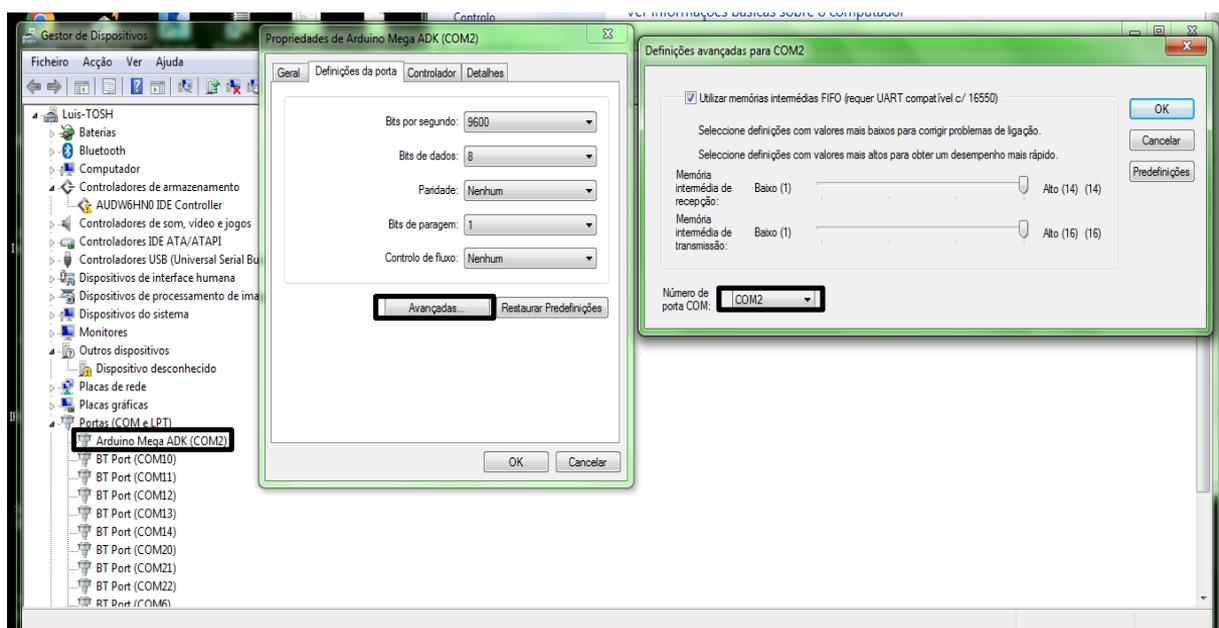


Figure 1 - Example of Arduino port configuration

On figure 1 is presented an example of how you can change the configuration for the COM port for the Arduino device.

Once defined this situation you just need to make the connection between the Arduino and the port to the control of the acquisition and motor via two cables. Connections are shown in the figure below.



Figure 2 – Connection between Arduino and the motor driver (red) and the signal conditioner (blue)

After this step, the Arduino is connected to the computer through a UBS port and turned on the equipment. To turn the machine simply activate the red button on the front of the box containing the signal conditioner and other electronic components.

Once connected equipment, the signal conditioner display shows the values read by the signal conditioner as shown in Figure 3.



Figure 3 – Equipment on

In case the values presented are different from zero, it is necessary to do the sensor calibration and this is done in the signal conditioner itself. Once the sensor is quite sensitive, this calibration is necessary so that the results are as reliable as possible .

This sensor calibration is performed in conditioner menu and simply follow the instructions below using the signal conditioner keys:



The instruction above lead to the menu of the "Zero Zdc". Once in this section is only necessary to press "Enter" and wait a bit. After waiting a few seconds should have something like the display shown in Figure 4.

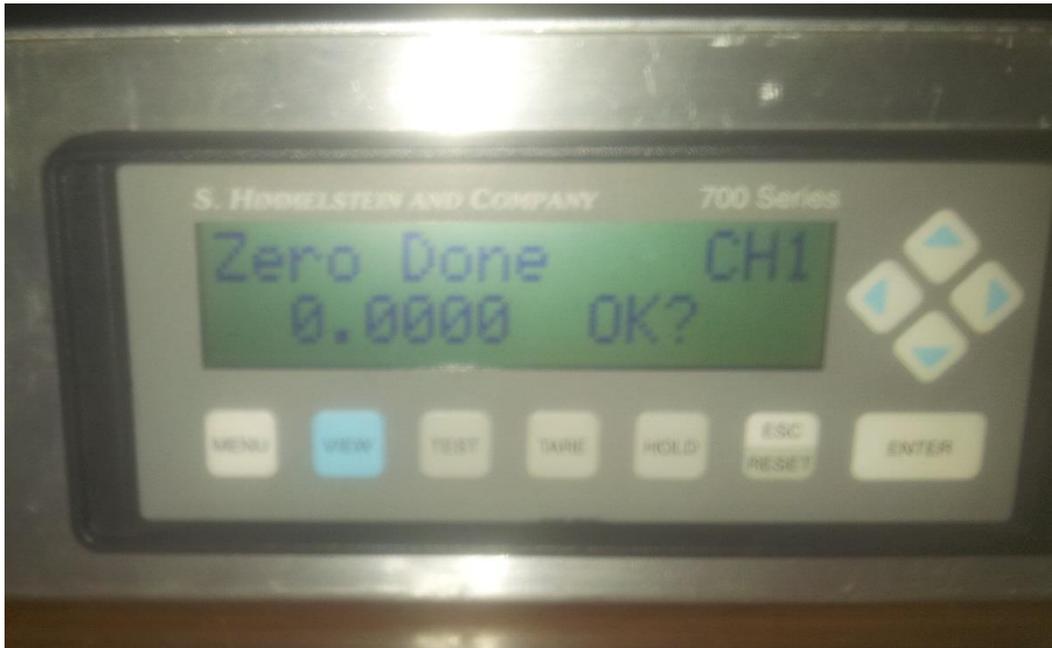


Figure 4 – Calibration display example

As the display present on the figure 4 you only need to click "Enter" and the calibration is completed and the display should display zero as the value read but due to sensor sensitivity a value as 0.0010 cNm is common and does not influence significantly the test results.

If it is not necessary to perform this sensor calibration step we can move directly to the preparation of the test itself since there are already done all links between conditioner, motor, Arduino and computer, is only necessary to place the test sample on the machine and start software and performing the assay.

The sample shall be placed in the rotating conical base and then put the snap ring on the sample (the sample must be stretched). Once placed the pressure ring, is necessary to put the centering ring together with the standard body. The standard body should be placed so that when lifting the torque sensor to remove the centering ring, it do not touch the standard body.

Once removed the centering ring, and torque sensor placed in position, you can perform the test. The figures below illustrate, by order, the procedure:



Figure 5 – Sample on the base

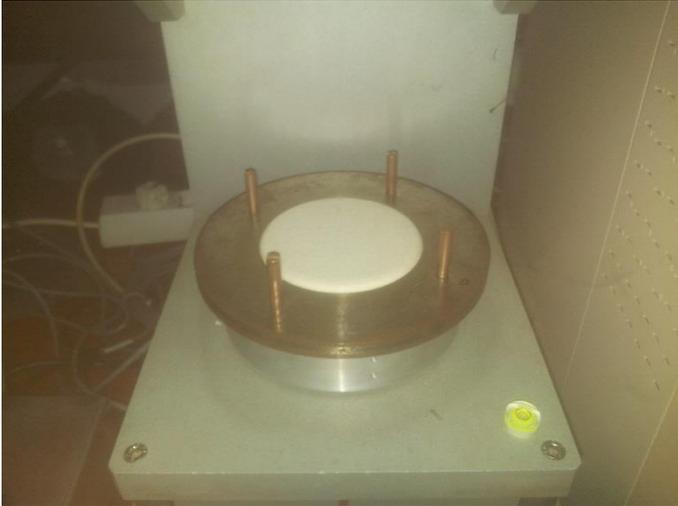


Figure 6 – Sample with pressure ring

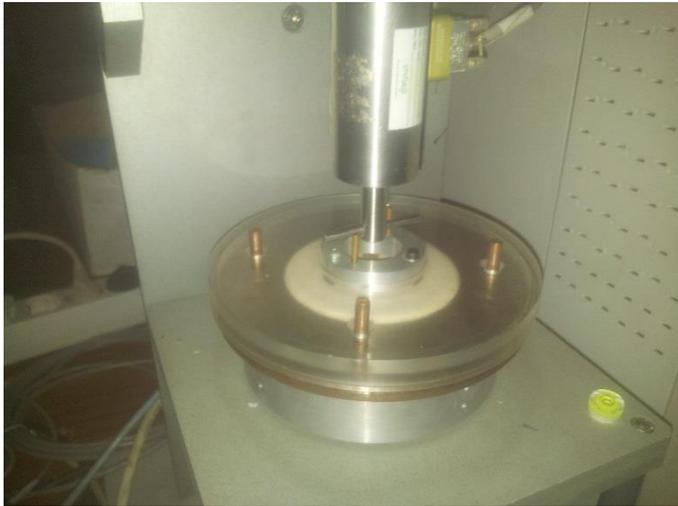


Figura.7 – Centering ring with standart body

After correctly placed the specimen for the test, shall be initialized the program and put all the properties necessary for the test and proceed with the validation of the same by pressing "Ok". Figures 8 and 9 contain, respectively, an example of successful validation of the properties and incorrect properties.

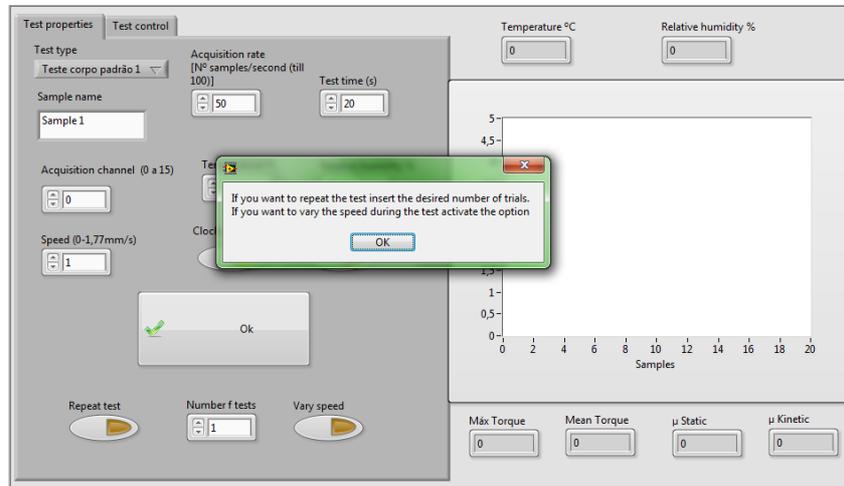


Figure 8 – Properties validated with success

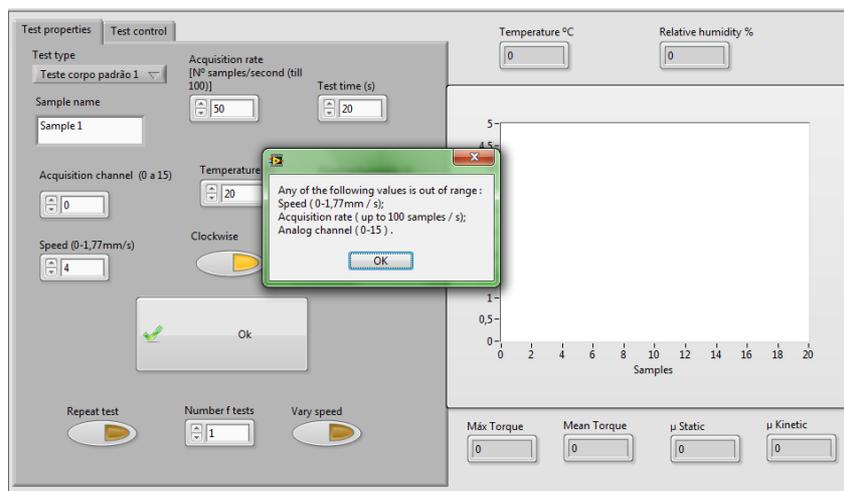


Figure 9 - Properties validated without success

If they are not successfully validated just realize that the properties are not correct and make the correction and re-validate. After validated the program allows, if you want to repeat the test or vary the speed during the test you can activate the feature through Boolean buttons. In the case of repeating the test you must place the desired number of trials.

After this, it is necessary switch to the "test control" tab and start the test using the "Start" button. In this tab you can also stop the test in an emergency using the "STOP" button.

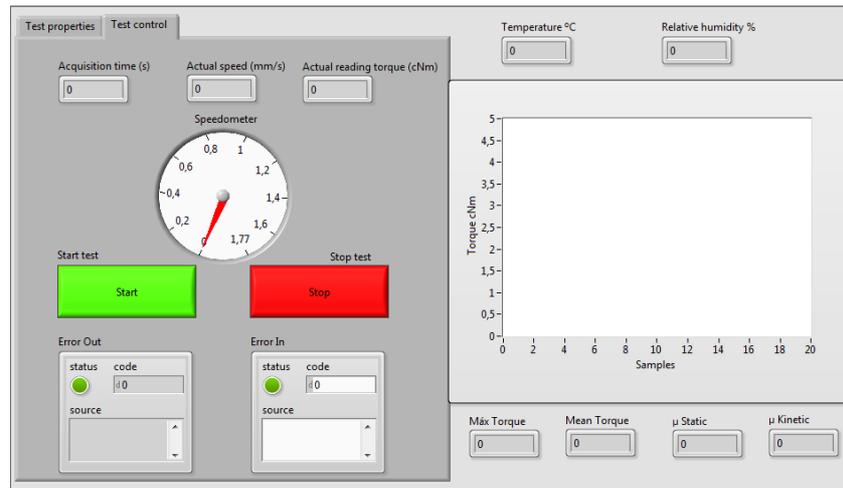


Figure 10 – Test control tab

In the end it can be selected to record the test data for further processing by the user and finally the program can be selected to perform further test or else terminate the program.

ANEXO VIII – RESULTADOS DOS ENSAIOS

		Amostra 1				Atual			
		Desenvolvido							
		Tmax	Tmed	μ max	μ med	Tmax	Tmed	μ max	μ med
1		0,2028	0,1658	0,1794	0,1468	0,2032	0,1747	0,1799	0,1547
2		0,2028	0,1653	0,1794	0,1464	0,2067	0,1743	0,183	0,1543
3		0,1953	0,1662	0,1728	0,147	0,1997	0,1755	0,1764	0,1554
4		0,1953	0,1666	0,1729	0,1475	0,2032	0,1741	0,1799	0,1542
5		0,2028	0,1621	0,1795	0,1435	0,2046	0,1733	0,1811	0,1535
6		0,2103	0,1869	0,1861	0,1656	0,2186	0,1932	0,1935	0,1711
7		0,2104	0,1821	0,1861	0,1611	0,2158	0,1889	0,1911	0,1673
8		0,2028	0,1818	0,1795	0,1609	0,2123	0,1871	0,188	0,1657
9		0,1953	0,1718	0,1728	0,152	0,206	0,1809	0,1824	0,1602
10		0,2025	0,1739	0,1795	0,1539	0,2053	0,1807	0,1818	0,16
média		0,20203	0,17225	0,1788	0,15247	0,20754	0,18027	0,18371	0,15964
desv. Pad.		0,0055	0,0086	0,0049	0,0076	0,0060	0,0072	0,0054	0,0064
max		0,2104	0,1869	0,1861	0,1656	0,2186	0,1932	0,1935	0,1711
min		0,1953	0,1621	0,1728	0,1435	0,1997	0,1733	0,1764	0,1535

		Amostra 2				Atual			
		Desenvolvido							
		Tmax	Tmed	μ max	μ med	Tmax	Tmed	μ max	μ med
1		0,2554	0,2147	0,226	0,19	0,2571	0,2186	0,2277	0,1936
2		0,2554	0,208	0,226	0,184	0,2543	0,2116	0,2252	0,1874
3		0,2404	0,2001	0,2127	0,1771	0,241	0,206	0,2134	0,1824
4		0,2253	0,1993	0,1994	0,1764	0,2277	0,2041	0,2016	0,1807
5		0,2554	0,1973	0,226	0,1746	0,2613	0,2026	0,2314	0,1794
6		0,2254	0,1925	0,1994	0,1704	0,2291	0,1992	0,2028	0,1764
7		0,2178	0,1896	0,1928	0,1678	0,2242	0,1967	0,1985	0,1742
8		0,2254	0,1897	0,1994	0,1679	0,2312	0,194	0,2047	0,1718
9		0,2329	0,1885	0,2061	0,1668	0,234	0,1935	0,2072	0,1713
10		0,2404	0,1812	0,2127	0,1692	0,2396	0,195	0,2122	0,1727
média		0,23738	0,19609	0,21005	0,17442	0,23995	0,20213	0,21247	0,17899
desv. Pad.		0,0143	0,0100	0,0126	0,0077	0,0133	0,0082	0,0118	0,0073
max		0,2554	0,2147	0,2260	0,1900	0,2613	0,2186	0,2314	0,1936
min		0,2178	0,1812	0,1928	0,1668	0,2242	0,1935	0,1985	0,1713

		Amostra 3				Atual			
		Desenvolvido							
		Tmax	Tmed	μ max	μ med	Tmax	Tmed	μ max	μ med
1		0,293	0,2583	0,2593	0,2286	0,2907	0,2586	0,2574	0,229
2		0,3079	0,2474	0,2726	0,2189	0,3033	0,2486	0,2686	0,2201
3		0,2855	0,2463	0,2526	0,2179	0,2795	0,2479	0,2475	0,2195
4		0,2929	0,2407	0,2593	0,213	0,29	0,2403	0,2568	0,2128
5		0,3079	0,2547	0,2756	0,2254	0,3054	0,2525	0,2705	0,2236
6		0,2629	0,2408	0,2327	0,2132	0,2641	0,2416	0,2339	0,2139
7		0,2779	0,2459	0,2459	0,2124	0,276	0,2386	0,2444	0,2113
8		0,2704	0,2315	0,2393	0,2049	0,2704	0,2339	0,2394	0,2071
9		0,2704	0,2348	0,2393	0,2078	0,2724	0,2398	0,2412	0,2123
10		0,2629	0,234	0,2326	0,2071	0,2676	0,234	0,231	0,2072
média		0,28317	0,24344	0,25092	0,21492	0,28194	0,24358	0,24907	0,21568
desv. Pad		0,0170	0,0088	0,0156	0,0078	0,0147	0,0081	0,0138	0,0072
max		0,3079	0,2583	0,2756	0,2286	0,3054	0,2586	0,2705	0,229
min		0,2629	0,2315	0,2326	0,2049	0,2641	0,2339	0,231	0,2071