



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados em software LabView para uma instalação piloto de gaseificação de biomassa**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

**Autor**

**João Ribas Aroso**

**Orientadores**

**Prof. Doutor José Carlos Miranda Góis**

**Eng.º Pedro Joshua Caels**

**Júri**

**Presidente Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar  
Professor da Universidade de Coimbra**

**Professor Doutor José Carlos Miranda Góis  
Professor da Universidade de Coimbra**

**Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes  
Professor da Universidade de Coimbra**

**Colaboração Institucional**

---



**Aberta Nova, Sociedade  
Agro-Florestal S.A.**

**Coimbra, Setembro, 2017**



## Agradecimentos

Expresso os meus mais sinceros agradecimentos,

ao Professor José Carlos Góis que propôs a colaboração com a Aberta Nova e orientou a dissertação, pela disponibilidade, empenho e incentivo demonstrado e ao Engenheiro Pedro Caels que propôs e colaborou na orientação deste trabalho, pela oportunidade proporcionada de colaborar neste projeto e disponibilidade demonstrada.

Ao Doutor Mário Mateus pela disponibilidade e empenho na colaboração da configuração do sistema de aquisição de dados e calibração do equipamento.

Ao Professor Caetano Maria e Engenheiro João Carrilho pela disponibilidade demonstrada e explicação do funcionamento dos materiais e *software*.

Aos meus pais pela motivação, apoio, paciência e investimento na minha formação académica e pessoal.

À minha namorada, irmã e restante família por toda ajuda, motivação e apoio ao longo deste percurso.

Por último, aos meus amigos, por toda a amizade, companheirismo e experiências vividas que recordarei para o resto da vida. Um especial abraço aos amigos da Casa Castelo.

## Resumo

Hoje em dia é possível monitorizar, de uma forma mais prática, diversas grandezas (físicas ou químicas), utilizando um sistema de aquisição de dados. A utilização destes equipamentos reflete-se numa melhoria a nível do registo de dados e repetibilidade dos processos. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados para um sistema piloto de gaseificação de biomassa florestal, desenvolvido pela Aberta Nova, Sociedade Agro-Florestal S.A. Foi realizado um resumo bibliográfico de sistema de aquisição de dados, apresentando as suas principais características e exemplos dos transdutores e princípios de funcionamento.

Este trabalho apresenta o material utilizado e as configurações necessárias, ao nível de *software*, para desenvolver um sistema de aquisição de dados. Foi feita uma abordagem aos programas utilizados, PACTware® e LabView®, apresentando a programação aplicada e alguns resultados de medições experimentais.

O PACTware®, foi utilizado para estabelecer a comunicação entre equipamento e PC e realizar a parametrização do sistema de aquisição de dados. O LabView®, para controlar a forma de operar deste sistema, através do qual é possível visualizar, manipular e armazenar os dados recolhidos.

Os transdutores foram calibrados em ambiente laboratorial. Foram realizados três ensaios experimentais com diferentes tipos de biomassa (pinho, eucalipto e mogno), medindo a temperatura e caudal de ar à entrada da zona de oxidação, a temperatura do gás libertado, e a pressão e temperatura no interior da zona de secagem.

Os resultados preliminares obtidos mostram que sistema de aquisição tem capacidade para responder às variações registadas nos diferentes parâmetros, deixando em aberto a possibilidade de incorporar a medição de mais variáveis e definir parâmetros de controlo e alerta.

**Palavras-chave:** Gaseificação, LabView, Instrumentação, Sistema de aquisição de dados, Sensores

## Abstract

Nowadays, it is possible to monitor, in a more practical way, various quantities (physical or chemical) using a data acquisition system. The use of these equipment increases the precision of the measurements, being reflected in an improvement in the control and repeatability of the processes. In this work a data acquisition system was developed and implemented in a pilot biomass gasification system developed by Aberta Nova, Sociedade Agro-Florestal SA. An overview of the data acquisition system was carried out, presenting its main characteristics and examples of the transducers and principles of operation.

This paper presents the material used and the necessary configurations in the software, to develop a data acquisition system. An approach was taken to the programs used, PACTware<sup>®</sup> and LabView<sup>®</sup>, presenting the programming applied and some results of experimental measurements.

PACTware<sup>®</sup> was used to establish the communication between equipment and PC and to do the parameterization of the data acquisition system. LabView<sup>®</sup>, to control system operation, whereby it's possible to monitor, manipulate and store the collected data.

The transducers were calibrated in laboratory environment. Three experiments were carried out with different types of biomass (pine, eucalyptus and mahogany), measuring the temperature and air flow at the entrance of the oxidation zone, the temperature of the gas released, and the pressure and temperature inside the drying zone.

The preliminary results obtained, reveal the acquisition system has the capacity to respond to the variations registered in the different parameters, it's possible to incorporate the measurement of more variables and to define control and alert parameters.

**Keywords** Gasification, LabView, Instrumentation, (DAQ) data acquisition system, Probes

---

# Índice

Índice de figuras .....	vi
Índice de tabelas .....	x
Siglas .....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e objetivos do trabalho .....	3
1.2. Organização da dissertação .....	4
2. Estado da arte sobre sistemas de aquisição de dados .....	6
2.1. Sensores e transdutores.....	8
2.1.1. Características dos transdutores .....	9
2.1.2. Exemplos de transdutores .....	11
2.2. Condicionadores de sinal.....	25
2.3. Hardware DAQ - módulos ou placas de aquisição.....	29
2.4. Computador .....	31
2.5. Software de aquisição de dados.....	31
3. Materiais.....	32
3.1. Instalação piloto de gaseificação .....	32
3.2. Equipamento do sistema de aquisição de dados .....	33
3.3. Software.....	38
3.3.1. PACTware® .....	38
3.3.2. LabView® .....	42
4. Criação de um projeto em Lab View .....	49
5. Calibração dos transdutores .....	62
6. Resultados experimentais e discussão .....	68
7. Conclusões .....	77
Referências bibliográficas .....	79
Apêndice A - Gaseificação.....	82
ANEXO A. Manual sonda PT100.....	88

---

ANEXO B. Manual transdutor de pressão .....	91
ANEXO C. Manual caudalímetro .....	95
ANEXO D. Manual gateway .....	102
ANEXO E. Manual dos módulos .....	105
ANEXO F. Manual fonte de alimentação.....	108

---

## Índice de figuras

Figura 2.1 - Componentes de um sistema de aquisição de dados [National Instruments®]..7	7
Figura 2.2 - Princípio de funcionamento de um sistema de aquisição de dados com controladores ..7	7
Figura 2.3 - Transdutor e sensor, adaptada: quimicosonador.wordpress.com ..8	8
Figura 2.4 – Precisão e exatidão ..10	10
Figura 2.5 - Circuito para medir o potencial de Seebeck compreendendo dois fios diferentes, A e B, duas junções e um voltímetro. ....11	11
Figura 2.6 - Compensação junção fria (Luís Timóteo, 2015 – Automação Industrial: sensores de temperatura) ..12	12
Figura 2.7 - Termopar Tipo J - (Luís Timóteo, 2015 – Automação Industrial: Sensores de Temperatura).....14	14
Figura 2.8 - Tipos de termo-resistências - (Luís Timóteo, 2015 – Automação Industrial: Sensores de Temperatura) ..14	14
Figura 2.9 - Gráfico ilustrativo da variação da resistência com a temperatura para alguns metais e para um semiconductor. (Anacleto, Alcinda 2007).....15	15
Figura 2.10 - Algumas termo-resistências - (Anacleto, 2007) ..15	15
Figura 2.11 - Interior de uma termo-resistência com película fina - (Luís Timóteo, 2015 – Automação Industrial: Sensores de Temperatura) ..16	16
Figura 2.12 - Interior de uma termo-resistência com arame- (Anacleto, Alcinda 2007) ..16	16
Figura 2.13 - Exemplo de termístores – (Catalogo Resitec) ..17	17
Figura 2.14 - Strain Gauge utilizada para medir deformação de um tubo metálico ..19	19
Figura 2.15 – Esquema de um Strain Gauge ..19	19
Figura 2.16 - Strain Gauge (National Instruments®).....20	20
Figura 2.17 - Sensor Piezoelétrico ..20	20
Figura 2.18 – Tubo de Venturi ..22	22
Figura 2.19 – Caudalímetro de massa térmico ..23	23
Figura 2.20 – “Heated sample tube” ..24	24
Figura 2.21 – “Inserted Probe”.....24	24
Figura 2.22 – Tipos de filtros ..26	26
Figura 2.23 - Circuito para medir o potencial de Seebeck compreendendo dois fios diferentes, A e B, duas junções e um voltímetro ..27	27

---

Figura 3.1 - Esquema de princípio da montagem experimental de gaseificação e produção de energia elétrica. ....	32
Figura 3.2 – Zonas do gaseificadores onde foram inseridos os respectivos sensores. ....	33
Figura 3.3 – Sonda Pt100 “TP-203A-CF-H1141-L100” utilizadas para a medição da temperatura .....	34
Figura 3.4 – Transdutor de pressão piezoelétrico “PS001V-504-LI2UPN8X-H1141” e mostrador digital.....	34
Figura 3.5 – Caudalímetro de massa térmico “MCF0150ARND010000” .....	35
Figura 3.6 – Gateway - “Multiprotocol interface for Ethernet BL20-E-GW-EN” .....	36
Figura 3.7 – Módulo - “BL20 Economy Module 8 2-wire analog inputs U/I resp. 4 2/3-wire PT/Ni inputs BL20-E-8AI-U/I-4PT/Ni” .....	36
Figura 3.8 – Fonte de alimentação “IM82-24-5,0”.....	37
Figura 3.9 - Print screen: configuração IP “Gateway” - 1º passo .....	38
Figura 3.10 - Print screen: configuração IP “Gateway” - 1º passo (continuação).....	39
Figura 3.11 - Print screen "PACTware" - 2º passo .....	39
Figura 3.12 - Print screen "PACTware" - 3º passo .....	40
Figura 3.13 - Print screen "PACTware": parametrização - 4º passo .....	41
Figura 3.14 - Print screen "PACTware": valores medidos - 5º passo.....	42
Figura 3.15 – Painel Frontal: “Controls” .....	43
Figura 3.16 - Diagrama de blocos: “Functions” .....	44
Figura 3.17 - Cores dos cabos e sinal correspondente .....	44
Figura 3.18 – Exemplo conversor: painel frontal e diagrama de blocos, respetivamente ...	45
Figura 3.19 – Controlador para introduzir valor de temperatura (°C) a converter .....	46
Figura 3.20 – Painel frontal: representação dos termómetros em Celsius (°C), Kelvin (K) e Fahrenheit (°F).....	46
Figura 3.21 – Diagrama de Blocos: esquema conversor .....	47
Figura 3.22 - “Merge Signals Function” e gráfico, respetivamente .....	48
Figura 3.23 – “STOP button” - estrutura “while Loop” .....	48
Figura 4.1 – Comunicação estabelecida no software LabView®.....	50
Figura 4.2 – Processo de conversão da temperatura no software LabView® .....	51
Figura 4.3 - Relação entre (bar) e valor decimal. ....	51
Figura 4.4– Relação (bar vs. mA) – valores negativos .....	52
Figura 4.5 - Relação (bar vs. mA) – valores positivos .....	53

---

---

Figura 4.6 - Conversão dos valores de pressão (bar) utilizando “Case structure” (true or false) .....	53
Figura 4.7 – Relação entre (L/min) e sinal em corrente (mA) .....	54
Figura 4.8 – Conversão dos valores medidos pelo caudalímetro para (L/min).....	55
Figura 4.9 - Ferramentas utilizadas para representação dos sinais de pressão e temperatura, respetivamente. ....	55
Figura 4.10 – Indicadores de pressão e temperatura, respetivamente. (painel frontal) .....	56
Figura 4.11 - Ferramentas utilizadas para recolha e tratamento estatístico dos dados.....	56
Figura 4.12 – Painel frontal: inputs para definir o número de ciclos e intervalo de tempo. Cálculo automático do tempo de funcionamento. ....	57
Figura 4.13 – Diagrama de Blocos: número de ciclos e time delay.....	58
Figura 4.14 – Diagrama de blocos: processo para gravar ficheiro em Excel®.....	59
Figura 4.15 – Painel frontal: Filename – caixa de texto para seleccionar o local a armazenar e nome do ficheiro .....	59
Figura 4.16 – Apresentação do ficheiro em Excel criado em LabView® .....	60
Figura 4.17 – Projeto criado em LabView® – painel frontal.....	61
Figura 4.18 – Projeto criado em LabView® – diagrama de blocos .....	61
Figura 5.1 - Calibrador de pressão (Druck – DPI 603) .....	62
Figura 5.2 – Banho térmico .....	63
Figura 5.3 – comparação entre sensor de pressão Turck® e padrão .....	65
Figura 5.4 - Comparação entre sensor de pressão Turck® e padrão.....	66
Figura 5.5 - Comparação entre sondas Pt100 e termómetro de alcoól.....	67
Figura 6.1 – Representação da granulometria média da biomassa .....	68
Figura 6.2 – Gaseificador – gases de escape .....	68
Figura 6.3 – Gaseificador – produção de chama .....	69
Figura 6.4 – Legenda dos gráficos “pinho”, “Eucalipto” e “Mogno” .....	70
Figura 6.5 – Dados adquiridos utilizando pinho .....	70
Figura 6.6 - Dados adquiridos utilizando eucalipto .....	71
Figura 6.7 - Dados adquiridos utilizando eucalipto .....	72
Figura 6.8 - Temperatura do ar: entrada zona de oxidação [°C] .....	73
Figura 6.9 - Temperatura do gás: saída do gaseificador [°C] .....	74
Figura 6.10 - Temperatura: zona de secagem [°C] .....	74

---

---

Figura 6.11 – Comparação das médias das temperaturas registadas .....	75
Figura 6.12 - Pressão: zona de secagem (valor médio) .....	75
Figura 6.13 – Variação de caudal de ar (L/min) .....	76
Figura a) 1 – tipos de gaseificadores .....	84
Figura a) 2 - Tipos de gaseificadores de leito fluidizado.....	85
Figura a) 3 - esquema do processo de secagem.....	86
Figura a) 4 - esquema do processo de pirólise (Barrio, 2002, apud Pedrosa 2012) .....	86
Figura a) 5 - esquema do processo de combustão (Barrio, 2002, apud Pedrosa 2012) .....	87
Figura a) 6 - esquema do processo de gaseificação (Barrio, 2002 apud Pedrosa 2012).....	87

---

## Índice de tabelas

tabela 2.1 - Sensores e fenómeno medido - adaptada: National Instruments®.....	9
Tabela 2.2 - Especificações para os diferentes tipos de termopares – adaptada: Catálogo Resitec .....	13
Tabela 2.3 - Gama de medida de temperatura para diferentes termo-resistências .....	16
Tabela 2.4 - Relação entre temperatura e resistência (Adaptada: NXP®).....	18
Tabela 2.5 - Tipos de caudalímetro (Catálogo Omega) .....	21
Tabela 2.6 - Sensores e condicionamento de sinal.....	28
Tabela 3.1 – Gama de valores a medir .....	33
Tabela 4.1 - Conversão de um valor decimal para (°C) - Pág. 6.67 – BL20 IO manual .....	50
Tabela 4.2 - Conversão de um valor decimal para (mA) - Pág. 6.56 – BL20 IO manual....	52
Tabela 5.1 – Valores de pressão padrão e LabView® (bar) .....	64
Tabela 5.2 – Cálculo para equação da reta .....	64
Tabela 5.3 - Valores de pressão padrão e LabView® (bar) .....	65
Tabela 5.4- Cálculo para equação da reta .....	65
Tabela 5.5 - Valores padrão e LabView (temperatura °C).....	66
Tabela 5.6 - Cálculo para equação da reta .....	66
Tabela 6.1 – Média das diferentes variáveis utilizando pinho .....	70
Tabela 6.2- Média das diferentes variáveis utilizando eucalipto .....	71
tabela 6.3 - Média das diferentes variáveis utilizando mogno .....	72

## Siglas

DAQ – *Data acquisition*

RTD – *Resistance Temperature Detector or resistance thermometer*

VI – *Virtual Instrument*

PC – *Personal Computer*



# 1. Introdução

A tecnologia<sup>1</sup> está presente no nosso dia-a-dia com enorme influência, de diversas formas no desenvolvimento da sociedade. A tecnologia leva-nos ao desenvolvimento e evolução de vários setores de atividades, como por exemplo, o sector das tecnologias de informação e comunicação, conseguindo-se hoje, transmitir ficheiros via texto, áudio ou vídeo a uma velocidade surpreendente e com um enorme alcance. Este crescimento está a alterar profundamente a estrutura da nossa sociedade, tal como pode ser demonstrado através das grandes revoluções industriais com impacte a nível global.

Segundo Castells (2004), existiram três “revoluções” industriais, no sentido de que um grande aumento repentino e inesperado de aplicações tecnológicas que transformou os processos de produção e distribuição, criou uma enorme diversidade de novos produtos e mudou de maneira decisiva a localização das riquezas e do poder no mundo.

A primeira revolução industrial ocorreu em Inglaterra, entre 1780-1830, migrando seguidamente para países do continente europeu e Estados Unidos da América. A principal característica desta transição foi o aparecimento de equipamentos mecânicos utilizados para a produção, substituindo o método artesanal.

A segunda revolução industrial começou por volta de 1870, envolvendo várias indústrias como a elétrica, química, metalúrgica e petrolífera. Esta revolução foi um aprimoramento e aperfeiçoamento das tecnologias desenvolvidas na primeira, destacando-se pelo desenvolvimento da eletricidade, do motor de combustão interna, de produtos químicos com base científica, da eficiente fundição de aço e pelo início das tecnologias de comunicação, com a difusão do telégrafo e a invenção do telefone. A eletricidade e o petróleo são as principais formas de energia. É também caracterizada pela divisão de trabalhos (separação entre conceção e execução) e pela produção em massa, apresentando linhas de montagem e introduzindo desta forma na indústria a produção padronizada.

A terceira revolução industrial, com início por volta de 1970, teve por base a alta tecnologia através da crescente utilização de recursos informáticos nos processos de produção industrial, utilizando robots e produção automatizada. As tecnologias características são as tecnologias de comunicação, microeletrónica, informática e biotecnologia. Houve também um avanço e consciencialização em relação ao ambiente, nomeadamente no que diz respeito às fontes de energia utilizadas, sendo preferencial o recurso a fontes de energia renováveis e também a utilização de processos produtivos de baixo impacte ambiental.

Segundo Schwab (2015), a quarta revolução industrial dá continuidade à revolução digital ocorrida anteriormente e caracteriza-se por uma fusão de tecnologias entre as esferas físicas, digitais e biológicas.

---

<sup>1</sup> De acordo com o Dicionário da Língua Portuguesa da Porto Editora, a tecnologia é o conjunto dos instrumentos, métodos e processos específicos de qualquer arte ou técnica, levando desta forma a um maior aproveitamento prático do conhecimento científico.

*“The possibilities of billions of people connected by mobile devices, with unprecedented processing power, storage capacity, and access to knowledge, are unlimited. And these possibilities will be multiplied by emerging technology breakthroughs in fields such as artificial intelligence, robotics, the Internet of Things, autonomous vehicles, 3-D printing, nanotechnology, biotechnology, materials science, energy storage, and quantum computing.” - Klaus Schwab, 2015 “The Fourth Industrial Revolution”*

O crescente avanço é evidente, o que nos obriga a uma constante adaptação e procura de conhecimentos científicos para sustentar e guiar o desenvolvimento tecnológico, originando desta forma, novas técnicas e áreas de estudo como é o caso da Instrumentação, ciência que se dedica ao estudo dos processos industriais e sistemas de automação. É a área que estuda, desenvolve e aplica instrumentos de medição e controle de uma série de variáveis físicas e químicas. Um engenheiro de instrumentação é responsável por projetar e especificar os instrumentos a serem utilizados.

Anteriormente o controle de processos era realizado por um operador que tinha como função monitorar os indicadores e elementos de controle como válvulas e ajustar a sua abertura de modo a obter a variável desejada, como temperatura ou pressão, dentro da gama previamente estabelecida. Este tipo de trabalho sofreu alterações devido ao aparecimento de instrumentos pneumáticos, através dos quais foi possível realizar a monitorização e controle de forma automatizada, permitindo desta forma libertar o operador da função de regularizar a abertura das válvulas. Inicialmente, os controladores eram instalados próximos dos elementos de medição e válvula de controle. Com o passar dos anos começaram a ser reunidos numa sala que centralizava os elementos de controle. Eram recebidos os sinais medidos, processados e posteriormente, era enviado de volta um sinal com capacidade de reajustar a abertura de uma válvula.

Por volta de 1970, com o avanço da eletrónica, foi possível a construção de instrumentos eletrónicos substituindo assim os pneumáticos. Com a utilização destes equipamentos foi possível aumentar a precisão das medições refletindo-se numa melhoria a nível no controle e repetibilidade dos processos.

Mais tarde através do avanço na área da computação, a Instrumentação sofreu também uma grande evolução com a utilização de computadores com processadores poderosos permitindo aumentar a complexidade dos processos industriais. Com o aparecimento de ferramentas baseadas no Windows verificou-se um grande desenvolvimento na interface gráfica. A simplicidade da operação juntou-se à crescente capacidade de processamento, estabelecendo a união entre computadores e instrumentação. A monitorização é realizada de uma forma mais prática e precisa através de inúmeros softwares de programação utilizados para este fim como LabView ou Visual Basic.

Hoje em dia é possível controlar diversas grandezas físicas ou químicas, tais como, a temperatura, pressão, pH e densidade, utilizando transdutores indicados para cada situação e digitalizar toda a informação recolhida durante as medições para posterior análise. Através

da combinação destes instrumentos, *software* e computador é possível interligar o mundo físico ao digital, criando um sistema de aquisição de dados. Tornou-se habitual os instrumentos serem ligados a computadores, permitindo medidas diversas e manipulações complexas, e ainda grande capacidade de armazenamento.

A nível de investigação, os dados armazenados das medições intensivas podem, desta forma ser estudados permitindo encontrar padrões nas medições e detetar erros sistemáticos que podem ser usados para possíveis melhorias a aplicar a determinado processo.

## 1.1. Enquadramento e objetivos do trabalho

A Aberta Nova – Sociedade Agro-Florestal S.A., localizada na freguesia de Melides, concelho de Grândola, tem por objetivo estratégico instalar e desenvolver, na Herdade da Aberta Nova, um conjunto de infraestruturas para a produção, transformação e valorização das matérias-primas de forma a promover o desenvolvimento e a sustentabilidade local. Este projeto-piloto visa constituir na Herdade da Aberta Nova um *cluster* de investigação e ensino na área das tecnologias sustentáveis funcionando como um pólo tecnológico e de incubação de projetos. A Herdade deverá ser, em si mesma, um modelo de eficiência ambiental e sustentabilidade, assegurando alojamento e autossustento aos seus trabalhadores permanentes, investigadores e estudantes.

A Aberta Nova – Sociedade Agro-Florestal S. A. pretende construir na Herdade uma central de biomassa de 150 kW e tirar partido dos resíduos da atividade florestal, como a ramagem ou a madeira afetada pelo nematode do pinheiro - tendo sido este o principal critério de escolha deste tipo de central. As cinzas produzidas pelo processo são aproveitadas para a preparação de substratos para viveiro e agricultura.

A central de biomassa será inserida num conjunto “industrial”, designado de “zona de processamento florestal”. Esse pavilhão com 500 m<sup>2</sup> de área de construção é responsável pela receção de toda a matéria florestal. Neste espaço dá entrada toda a madeira na sua forma bruta e a estilha proveniente da produção direta no terreno. Dependendo da sua humidade, a estilha é diretamente armazenada em local seco ou passa pelo sistema de secagem. De seguida é armazenada, estando diretamente disponível para a alimentação do gaseificador, através de um mecanismo de tapete rolante. A central de gaseificação será construída de forma progressiva, em que a sua potência poderá ser duplicada ou triplicada através do acréscimo de módulos. Cada módulo será composto por um grupo motor-gerador com uma produção de aproximadamente 50 kVA.

O processo de gaseificação dispõe de três fontes de reaproveitamento de energia térmica:

- arrefecimento do gás de síntese antes de entrar no motor;
- arrefecimento do motor de combustão;
- arrefecimento dos gases de escape do motor.

A energia térmica produzida será acumulada sob a forma de água quente em depósitos próprios para o efeito. O armazenamento da energia será efetuado a 90 °C e a 55 °C, uma quantidade muito reduzida será armazenada a 120 °C. De acordo com as necessidades e a capacidade de produção, está projetado a produção de 50 L de água quente por cada kW térmico disponível.

Os principais consumidores de energia térmica serão:

- aquecimento de habitações e escritórios;
- produção de água quente sanitária;
- secagem de biomassa.

O excedente será dissipado nos viveiros e lagos existentes. É no âmbito da construção de um cluster de investigação e ensino na área das tecnologias sustentáveis e de incubação de projetos, que surgiu a primeira proposta de trabalho de investigação académica, cujo objetivo foi o resumo bibliográfico dos sistemas de gaseificação e da sua evolução histórica e a caracterização físico-química e decomposição térmica da biomassa florestal da herdade com maior potencial para a gaseificação (Pedrosa, 2013).

Os objetivos para este trabalho são:

- desenvolvimento de um sistema de monitorização digital;
- seleção do material a utilizar;
- implementação de um programa de leitura e registo;
- calibração dos transdutores em ambiente laboratorial;
- ligação do sistema ao gaseificador;
- análise de alguns resultados das medições efetuadas.

## **1.2. Organização da dissertação**

A dissertação está organizada em 7 capítulos.

No capítulo 1 é feito o enquadramento do projeto e são apresentados os objetivos.

No capítulo 2 é apresentado um resumo bibliográfico dos sistemas de aquisição de dados. Este capítulo é subdividido em cinco partes referentes aos principais componentes deste sistema.

No capítulo 3 é apresentado o material necessário para a realização deste projeto. É descrito o sistema de gaseificação piloto, *software e hardware* utilizado na montagem do sistema de aquisição de dados.

No capítulo 4 é apresentada a forma como foi programado todo este sistema utilizando o *software* LabView®.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos em laboratório, utilizados para a calibração de todo o sistema e respectivas correções aplicadas.

No capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados experimentais das medições efetuadas diretamente no gaseificador piloto.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões e definidas algumas propostas de trabalho no âmbito deste projeto.

No final do documento estão as referências bibliográficas. Em apêndice é apresentado com maior detalhe o processo de gaseificação e tipos de gaseificadores.

Em anexo são apresentados os manuais do hardware utilizado para desenvolver este sistema.

## 2. Estado da arte sobre sistemas de aquisição de dados

A aquisição de dados está presente em quase todas as atividades no nosso dia-a-dia, pelos mais diversos tipos de sistemas que recolhem informações e auxiliam o processo de tomada de decisão.

O corpo humano é dotado de um sistema complexo de aquisição de dados, onde existe uma interligação feita pelo sistema nervoso entre os “sensores” que são os sentidos e o “computador ou processador” que é o nosso cérebro. Este mecanismo pode ocorrer de várias formas no nosso corpo, como por exemplo, através da visão, é utilizado como sensor a retina que contém células fotorreceptoras detetando a energia luminosa e transformando a informação recebida em impulsos eletroquímicos que são encaminhados pelo sistema nervoso até ao cérebro onde é decodificada e processada a informação. Com base nessas informações, nós decidimos o que fazer para tornar a nossa vida mais conveniente.

Temos outros tipos de sistemas de aquisição de dados como, exames e diagnósticos médicos ou medição de consumo de água e luz nas nossas habitações, exemplos que caracterizam a importância dos sistemas de aquisição de dados. Muitos engenheiros e profissionais de diferentes áreas têm projetado e utilizado sistemas de aquisição de dados nas suas pesquisas de laboratório e na automação industrial.

Neste capítulo é feita uma compilação dos elementos que caracterizam um sistema de aquisição de dados, apresentando o princípio de funcionamento e características mais importantes a ter em conta para a montagem de um sistema deste género.

### **Definição de sistema de aquisição de dados**

Um sistema de aquisição de dados consiste num processo onde um fenómeno físico medido é transformado num sinal elétrico proporcional e convertido em formato digital, para obtenção da informação desejada.

Ao contrário dos sistemas tradicionais de medição, os sistemas de aquisição de dados baseados em PC apresentam a capacidade de processamento, produtividade, sistemas de visualização e armazenamento dos dados para futura análise, sendo desta forma uma solução de medição mais poderosa e flexível. A figura 2.1 apresenta os componentes utilizados num sistema de aquisição de dados



Figura 2.1 - Componentes de um sistema de aquisição de dados [National Instruments®]

Através da utilização deste sistema é possível medir diversas grandezas tais como a temperatura, pressão, caudal, força ou deslocamento. Todas estas grandezas possuem energia. Para a sua medição é necessária a utilização de dispositivos capazes de receber esta energia e convertê-la para que seja manipulável nos circuitos eletrónicos.

Os dispositivos utilizados são os sensores e transdutores que recebem as quantidades físicas de grandezas analógicas e as convertem em sinais elétricos como tensão, corrente ou impedância.

Um sistema de aquisição de dados pode ser mais complexo e realizar mais funções do que apenas o registo e armazenamento de dados figura 2.2, como ações de controlo sobre os sistemas em causa. O controlo é realizado através de sinais digitais enviados pelo computador e posteriormente convertidos em sinais analógicos para atuar em diversos equipamentos de controlo como atuadores, relés e válvulas.

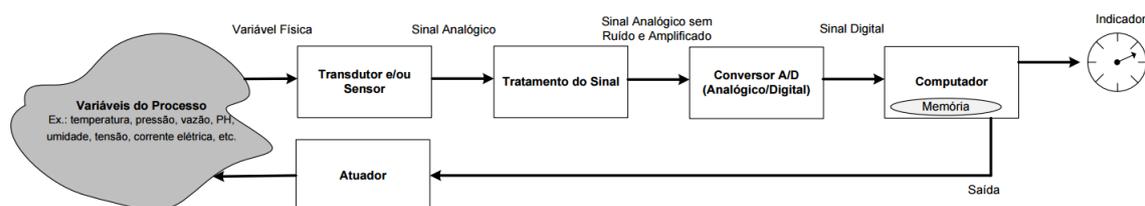


Figura 2.2 - Princípio de funcionamento de um sistema de aquisição de dados com controladores

Para que um sistema de aquisição de dados seja implementado é necessária a utilização de um Computador, onde será instalado um *software* interativo de controle em linguagem de programação como C®, LabView®, Matlab®, Experix® ou Visual Basic®.

## Componentes de um sistema de aquisição de dados

Por norma, um sistema de aquisição de dados é composto por vários elementos. Para obter resultados adequados, um sistema de aquisição de dados depende dos seguintes elementos:

- sensor/transdutor;
- condicionadores de sinal;
- *hardware* de aquisição de dados (módulos e placas de aquisição);
- computador;
- programa de aquisição (*software*).

### 2.1. Sensores e transdutores

Estes dispositivos são a base de um sistema de aquisição de dados, pois é a partir destes que se inicia a medição de um fenómeno físico, como por exemplo a temperatura ambiente de uma sala. Dependendo das suas características, um transdutor converte um sinal físico do mundo real num sinal eléctrico mensurável que poderá ser de tensão ou corrente, apropriado para os condicionadores de sinais e equipamentos de aquisição de dados.

Um transdutor é composto por vários elementos. Um deles é o sensor (elemento sensitivo) que deteta uma variável física de interesse e o transdutor por sua vez converte o sinal (figura 2.3).

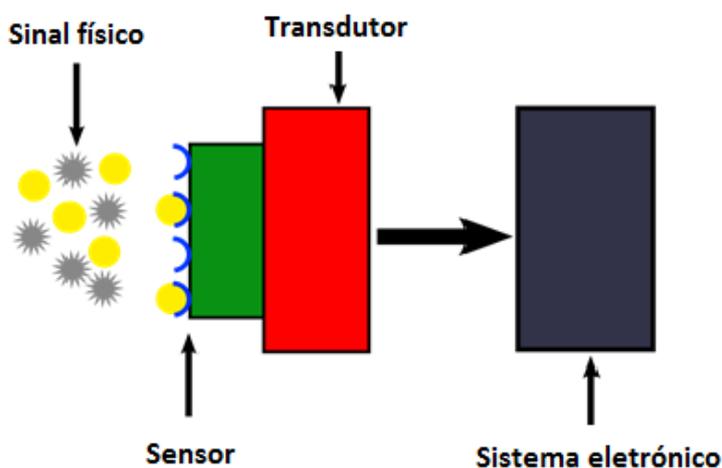


Figura 2.3 - Transdutor e sensor, adaptada: quimicosonador.wordpress.com

Os transdutores são passivos se necessitarem de ser alimentados por uma fonte externa para gerar um sinal de saída, ou podem ser ativos quando têm capacidade de gerar um sinal de saída sem necessidade de uma fonte de alimentação.

São também classificados de acordo com a grandeza física que medem. A tabela 2.1 adaptada do site da National Instruments®, apresenta alguns dos sensores mais comuns existentes no mercado e o correspondente fenómeno medido por cada um deles.

tabela 2.1 - Sensores e fenómeno medido - adaptada: National Instruments®

Transdutor	Fenómeno
Termopar, RTD, termistor	Temperatura
Fotossensor	Luz
Microfone	Som
Strain gage, transdutor piezoelétrico	Força e Pressão
Potenciómetro, LVDT, encoder ótico	Posição e deslocamento
Acelerómetro	Aceleração
Eléctrodo de pH	pH

Todos estes tipos de sensores têm a mesma base de funcionamento, ou seja, de acordo com uma relação previamente definida é produzido um sinal eléctrico proporcional ao fenómeno físico que se pretende medir e que posteriormente será convertido para a unidade desejada. Por exemplo, conversão de um sinal eléctrico em mV para graus Celcius (°C) no caso de um termopar.

Para além da selecção do tipo de transdutor em função da grandeza física a medir e custos envolvidos, é necessário conhecer as suas características para determinar se será viável para determinadas aplicações.

### 2.1.1. Características dos transdutores

As características mais importantes são:

- exatidão;
- precisão;
- sensibilidade;
- velocidade de resposta;
- alcance.

#### Exatidão

A exatidão representa o erro máximo que podemos esperar de uma medição feita em qualquer ponto dentro da gama de operação do transdutor, ou seja, indica o quanto uma medição se aproxima do valor real. Uma medida é mais exata, quanto mais próximo o valor medido se encontrar do valor real.

## Precisão

A precisão representa o grau de reprodutibilidade das medidas efetuadas. Se duas ou mais medições são feitas a uma variável do processo num estado idêntico, a repetibilidade de um transdutor indica quão perto as medições repetidas estão uma da outra. A capacidade para produzir resultados quase iguais à mesma entrada física ao longo do seu período de vida útil é uma indicação da sua confiabilidade e está geralmente relacionada com o seu custo.

Para uma melhor compreensão das diferenças entre os termos exatidão e precisão é utilizado um exemplo representado na figura 2.4.

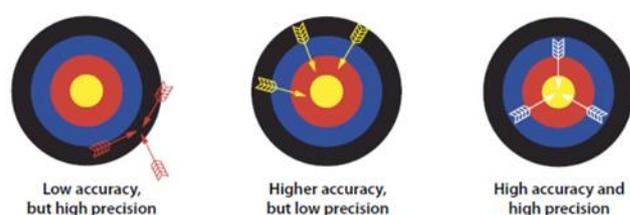


Figura 2.4 – Precisão e exatidão

## Sensibilidade

A sensibilidade é definida como a variação no sinal de saída de um sensor em função de uma variação específica na variável de entrada a ser medida. O sensor ao ser estimulado com um sinal em qualquer grandeza física dá uma resposta, a variação no sinal elétrico de saída corresponde à sensibilidade do sensor. Por exemplo, um termómetro tradicional, quando estimulado pela temperatura, a coluna de mercúrio sobe ou desce, essa variação, pelo estímulo provocado, determina a sensibilidade que, neste caso, poderia ser 1 cm a cada °C, assim sendo, a sua sensibilidade seria de 1 cm/°C. Por exemplo, no caso de um termopar, a sensibilidade é representada por 5 mV/°C.

A sensibilidade pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$S = \frac{\Delta \text{saída}}{\Delta \text{entrada}}$$

## Alcance

Representa o intervalo de valores dentro da qual o sensor foi projetado para trabalhar, sendo definido por um valor máximo e um mínimo. Apesar de alguns sensores poderem funcionar bem, fora da gama de valores descrita, a sensibilidade fora desse intervalo poderá não ser a mesma, levando assim a medições com menor precisão e exatidão do que as indicadas pelo fabricante do aparelho, uma vez que existem muitas variáveis que afetam estes parâmetros nas medições.

## Velocidade de resposta

Os sistemas de medida não alteram instantaneamente o valor da grandeza medida sempre que se verifica uma variação da mesma. Essa mudança levará algum tempo, denominado tempo de resposta. Trata-se então, da velocidade com que a medida fornecida pelo sensor alcança o valor real do processo. O ideal é que o sensor utilizado tenha uma resposta instantânea, pois uma resposta lenta pode prejudicar muito a eficiência do sistema de controle e até impedir que o sistema funcione da forma que pretendemos (Thomazini, 2005).

### 2.1.2. Exemplos de transdutores

Como está descrito anteriormente, é necessário ter em conta algumas variáveis como a gama de valores a medir ou velocidade de resposta, na escolha dos transdutores mais eficientes para cada projeto. Além destas características, é também importante conhecer os princípios de funcionamento e materiais utilizados para obter um melhor desempenho nas medições e para que seja possível fazer uma melhor análise da qualidade/preço.

## Medição de temperatura

Existem vários tipos de sensores a utilizar para a medição da temperatura. Apesar da sua função ser a mesma, o seu princípio de funcionamento não é igual, variando conforme as suas características o que irá refletir no seu custo. Desta forma, é necessário ter em atenção alguns parâmetros para selecionar o dispositivo mais indicado para um projeto.

Os sensores de temperatura habitualmente utilizados em sistemas de aquisição de dados são os termopares e as termo-resistências.

### Termopar

Um termopar é um sensor de temperatura constituído por dois materiais diferentes, ligados entre si, cujo princípio de funcionamento no qual se baseia é o efeito Seebeck (Anacleto, 2007).

As extremidades onde estão ligados constituem as junções que vão ser submetidas a temperaturas diferentes, originando uma força eletromotriz. Uma das junções é designada por junção de medição e outra por junção de referência (figura 2.5).

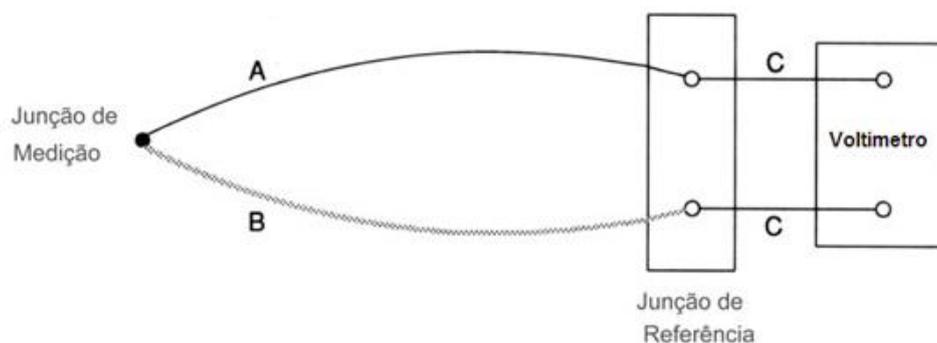


Figura 2.5 - Circuito para medir o potencial de Seebeck compreendendo dois fios diferentes, A e B, duas junções e um voltmetro.

Segundo Anacleto (2007), a junção de medição é submetida à temperatura que se deseja medir. A outra é denominada junção de referência e é mantida a uma temperatura de referência, normalmente um banho de gelo (figura 2.6).

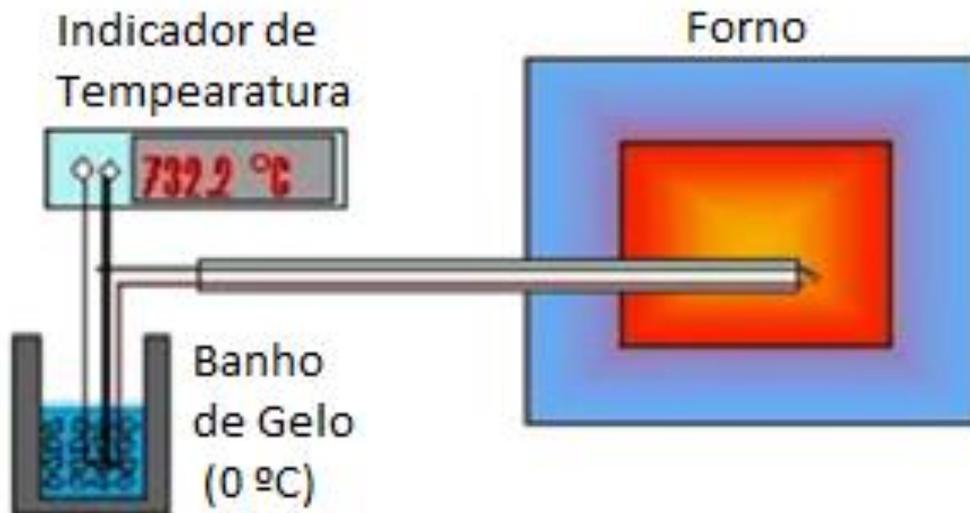


Figura 2.6 - Compensação junção fria (Luís Timóteo, 2015 – Automação Industrial: sensores de temperatura)

A força eletromotriz que é gerada num termopar é função da diferença de temperatura entre as junções de medição e de referência e pode ser medida usando um volímetro.

Existem dois grupos de termopares:

- Metais base (T, J, K, E, N) – Mais económicos e cuja gama de temperatura varia entre: - 185 °C...+1200 °C
- Metais nobres (S, R, B) – Mais caros e cuja gama varia entre: 0 °C...+1600 °C

Segundo Anacleto (2007), embora se possa, em princípio, construir um termopar com dois metais quaisquer, utilizam-se normalmente algumas combinações normalizadas de metais, porque possuem tensões de saída previsíveis e suportam grandes gamas de temperatura. Na tabela 2.2 são apresentados os tipos de termopares existentes, onde é possível verificar a sua composição e gama de temperatura, bem como uma breve descrição do fabricante (Resitec) para uma melhor compreensão da aplicação de cada tipo.

Tabela 2.2 - Especificações para os diferentes tipos de termopares – adaptada: Catálogo Resitec

<b>Tipo</b>	<b>Elemento</b>	<b>Gama de Temperatura (°C)</b>	<b>Notas</b>
<b>T</b>	Cobre (+) / Cobre Níquel (-)	[-40...+300]	Utilizado para baixas temperaturas
<b>E</b>	Níquel crómio (+) / Cobre Níquel (-)	[-40...+800]	Utilizado em atmosferas de baixa oxidação e de elevada sensibilidade
<b>J</b>	Ferro (+) / Cobre Níquel (-)	[-40...+700]	Baixo custo e muito utilizado na indústria plástica. Gama de temperatura limitada
<b>K</b>	Níquel crómio (+) / Níquel alumínio (-)	[-40...+1100]	Baixo custo. Mais fiável para gamas de temperatura mais elevadas. Bom comportamento em atmosferas oxidantes
<b>N</b>	Níquel crómio (+) / Silício Níquel (-)	[-40...+1250]	A sua elevada estabilidade e resistência à oxidação a altas temperaturas tornam o tipo N adequado para medições a temperaturas elevadas
<b>S</b>	Platina 10% Ródio (+) / Platina	[0...+1550]	Adequado para medição de temperaturas elevadas. Reduzida sensibilidade, elevada estabilidade e custo elevado.
<b>R</b>	Platina 13% Ródio (+) / Platina	[0...+1600]	Adequado para medição de temperaturas elevadas. Reduzida sensibilidade e custo elevado.
<b>B</b>	Platina 30% Ródio (+) / Platina 6% Ródio	[100...+1600]	Características similares ao tipo R e S. adequado para medição de temperaturas até 1800 °C, por períodos curtos.

Para uma melhor compreensão da construção de um termopar, são ilustrados os principais componentes (figura 2.7).



Figura 2.7 - Termopar Tipo J - (Luís Timóteo, 2015 – Automação Industrial: Sensores de Temperatura)

### Termómetro de resistência

Os termómetros de resistência também conhecidos por RTDs (detetores de temperatura a resistência), são sensores que variam a resistência elétrica de modo proporcional à temperatura do meio em que são submetidas. Os materiais utilizados como elemento sensor destes termómetros são, normalmente, condutores e semicondutores (figura 2.8).



Figura 2.8 - Tipos de termo-resistências - (Luís Timóteo, 2015 – Automação Industrial: Sensores de Temperatura)

Os metais condutores apareceram primeiro, e historicamente são os que, em sentido estrito, são designados por termómetros de resistência ou termo-resistências. Os semicondutores são mais recentes e chamam-se de termístores (Anacleto, 2007).

A diferença básica é a forma da variação da resistência elétrica com a temperatura. Nos metais a resistência elétrica aumenta quase linearmente com a temperatura, enquanto nos semicondutores ela varia de maneira não linear de forma positiva ou negativa (figura 2.9). A variação da resistência elétrica em função da temperatura ( $dR/dT$ ) é designada por coeficiente de temperatura. O seu valor também é uma função da temperatura.

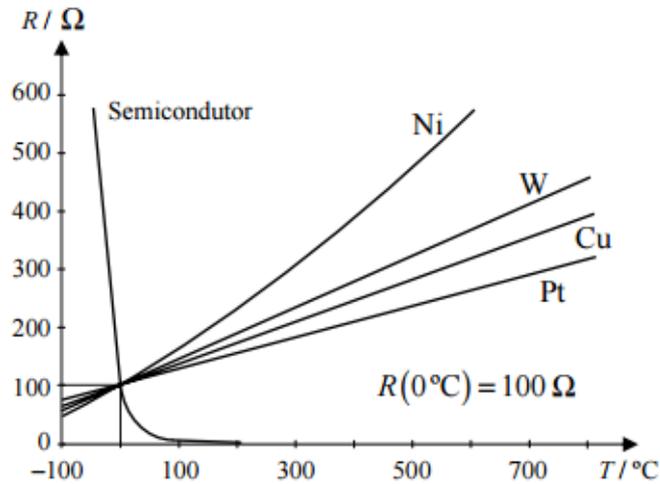


Figura 2.9 - Gráfico ilustrativo da variação da resistência com a temperatura para alguns metais e para um semicondutor. (Anacleto, Alcinda 2007)

### Termo-resistência metálica (RTDs)

Esta designação é geralmente atribuída aos sensores metálicos (figura 2.10) por serem precisamente constituídos por metal. Estes são fabricados sob a forma de arame ou de uma fina película. Os transdutores metálicos recorrem a elementos sensores como a platina, o cobre e o níquel, cuja resistência aumenta com a temperatura.



Figura 2.10 - Algumas termo-resistências - (Anacleto, 2007)

Os termo-resistências metálicas poderão ser de dois tipos:

- Em película fina (figura 2.11), geralmente de platina depositada num determinado substrato idêntico a uma micro membrana de silicone.



Figura 2.11 - Interior de uma termo-resistência com película fina - (Luís Timóteo, 2015 – Automação Industrial: Sensores de Temperatura)

- Em arame (figura 2.12), geralmente também em platina suportado por um adesivo vidrado resistente a alta temperatura, que por sua vez se encontra inserido num tubo de cerâmica.

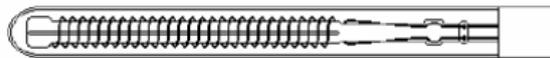


Figura 2.12 - Interior de uma termo-resistência com arame- (Anacleto, Alcinda 2007)

Na tabela 2.3 é possível ver a gama de medida da temperatura para os tipos mais comuns de termo-resistências:

Tabela 2.3 - Gama de medida de temperatura para diferentes termo-resistências

Termo-resistência	Gama de medida (°C)
Platina, Pt	[-258 a 900]
Níquel, Ni	[-150 a 300]
Cobre, Cu	[-200 a 120]

Normalmente, uma termo-resistência é identificada pelo material que a constitui e pela resistência que apresenta a 0 °C, como por exemplo uma Pt 100 que é composta por uma resistência de platina e que a 0 °C apresenta uma resistência de 100 Ω, como é possível confirmar através do gráfico apresentado na figura 2.9.

O seu funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica de modo proporcional à variação de temperatura do meio em que é colocado. Se bem que a lei de variação da

resistência de acordo com a temperatura pode ser aplicada a qualquer condutor elétrico, o elemento sensor na maioria dos casos é feito de platina e níquel e encapsulados em bulbos de cerâmica ou vidro (Anacleto, 2007).

### **Termístor (termo-resistência semicondutora)**

Os termístores são resistências sensíveis à temperatura, construídas em material semicondutor (figura 2.13). Como material semicondutor utilizam-se os óxidos de níquel, cobalto e manganês, e sulfatos de ferro, alumínio e cobre. Para aumentar a estabilidade, são também utilizadas misturas de outros óxidos.

Segundo Timóteo (2015), apesar das faixas de medição da temperatura serem pequenas em comparação com os termopares e termo-resistência metálica, os termístores podem ser bastante precisos e baratos.



Figura 2.13 - Exemplo de termístores – (Catalogo Resitec)

Segundo Anacleto (2007), existem basicamente dois tipos de termístores:

- **NTC (*Negative Temperature Coefficient*):**  
termístores cujo coeficiente de variação de resistência com a temperatura é negativo, a resistência diminui com o aumento da temperatura de forma exponencial.
- **PTC (*Positive Temperature Coefficient*):**  
termístores cujo coeficiente de variação de resistência com a temperatura é positivo, a resistência aumenta com o aumento da temperatura.

A gama de medida de um termístor é mais reduzida do que a de uma termo-resistência metálica. Através da tabela 2.4 é possível ver a relação entre temperatura e resistência. Para um termístor a variação da resistência com a temperatura é elevada, sendo a sua relação não linear.

Tabela 2.4 - Relação entre temperatura e resistência (Adaptada: NXP®)

Sensor	Gama de temperaturas (°C)	R <sub>25</sub> (Ohm)
KTY81-1	[-55 a 150]	1000
KTY81-2	[-55 a 150]	2000
KTY82-1	[-55 a 150]	1000
KTY82-2	[-55 a 150]	2000
KTY83-1	[-55 a 175]	1000
KTY84-1	[-40 a 300]	1000 (R <sub>100</sub> )

## Medição de pressão

Devido a uma grande variedade de condições, faixas e materiais para os quais a pressão deve ser medida existem diferentes modelos de sensores de pressão. Geralmente a pressão é medida a partir da conversão de um fenómeno intermediário, como o deslocamento, que pode ser medido por um sensor.

Existem três tipos de medição de pressão:

- **absoluta:**  
é medida incluindo a pressão atmosférica e é referenciada ao ponto 0 Pa, pressão do vácuo.
- **manométrica:**  
referenciada com a pressão atmosférica.
- **diferencial:**  
similar à pressão manométrica, mas ao invés de ser referenciada à pressão atmosférica, a medição diferencial é referenciada à outra pressão.

Os transdutores medem a pressão a partir da força exercida sobre o diafragma, ao qual é adicionado um sensor que deteta esse efeito. Os sensores mais utilizados podem ser *strain gauge* ou um material piezoelétrico.

### *Strain gauge*

A *strain gauge* (figura 2.14), pode ser utilizada para medir a deformação na superfície de um objeto, alterando a sua resistência quando esticam com os objetos que sofreram deformação. O esquema (figura 2.15) apresenta com maior detalhe a *strain gauge*.

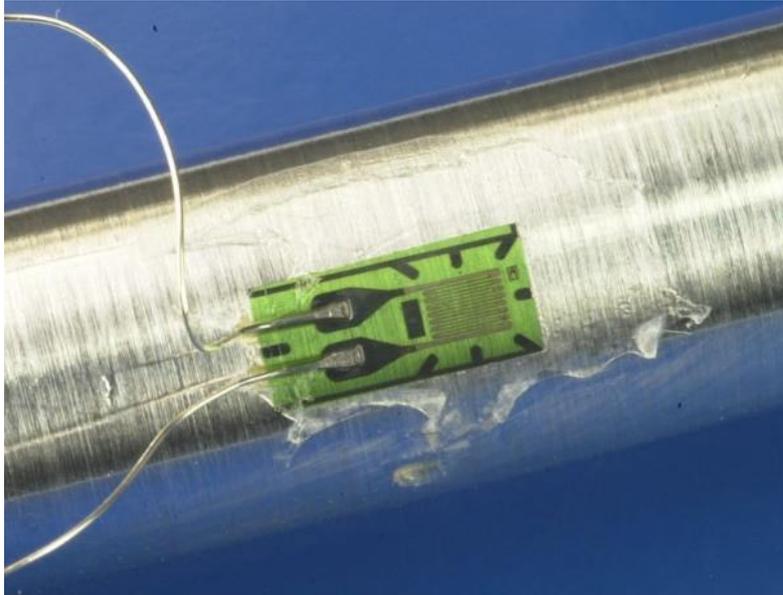


Figura 2.14 - *Strain Gauge* utilizada para medir deformação de um tubo metálico

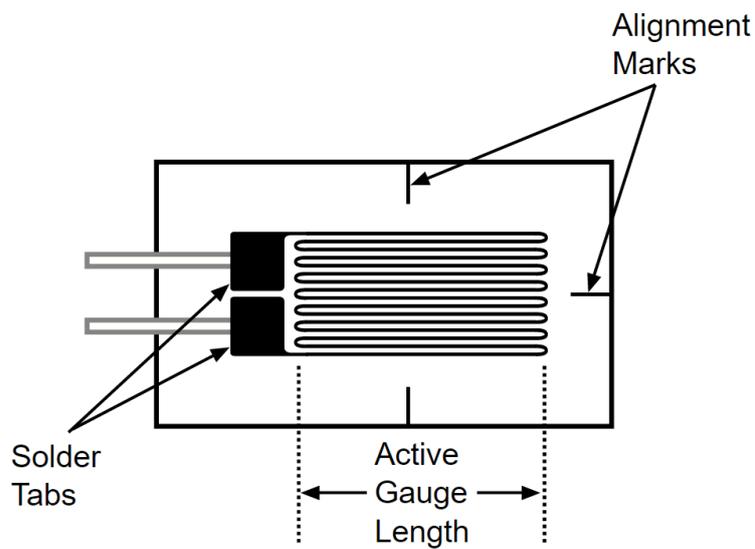
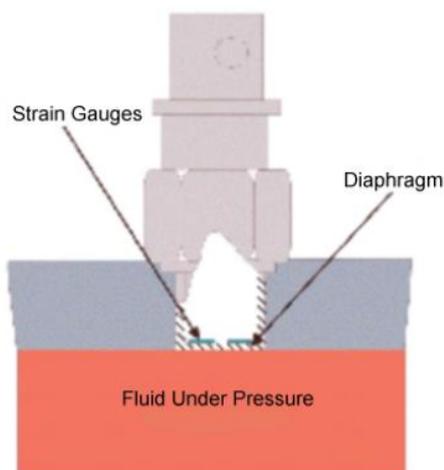


Figura 2.15 – Esquema de um *Strain Gauge*

Este tipo de transdutores de pressão utiliza um *strain gauge* e um diafragma, como ilustra a figura 2.16.

A variação da pressão faz com que ocorra deflexão no diafragma. A resistência do *strain gauge* varia proporcionalmente à deflexão do diafragma, que pode ser medido pelo sistema de aquisição de dados.

Figura 2.16 - *Strain Gauge* (National Instruments®)

### Transdutor piezoelétrico

O princípio de funcionamento desses sensores é baseado no efeito piezoelétrico. De uma forma geral, o efeito piezoelétrico pode ser definido como conversão de energia mecânica em energia elétrica (Eiras, 2012).

Transdutor de pressão piezoelétrico (figura 2.17) tira proveito das propriedades elétricas naturais de cristais como o quartzo. Estes cristais geram uma corrente elétrica quando estão submetidos a uma tensão mecânica. Este tipo de transdutor não requer uma fonte de alimentação, no entanto necessitam de circuitos de amplificação de carga e são muito suscetíveis ao choque e vibração.

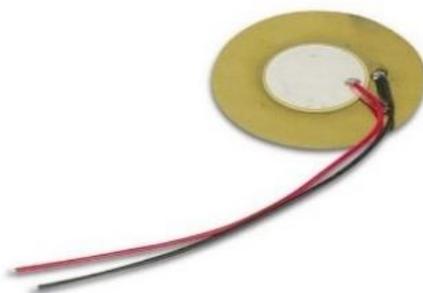


Figura 2.17 - Sensor Piezoelétrico

### Medição de Caudal

Existem no mercado diversos tipos de medidores de caudal, como ilustra a tabela 2.5, com características dos dispositivos mais comuns e recomendação de utilização por parte do fabricante - Omega®. Para uma melhor compreensão destes equipamentos são descritas duas técnicas diferentes: medição da pressão diferencial, utilizando um tubo de Venturi e um caudalímetro térmico.

Tabela 2.5 - Tipos de caudalímetro (Catálogo Omega)

Tabela 1 Guia de Escolha de Medidor de Vazão							
Elemento do Medidor de Vazão	Serviço Recomendado	Classificabilidade <sup>1</sup>	Queda de Pressão	Precisão Típica, percentagem	Diâmetros exigidos dos tubos a montante	Efeito da Viscosidade	Custo Relativo
Orifício	Líquidos limpos, sujos, com algumas polpas	4 a 1	Média	$\pm 2$ a $\pm 4$ do fundo de escala quadrada	10 a 30	Alta	Baixa
Cunha	Polpas e líquidos viscosos	3 a 1	Baixa a média	$\pm 0,5$ a $\pm 2$ do fundo de escala	10 a 30	Baixa	Alta
Tubo Venturi	Líquidos limpos, sujos e viscosos, com algumas polpas	4 a 1	Baixa	$\pm 1$ do fundo de escala	5 a 20	Alta	Média
Bocal de Vazão	Líquidos limpos e sujos	4 a 1	Média	$\pm 1$ a $\pm 2$ do fundo de escala	10 a 30	Alta	Média
Tubo Pitot	Líquidos limpos	3 a 1	Muito Baixa	$\pm 3$ a $\pm 5$ do fundo de escala	20 a 30	Baixa	Baixa
Medidor de Cotovelo	Líquidos limpos, sujos, com algumas polpas	3 a 1	Muito Baixa	$\pm 5$ a $\pm 10$ do fundo de escala	30	Baixa	Baixa
Medidor-alvo	Líquidos limpos, sujos, viscosos; com algumas polpas	10 a 1	Média	$\pm 1$ a $\pm 5$ do fundo de escala	10 a 30	Média	Média
Área Variável	Líquidos limpos, sujos viscosos	10 a 1	Média	$\pm 1$ a $\pm 10$ do fundo de escala	Nenhuma	Média	Baixa
Deslocamento Positivo	Líquidos limpos, viscosos	10 a 1	Alta	$\pm 0,5$ da taxa cúbica	Nenhuma	Alta	Média
Turbina	Líquidos limpos, viscosos	20 a 1	Alta	$\pm 0,25$ da taxa	5 a 10	Alta	Alta
Vórtice	Líquidos limpos, sujos	10 a 1	Média	$\pm 1$ da taxa	10 a 20	Média	Alta
Eletro-magnética	Líquidos limpos, sujos, viscosos e condutivos e polpas	40 a 1	Nenhuma	$\pm 0,5$ da taxa	5	Nenhuma	Alta
Ultrassônico (Doppler)	Líquidos sujos, viscosos e polpas	10 a 1	Nenhuma	$\pm 5$ do fundo de escala	5 a 30	Nenhuma	Alta
Ultrassônico (Tempo de trânsito)	Líquidos limpos, viscosos	20 a 1	Nenhuma	$\pm 1$ a $\pm 5$ do fundo de escala	5 a 30	Nenhuma	Alta
Massa (Coriolis)	Líquidos limpos, sujos, viscosos, algumas polpas	10 a 1	Baixa	$\pm 0,4$ da taxa	Nenhuma	Nenhuma	Alta
Massa (Térmico)	Líquidos limpos, sujos, viscosos, algumas polpas	10 a 1	Baixa	$\pm 1$ do fundo de escala	Nenhuma	Nenhuma	Alta
Weir (Entalhe em V)	Líquidos limpos, sujos	100 a 1	Muito Baixa	$\pm 2$ a $\pm 5$ do fundo de escala	Nenhuma	Muito Baixa	Média
Calha (Parshall)	Líquidos limpos, sujos	50 a 1	Muito Baixa	$\pm 2$ a $\pm 5$ do fundo de escala	Nenhuma	Muito Baixa	Média

<sup>1</sup> Para determinada regulação do intervalo do transmissor. <sup>2</sup> Percentual da faixa total do medidor de vazão. <sup>3</sup> Percentual da taxa de vazão do líquido

## Venturi

Uma das técnicas mais utilizadas para a medição de um caudal é através do Tubo de Venturi (figura 2.18). O escoamento é submetido a um estrangulamento, variando a sua área de passagem de  $A_1$  para  $A_2$ .

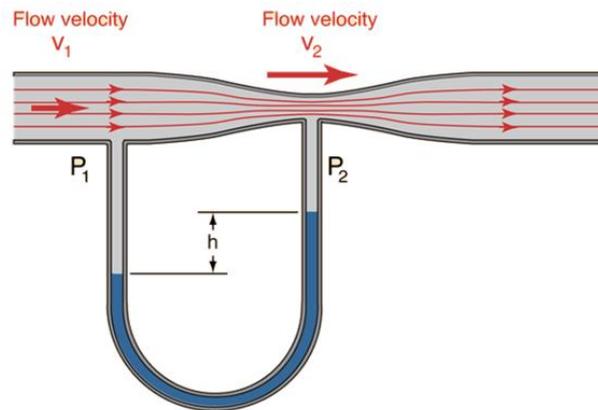


Figura 2.18 – Tubo de Venturi

Admitindo que não há perdas por dissipação viscosa entre as secções  $A_1$  e  $A_2$  (em que as velocidades são  $V_1$  e  $V_2$ , e as pressões  $p_1$  e  $p_2$ , respetivamente), a condição conservativa de Bernoulli traduzir-se-á por:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g z_2$$

Ainda que o eixo do tubo possa ser inclinado em relação à horizontal, a diferença de cota entre as secções 1 e 2 será sempre comparativamente desprezável, pelo que se admite aqui que os termos de energia potencial se anulam entre si. Pela conservação de massa é possível suprimir  $V_1$ :

$$V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2$$

Retomando a expressão de Bernoulli e explicitando a velocidade média na secção de menor diâmetro vira:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

A diferença  $(p_1 - p_2)$  é obtida diretamente por ligação das tomadas periféricas de pressão estática, a um manómetro diferencial (ou medida por sensores de pressão). Por fim, o caudal volumétrico pretendido resulta da multiplicação de  $V_2$  pela correspondente área de passagem  $A_2$ :

$$Q = A_2 V_2 = \frac{A_2}{\sqrt{[1 - (\frac{A_2}{A_1})^2]}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}$$

Desta forma é calculado o caudal volúmico [m<sup>3</sup>/h], que poderá ser convertido para caudal mássico [kg/h], sabendo a massa volúmica do fluido [kg/m<sup>3</sup>].

### Medidor de vazão de massa (Térmico)

Os medidores de vazão de massa térmico (figura 2.19) são ideais para gamas baixas de medição de caudais de gás.

Estão disponíveis em dois diferentes modelos *heated sample tube* e *inserted probe*. Ambos medem o caudal mássico [kg/h] através do efeito convectivo e condutivo de transferência de calor que ocorre entre o fluido que circula e uma superfície aquecida.



Figura 2.19 – Caudalímetro de massa térmico

### *Heated sample tube*

Neste modelo, o fluxo passa através de um tubo de alta precisão onde é aplicado calor e é medida a variação de temperatura. A diferença de temperatura entre dois pontos indica quanta energia o fluido absorveu, que depende da quantidade de massa que passou na tubagem (figura 2.20).

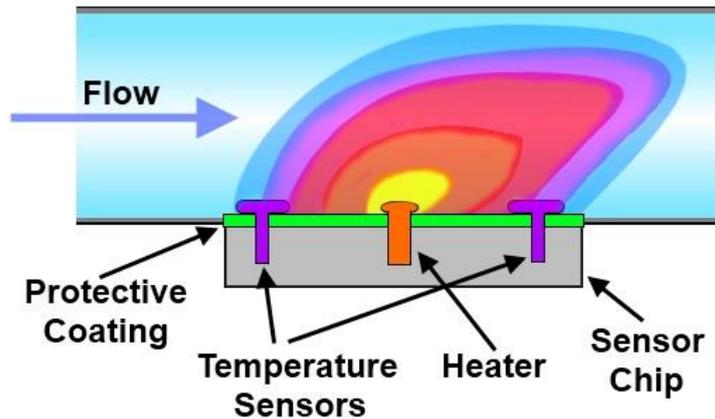


Figura 2.20 – “Heated sample tube”

### *Inserted probe*

Baseia-se no mesmo princípio de transferência de calor, mas neste caso, não aquece parte do tubo. É inserida na zona do escoamento uma sonda com duas RTD. O sensor a montante mede a temperatura do fluido, enquanto o segundo é aquecido a uma temperatura constante, superior à do primeiro. A partir do valor de energia que é necessário despendido para manter a temperatura do segundo sensor constante, que é arrefecido pelo fluido que passa na tubagem, é calculado o correspondente caudal mássico [kg/h] (figura 2.21).

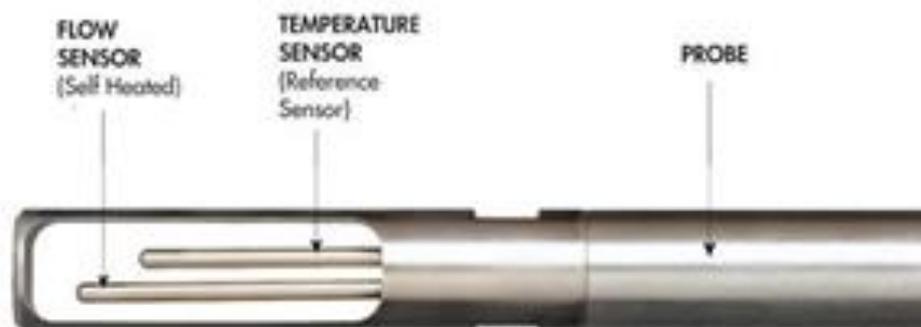


Figura 2.21 – “Inserted Probe”

## 2.2. Condicionadores de sinal

O PC requer que os dados recebidos estejam em formato digital, então os sinais elétricos gerados pelos sensores e transdutores devem ser convertidos e otimizados para a escala que possa ser aceite pelo *hardware* de aquisição de dados, nomeadamente pelo conversor A/D que converte o sinal analógico recebido para o formato digital.

Um sistema de aquisição de dados pode medir ou gerar sinais elétricos. Alguns sensores geram sinais difíceis de medir diretamente, então é necessário realizar um condicionamento de sinal como filtragem ou amplificação.

Os dispositivos condicionadores de sinal são utilizados para uma medição mais precisa, executando as seguintes tarefas:

- amplificação;
- atenuação;
- filtragem;
- isolamento;
- linearização;
- alimentação;
- compensação junção fria;
- configuração de ponte.

### Amplificação

Os amplificadores são utilizados para que sinais de baixa intensidade, como por exemplo os gerados por termopares sejam amplificados, aumentando assim a resolução e sensibilidade da medição. Devem ser colocados o mais próximo possível do sensor para redução dos efeitos do ruído nas linhas de sinal entre o transdutor e o *hardware* de aquisição de dados.

Para uma maior exatidão, o sinal dever ser amplificado de modo a atingir a resolução máxima, que é obtida quando a variação máxima de tensão do sinal a ser condicionado coincide com a faixa e valores de entrada do conversor A/D, contido no *hardware* de aquisição de dados.

### Atenuação

A atenuação é habitualmente necessária na medição de tensões superiores a 10V. Quando as tensões a serem digitalizadas são superiores à faixa de valores de entrada do conversor A/D é necessário atenuar o sinal de entrada. Esta forma de condicionamento de sinal é o oposto da amplificação, ou seja, tem como objetivo diminuir a amplitude do sinal de entrada, para que este fique dentro da gama de valores de entrada do conversor A/D.

### Filtragem

Um filtro tem como função selecionar ou rejeitar uma ou várias gamas de frequência de um sinal elétrico.

Por exemplo, os sinais enviados por termopares (na ordem dos mV), podem ser corrompidos em ambientes ruidosos. O ruído sobrepõe-se ao sinal a medir, conduzindo a dados errados. Os filtros rejeitam ruídos indesejados dentro de uma determinada gama de frequência.

Os três tipos de filtros mais comuns são o Butterworth, Chebyshev e Bessel, cada um com características únicas o que os torna mais adequados para uma determinada aplicação do que para outra. Podem ser utilizados como filtros passa-baixo (a), passa-alto (b), passa-banda (c) e rejeita-banda, tal como é ilustrado na figura 2.22:

- a) passa-baixo: permite a passagem de baixas frequências, mas atenua as altas;
- b) passa-alto: permite a passagem de altas frequências, atenuando as baixas;
- c) passa-banda: define a gama de frequências a selecionar;
- d) rejeita-banda: define a gama de frequências a rejeitar.

Os filtros (c) e (d) podem ser obtidos através da combinação de (a) e (b).

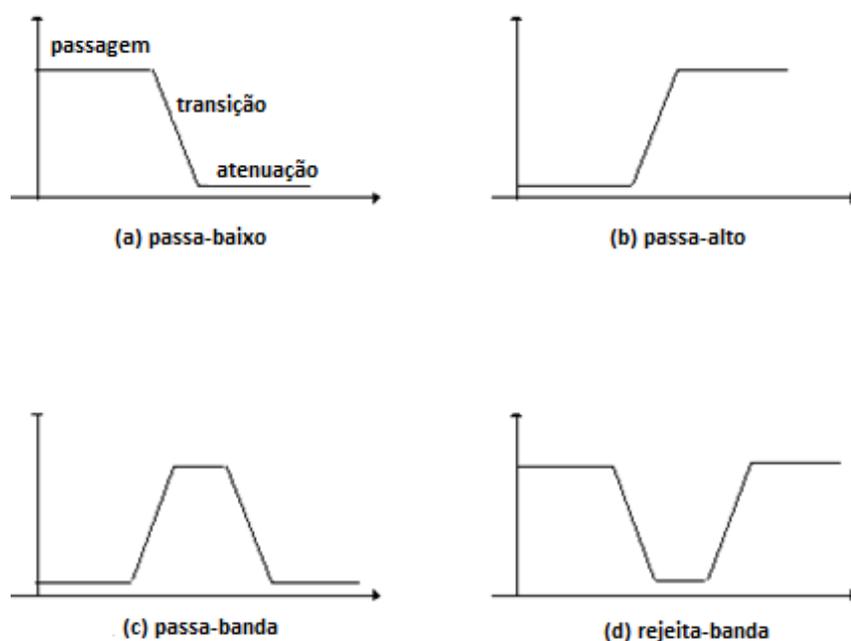


Figura 2.22 – Tipos de filtros

## Isolamento

De forma a proteger o equipamento de picos de tensão e os operadores de computador de sofrerem qualquer tipo de acidente, o equipamento de condicionamento de sinal pode também ser usado para isolamento dos sinais elétricos gerados pelos transdutores ou sensores. Deste modo, o isolamento permite que as medições sejam mais rigorosas e obtidas de forma mais segura.

## Linearização

Uma outra função do condicionamento de sinal é a linearização. Muitos transdutores, como os termopares, têm uma resposta não-linear às variações nos fenómenos que estão sob medição. A linearização é o processo de interpretar o sinal medido pelo sensor, podendo ser feita por condicionamento de sinal ou através do *software*.

## Alimentação

Os produtos de condicionamento de sinal também fornecem a alimentação para alguns transdutores, como por exemplo: extensómetros, termístores e RTDs.

## Compensação de junção fria

Esta é uma tecnologia necessária para medições precisas com termopar. Os termopares medem a temperatura através da tensão gerada entre dois metais de características diferentes. Este princípio é conhecido como efeito Seebeck. Como ilustra a figura 2.23, um termopar é composto por uma junção de referência e uma junção de medição, que está em contacto direto com a fonte a medir a temperatura.

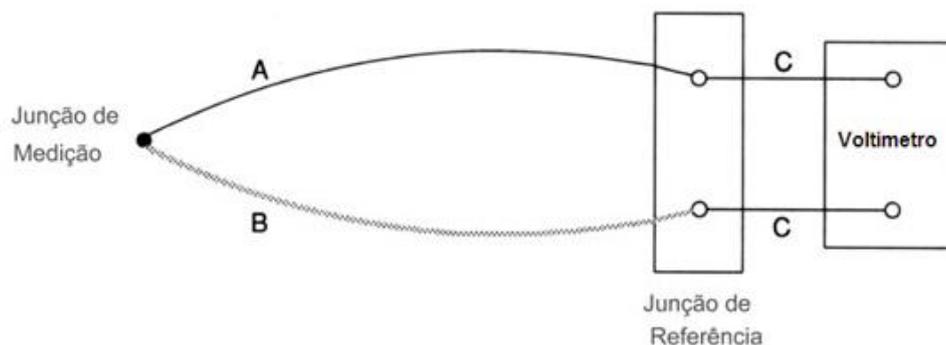


Figura 2.23 - Circuito para medir o potencial de Seebeck compreendendo dois fios diferentes, A e B, duas junções e um voltímetro

A temperatura é determinada através de cálculos efetuados em função da tensão medida pelo termopar. Para que tal seja possível, é necessário manter a junção de referência a uma temperatura constante e conhecida, caso contrário, levará a medições com erros significativos.

Existem dois métodos de compensação de junção de referência:

- método clássico, que originou o nome deste processo (junção fria), consiste em mergulhar a junção de referência num banho de gelo a 0 °C.
- método de adição de tensão de correção, por intermédio de *software* e/ou *hardware*. Neste procedimento é medida a temperatura da junção de referência (utilizando um sensor de temperatura alternativo, como um RTD) e é adicionada a tensão de

correção. Essa tensão corresponde à temperatura da junção de referência equivalente a 0 °C.

### Configuração de ponte

A configuração de ponte é necessária para definir os restantes elementos dos sensores de quarto e meia ponte, compreendendo uma ponte de Wheatstone de quatro termómetros de resistência. Condicionadores de sinal de *strain gage* normalmente fornecem redes de elementos para definição de meia-ponte, consistindo em resistores de referência de alta precisão. Esses resistores fornecem uma referência fixa para detecção de pequenas variações de tensão nos resistores ativos.

A tabela 2.6 fornece um resumo do condicionamento de sinal comum para diferentes tipos de sensores e medições.

Tabela 2.6 - Sensores e condicionamento de sinal

	Amplificação	Atenuação	Isolamento	Filtragem	Alimentação	Linearização	CJC	Configuração de ponte
Termopar	✓		✓	✓		✓	✓	
Termístor	✓		✓	✓	✓	✓		
RTD	✓		✓	✓	✓	✓		
Strain Gage	✓		✓	✓	✓	✓		✓
Carga, pressão e torque (± 5 V, ± 10 V, ± 4-20 mA)	✓		✓	✓	✓	✓		
Acelerómetro	✓		✓	✓	✓	✓		
Microfone	✓			✓	✓	✓		
Próximetro	✓			✓	✓	✓		
LVDT/RVTD	✓		✓	✓	✓	✓		
Alta tensão		✓	✓					

Deve-se entender a natureza do sinal, a configuração que se está a usar para medir o sinal e os efeitos do ambiente em redor do sistema. Com base nestas informações, pode-se determinar se o condicionamento de sinais é necessário num sistema de aquisição de dados.

## 2.3. Hardware DAQ - módulos ou placas de aquisição

A aquisição de dados é realizada através de sistemas com placas ou módulos de aquisição. O *hardware DAQ* atua como a interface entre um computador e os sinais físicos. A principal função deste dispositivo é a digitalização de sinais analógicos de entrada, para que seja possível interpretá-los através de um computador. Muitos dispositivos *DAQ* são projetados não só para receber dados, mas também são utilizados como controladores de processos. O computador envia um sinal em formato digital que é convertido para um formato que possa ser utilizado por dispositivos como atuadores e relés.

A tarefa deste componente será integrar diferentes elementos que compõem um sistema de aquisição de dados de modo a formar um sistema completo e funcional.

Uma placa de aquisição de dados é geralmente composta pelos seguintes elementos:

- entradas analógicas;
- saídas analógicas;
- conversor a/d;
- conversor d/a;
- *triggers*;
- entradas e saídas digitais;
- contadores e temporizadores.

### Entradas analógicas

As especificações de entradas analógicas fornecem informações sobre as características do sistema de aquisição de dados e informam sobre:

- **número de canais:**

representa o número de sinais analógicos que o produto DAQ é capaz de receber e digitalizar. Esta especificação agrupa os canais em *single-ended*, pseudo-diferencial e diferencial.

- **taxa de amostragem:**

define a frequência com que as conversões são efetuadas. Uma taxa de amostragem muito alta adquire mais dados num determinado intervalo de tempo. Este parâmetro é medido em termos do número de amostras por segundo.

- **escala do sinal de entrada:**

refere-se aos níveis de tensão máxima e mínima para as quais um dispositivo DAQ pode ser configurado de modo a aceitar e converter um sinal com precisão.

### Saídas analógicas

As saídas analógicas são geralmente necessárias para gerar estímulos. As diversas especificações para o conversor digital-analógico determinam a qualidade do sinal de saída produzido:

- **tempo de ajuste:**

tempo necessário para a saída (um amplificador, um relé ou outros circuitos) alcançar um modo estável.

- **slew rate:**

taxa máxima de variação que o conversor digital analógico pode produzir para o sinal de saída.

- **resolução de saída:**

número de *bits* no código digital que gera o sinal analógico.

### **Conversor analógico-digital (A/D) e digital-analógico (D/A)**

O conversor A/D converte o sinal de entrada (analógico) proveniente do meio de medição para um dado digital que pode ser interpretado e processado via *software*. O conversor D/A faz o processo inverso, ou seja, converte um dado digital gerado pelo *software*, para um equivalente sinal analógico utilizado para controlo de processos.

### **Triggers**

Os *triggers* são utilizados para dar início ou terminar uma tarefa, realizada pelo sistema de aquisição de dados, em função de um evento externo. Existem dois tipos de *triggers*, os analógicos e os digitais. Os analógicos são utilizados em operações de entrada analógica, iniciam ou terminam operações quando um sinal de entrada alcança um nível específico de tensão ou corrente. Os *triggers* digitais sincronizam a geração de tensão e a aquisição de dados para um pulso digital externo.

### **Entradas e saídas digitais**

São utilizadas nos sistemas de aquisição de dados baseados em PC para controlar processos, gerar padrões e comunicar com os equipamentos periféricos. Os canais digitais são utilizados para controlar eventos, tais como, ligar/desligar aquecedores e luzes ou regular a abertura de válvula.

### **Contadores/temporizadores**

Os contadores/temporizadores são utilizados em muitas aplicações, como a contagem de ocorrência de eventos digitais e temporização de um impulso digital. Podem-se implementar utilizando três sinais de contadores/temporizadores:

- **gate:**

entrada digital, que é usada para habilitar (*enable*) ou desabilitar (*disable*) a função do contador;

- **fonte:**

o sinal de fonte é a entrada digital que provoca o incremento do contador em cada impulso, gerando assim a base de tempo para as operações de temporização e contagem;

- **saída:**

gera impulsos na linha de saída.

## 2.4. Computador

O computador com um *software* programável controla a operação do dispositivo DAQ. É o elemento responsável pelo processamento dos sinais adquiridos, bem como, armazenamento e visualização. A velocidade do microprocessador, o tempo de acesso do disco rígido e o tipo de transferência de dados, podem ter um impacto na velocidade a que o computador será capaz de enviar ou receber dados.

Os requisitos de *performance* do computador devem estar relacionados com o projeto em questão. Diferentes tipos de computadores são usados em diferentes tipos de aplicações. Um *desktop* pode ser usado num laboratório, pela sua capacidade de processamento, um *laptop* pode ser usado em campo, pela sua portabilidade, um computador industrial pode ser usado numa fábrica, pela sua robustez.

Tal como todos os aspetos de um sistema de aquisição de dados, a escolha do computador é um equilíbrio entre o custo e as necessidades atuais e futuras.

## 2.5. Software de aquisição de dados

O *software* de aplicação pode ser um painel interativo, um programa de controlo dedicado de entrada/saída, um registador de dados, um gestor de comunicação ou uma combinação destes.

Existem diferentes tipos de *software* para programar qualquer sistema de aquisição, para tal, existem as seguintes opções:

- programar diretamente os registos do *hardware* de aquisição de dados;
- programas mais limitados, habitualmente fornecido com o *hardware*;
- *software* de fabricantes independentes<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> em alternativa ao fornecido, que por vezes não tem capacidade de realizar todas as tarefas necessárias para o projeto. Existem programas de fabricantes independentes, tais como o LabView® comercializado pela National Instruments®, que disponibiliza uma interface gráfica de programação.

### 3. Materiais

Ao longo deste capítulo é apresentado o material utilizado (*hardware* e *software*) necessário para desenvolver o sistema de aquisição de dados a implementar no gaseificador que será abastecido por três tipos de biomassa com granulometria similar.

#### 3.1. Instalação piloto de gaseificação

A figura 3.1 descreve esquematicamente a instalação experimental de gaseificação e produção de energia elétrica e térmica desenvolvida e construída pela Aberta Nova – Sociedade Florestal, S.A.

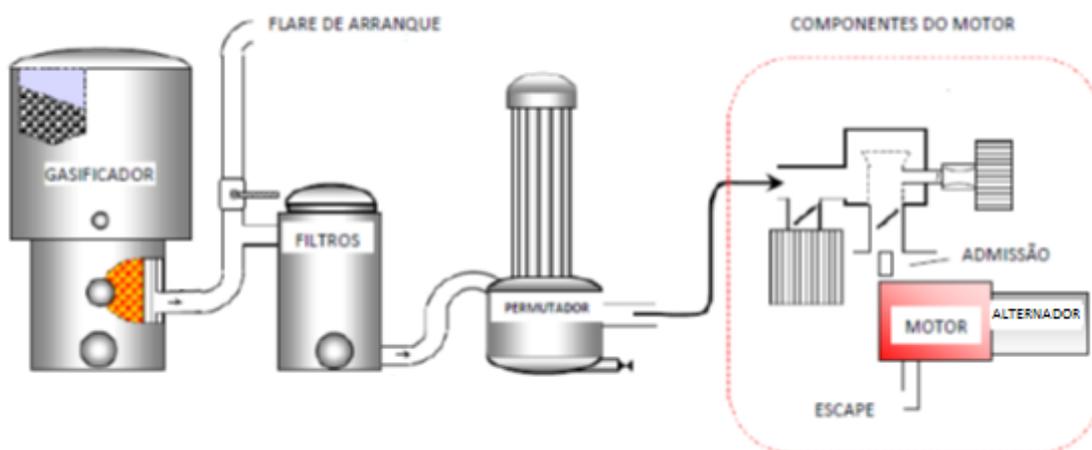


Figura 3.1 - Esquema de princípio da montagem experimental de gaseificação e produção de energia elétrica.

O sistema de produção de energia elétrica e térmica a partir de biomassa florestal está construído num contentor marítimo.

Os gases produzidos no processo de gaseificação são filtrados à saída do gaseificador antes de passarem pelo permutador de calor para garantir uma temperatura constante do gás de síntese de alimentação do motor, permitindo assim manter constante o rendimento do motor e um movimento o mais constante possível do alternador para produção de eletricidade.

O sistema de gaseificação é constituído por um gaseificador concorrente, integralmente construído em aço inox 316 L. Foi projetado para o consumo de biomassa de 97 kg/dia (8 horas de funcionamento em plena carga).

O sistema produz 15 kWe de potência elétrica e 30 kWt de potência térmica, disponível sob a forma de água quente a 90 °C. O motor de combustão interna, um Volvo 230 B 2300 cm<sup>3</sup> cilindrada (funciona segundo o ciclo de Otto, com ignição elétrica por faísca alternada) é capaz de funcionar com duas modalidades: combustível proveniente do gaseificador ou gás propano, através de comutação manual. O sistema de arrefecimento do bloco do motor está ligado a um permutador de placas para a recuperação da energia térmica e o circuito de saída dos gases de escape dispõe de permutadores tubulares para recuperação da energia térmica

### 3.2. Equipamento do sistema de aquisição de dados

Para a realização deste projeto foi montado um sistema de aquisição de dados para medições das variáveis de uma instalação piloto de gaseificação de biomassa.

Tabela 3.1 – Gama de valores a medir

Medição	Gama a medir
Temperatura do ar: entrada - zona de oxidação	[0; 300 °C]
Temperatura do gás à saída do gaseificador	[0; 500 °C]
Temperatura no interior da zona de secagem	[0; 300 °C]
Pressão na zona de secagem	[0; +/- 0.5 bar]
Caudal de ar à entrada do gaseificador	[0; 10 m <sup>3</sup> /h]

Para as medições descritas na tabela 3.1, foram utilizadas três sondas Pt100, um transdutor de pressão piezoelétrico, um caudalímetro de massa térmico, placa de aquisição de dados e programado no software LabView. Em anexo (A, B, C, D e E) estão disponíveis os manuais do fabricante onde são especificadas as várias características dos sensores como o tempo de resposta, gama de valores admissíveis e exatidão. O local onde os sensores foram inseridos é representado através da figura 3.2.

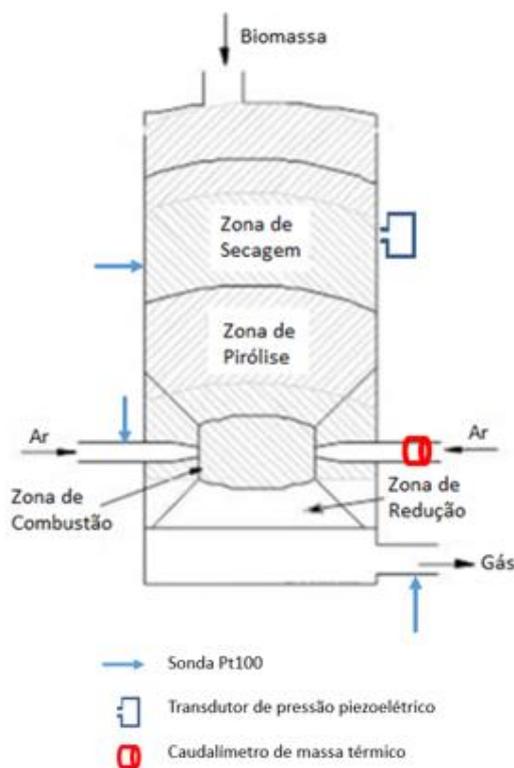


Figura 3.2 – Zonas do gaseificadores onde foram inseridos os respetivos sensores.

Entre as figuras (3.3 e 3.8), é apresentado o equipamento utilizado:

### Sonda Pt100

Para a medição da temperatura nos locais apresentados na figura 3.2 foram utilizados termómetros de resistência, sondas Pt100 – “TP-203A-CF-H1141-L100” do fabricante Turck®. Estes sensores necessitam de alimentação externa (24 V), apresentam capacidade de medição entre [-50; 500 °C] e tempo de resposta de 1,5 s.



Figura 3.3 – Sonda Pt100 “TP-203A-CF-H1141-L100” utilizadas para a medição da temperatura

### Transdutor de pressão piezoelétrico

Para a aquisição dos valores de pressão na zona de secagem foi utilizado um transdutor de pressão piezoelétrico com mostrador digital, “PS001V-504-LI2UPN8X-H1141” - Turck®. Este transdutor mede na gama entre [-1; 1 bar], uma precisão  $\pm 0.5\%$  em toda a escala e tempo de resposta inferior a 3 ms. É necessário um sinal de 24 V para alimentar este sensor.



Figura 3.4 – Transdutor de pressão piezoelétrico “PS001V-504-LI2UPN8X-H1141” e mostrador digital

### Caudalímetro de massa térmico

Para a medição da quantidade de ar que dará entrada na zona de oxidação é utilizado um caudalímetro de massa térmico “MCF0150ARND010000” do fabricante Azbil Corporation®. Este caudalímetro dispõe de um mostrador digital e necessita de uma fonte de alimentação de 24 V. Tem um tempo de resposta de 50 ms e mede com um elevado grau de confiança valores entre [-150; 500 L/min], tendo uma precisão de  $\pm 3\%$ .



Figura 3.5 – Caudalímetro de massa térmico “MCF0150ARND010000”

### DAQ hardware

O hardware é composto por uma Gateway - “Multiprotocol interface for Ethernet BL20-E-GW-EN” (figura 3.6) e por um módulo - “BL20 Economy Module 8 2-wire analog inputs U/I resp. 4 2/3-wire PT/Ni inputs BL20-E-8AI-U/I-4PT/Ni” (Figura 3.7).

A referida “Gateway” tem uma porta *Ethernet* utilizada para ligar ao PC o que posteriormente possibilita a sua utilização em LabView®. Dispõe de uma capacidade de armazenamento até 1024 registos<sup>1</sup>. Tem capacidade de expansão até 31 módulos, o que significa que é possível aumentar o número de transdutores ligados, ficando com aproximadamente 250 canais de entrada. Por sua vez, os módulos têm uma resolução de 16

---

<sup>1</sup>após este valor os novos dados de entrada vão substituindo os mais antigos.

Bits e estão programados para o tratamento de determinados tipos de dados recebidos, tendo já pré-configurada a conversão dos valores recebidos. Os inputs aceites por estes módulos são os seguintes: “0/4...20 mA, -10/0...10 VDC, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, NI100, NI1000, 0...250  $\Omega$ , 0...400  $\Omega$ , 0... 800  $\Omega$ , 0...2000  $\Omega$ , 0...4000  $\Omega$ ”.



Figura 3.6 – Gateway - “Multiprotocol interface for Ethernet BL20-E-GW-EN”



Figura 3.7 – Módulo - “BL20 Economy Module 8 2-wire analog inputs U/I resp. 4 2/3-wire PT/NI inputs BL20-E-8AI-U/I-4PT/NI”

## Fonte de alimentação

Para fornecer energia ao sistema de aquisição de dados, é utilizada uma fonte de alimentação “IM82-24-5,0” da Turck®, que fornece tensão de saída de 24 V e corrente de saída 5.0 A para alimentar os sensores e a *gateway*. Através do potenciômetro ( $V_{out}$ ), a tensão de saída pode ser ajustada num intervalo entre [22,5; 28,5 V].



Figura 3.8 – Fonte de alimentação “IM82-24-5,0”

### 3.3. Software

No âmbito deste projeto foram utilizados dois programas distintos, inicialmente o PACTware® e posteriormente o LabView®.

#### 3.3.1. PACTware®

O PACTware® é o *software* disponibilizado pela Turck®<sup>1</sup>. Através deste programa é estabelecida a comunicação entre o equipamento e PC, bem como a parametrização<sup>2</sup> do sistema. A comunicação e parametrização é realizada da forma apresentada, passo a passo, conforme se mostra nas próximas figuras.

### Comunicação e parametrização do sistema

Inicialmente o *software* não reconhece a Gateway ligado ao computador.

Para estabelecer a comunicação entre o PC e o sistema *DAQ* é necessário configurar o endereço de IP da ligação *Ethernet* tal como ilustra a (figura 3.9 e 3.10).

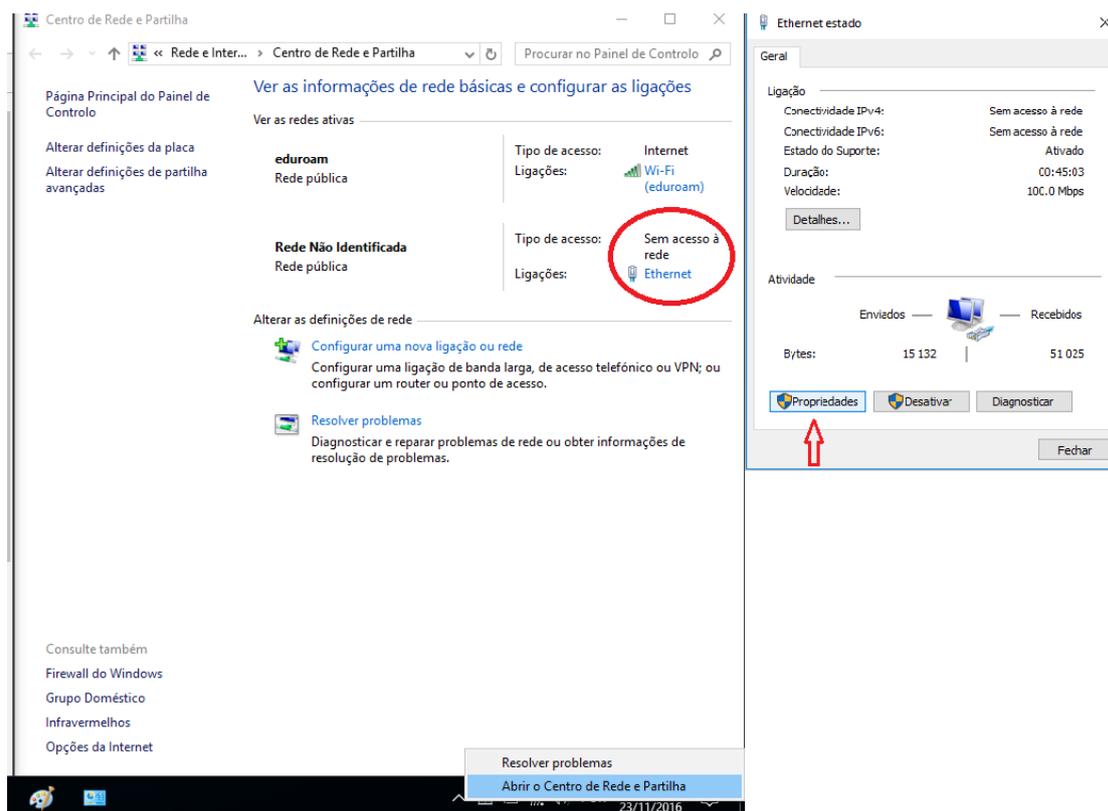


Figura 3.9 - Print screen: configuração IP "Gateway" - 1º passo

<sup>1</sup> Turck® - fabricante da placa de aquisição de dados e transdutores utilizados .

<sup>2</sup> parametrização - configuração dos canais de entrada em função de cada transdutor

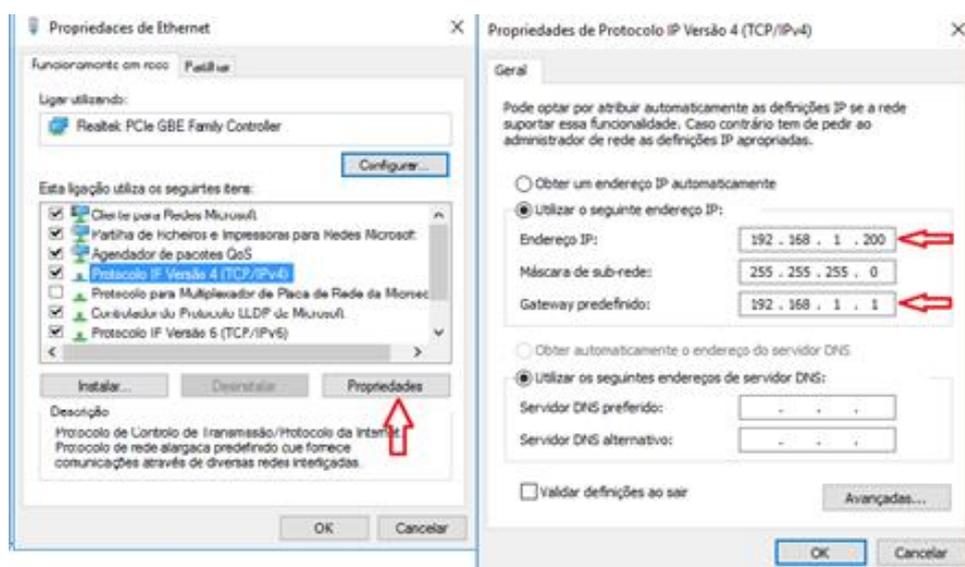


Figura 3.10 - Print screen: configuração IP "Gateway" - 1º passo (continuação)

Após definir o endereço de IP, realiza-se o 2º passo (figura 3.11), clicando na função "Busaddress management" para configurar a gateway.

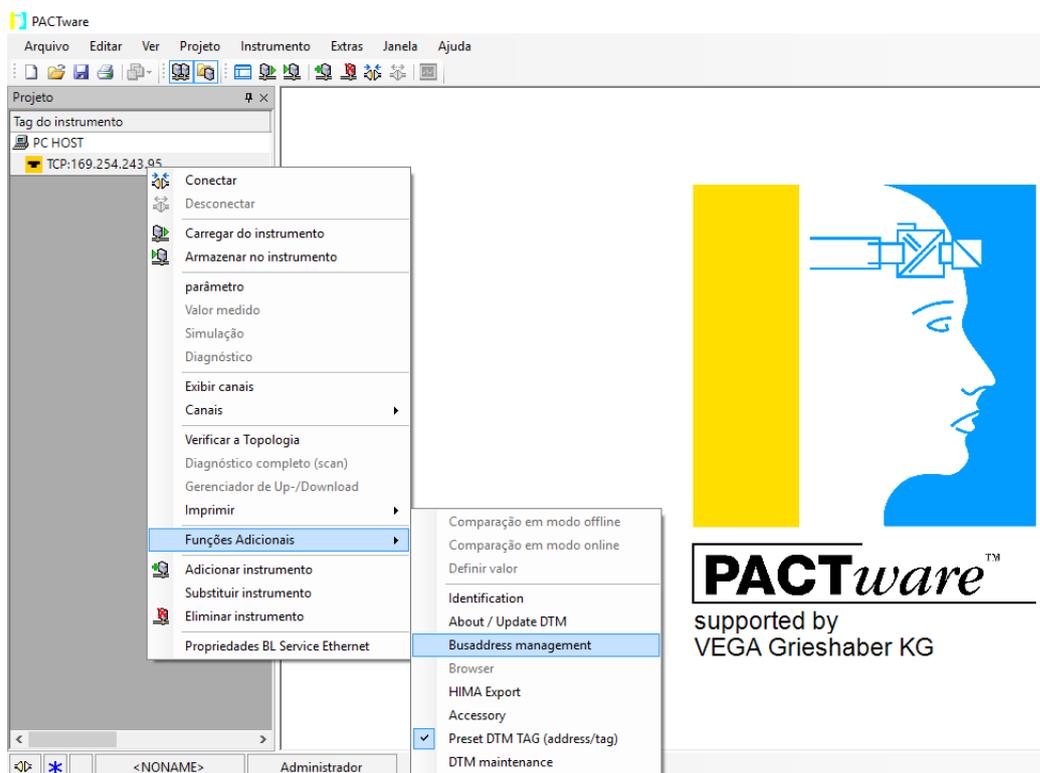


Figura 3.11 - Print screen "PACTware" - 2º passo

Através do *software* é possível verificar que já foi estabelecida a comunicação entre o PC e a *Gateway* (figura 3.12).

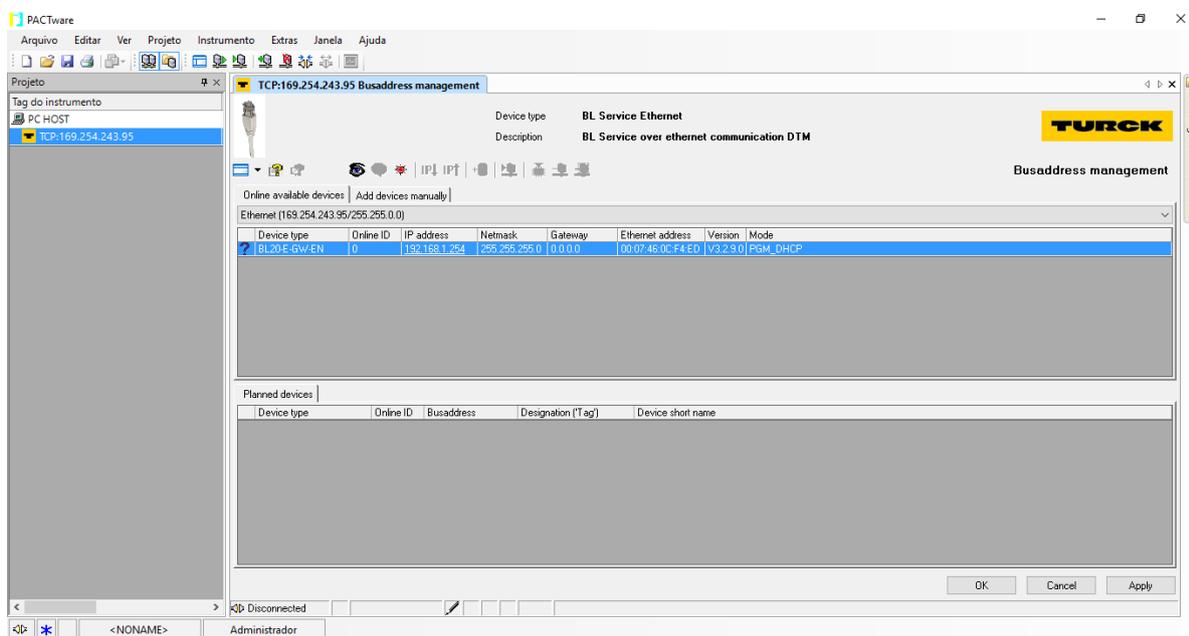


Figura 3.12 - Print screen "PACTware" - 3º passo

Com duplo clique sob o nome do equipamento, sombreado a azul (figura 3.12), é aberta uma nova página que permite realizar a parametrização do sistema (figura 3.13).

Desta forma, é definido o canal de entrada ao qual cada transdutor se vai ligar e o tipo de sinal que a *gateway* terá que processar. O sinal a processar poderá ser em corrente ou tensão, conforme o sensor utilizado. No caso dos termopares e termo-resistência, a configuração já foi previamente estabelecida e a conversão é realizada automaticamente para graus Celsius (°C). No caso dos outros transdutores o mesmo não acontece.

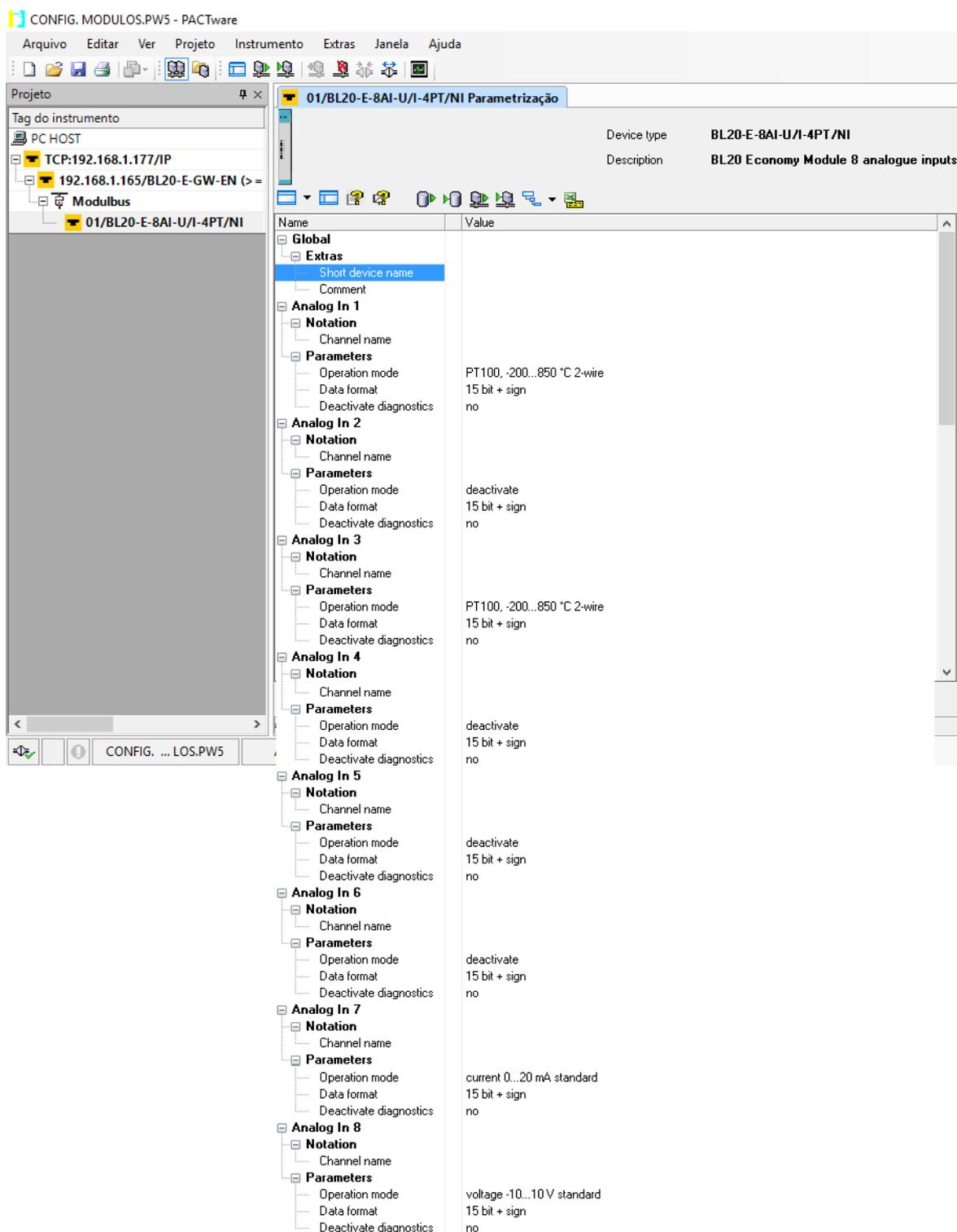


Figura 3.13 - Print screen "PACTware": parametrização - 4º passo

Esta placa de aquisição permite a entrada de sinais de tensão e corrente em simultâneo, desta forma não há necessidade de utilizar um conversor de sinal tensão-corrente ou corrente-tensão, que poderá ocorrer quando utilizamos placas de aquisição que apenas aceitam apenas um dos tipos dos sinais.

Após realizar a parametrização, é possível, através deste *software*, visualizar em tempo real os valores registados pelos transdutores (figura 3.14), uma vez que a comunicação, conversão e tratamento do sinal já está pré-estabelecida pelo fabricante.

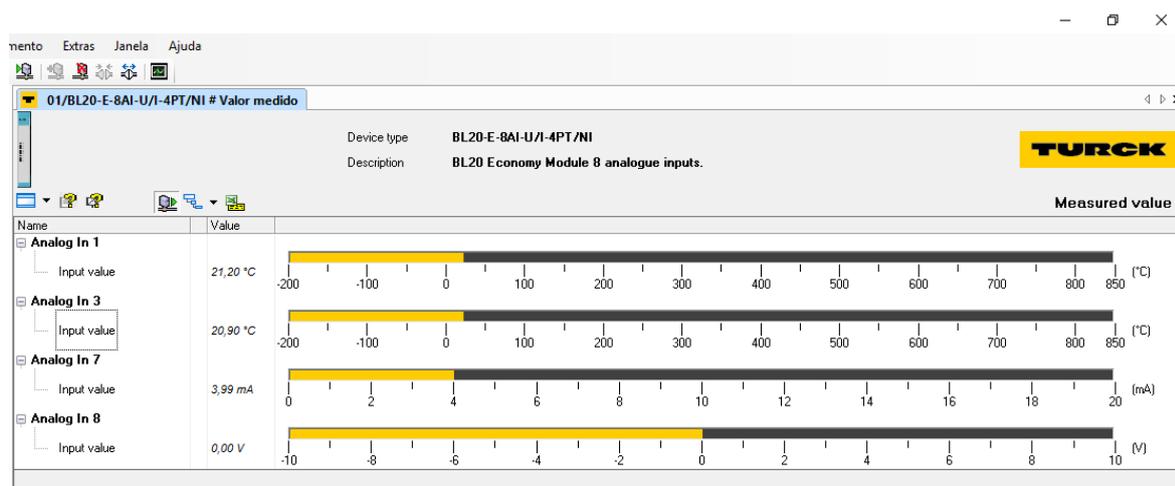


Figura 3.14 - Print screen "PACTware": valores medidos - 5º passo

O PACTware® é um programa um pouco limitado. Apesar de ser possível realizar o *download* de um ficheiro em Excel®, este apenas contém o valor instantâneo medido no momento em que o pedido é feito, ou seja, apenas regista um valor por cada transdutor, não faz um registo contínuo durante um intervalo de tempo.

Para uma análise mais detalhada é necessário armazenar uma quantidade maior de dados, o que não é permitido neste programa. Para aplicações onde é apenas necessário a visualização dos valores medidos em tempo real e não um armazenamento dos dados, este *software* poderá ser suficiente.

### 3.3.2. LabView®

Para o objetivo de estudar a influência das diferentes variáveis de operação da temperatura, pressão e caudal de ar na composição do gás de síntese, produzido pelo gaseificador, é necessário adquirir e armazenar uma maior quantidade de dados, para posterior análise. Uma vez que o PACTware® é limitado para estas funções, foi utilizado o *software* LabView® comercializado pela National Instruments®.

### Breve introdução ao LabView®

O LabView® é baseado numa linguagem de programação gráfica, que utiliza ícones, em vez de uma sequência de linhas de texto, o que permite escrever códigos usando um *layout* visual

mais intuitivo. Os projetos criados neste *software* chamam-se *Vi's (Virtual Instrument)*, porque a sua aparência e operação simula a utilização de instrumentos físicos. Com instrumentos virtuais, é possível construir sistemas de aquisição de dados e automação que satisfazem as necessidades em vez de serem limitados por instrumentos tradicionais de função fixa, definida pelo vendedor.

### Painel frontal e diagrama de blocos

Cada *VI* criado em LabView® é composto por duas janelas, o painel frontal e o diagrama de blocos, como ilustra a figura 3.15 e 3.16, respetivamente.

O Painel Frontal é a interface do utilizador, é construída por um conjunto de ferramentas com comandos (por ex.: botão *on/off*) e indicadores (gráficos ou *LED's*). Os comandos simulam os comandos de um instrumento real, a partir dos quais podemos interagir e os indicadores apresentam os dados gerados pelo sistema.

O Diagrama de Blocos é a interface do programador, onde está contido o código fonte gráfico, composto de nós, terminais e ligações que fará com que as aplicações desenvolvidas no painel frontal funcionem corretamente.

### Ferramentas

Os painéis de ferramentas estão disponíveis tanto no painel frontal como no diagrama de blocos, a partir do qual estão apresentadas as opções necessárias para criar e editar. No painel frontal está disponível a paleta de comandos “*Controls*” que contém os comandos e indicadores usados para criar apenas no painel frontal (figura 3.15). A paleta de funções “*Functions*” contém as funções para a construção lógica do sistema e está apenas disponível no diagrama de blocos (figura 3.16).

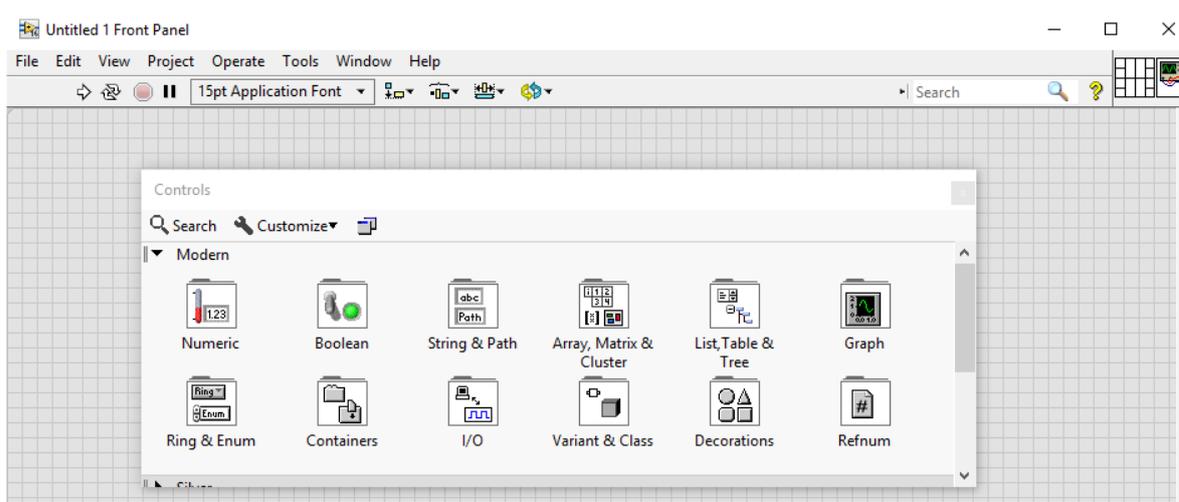


Figura 3.15 – Painel Frontal: “Controls”

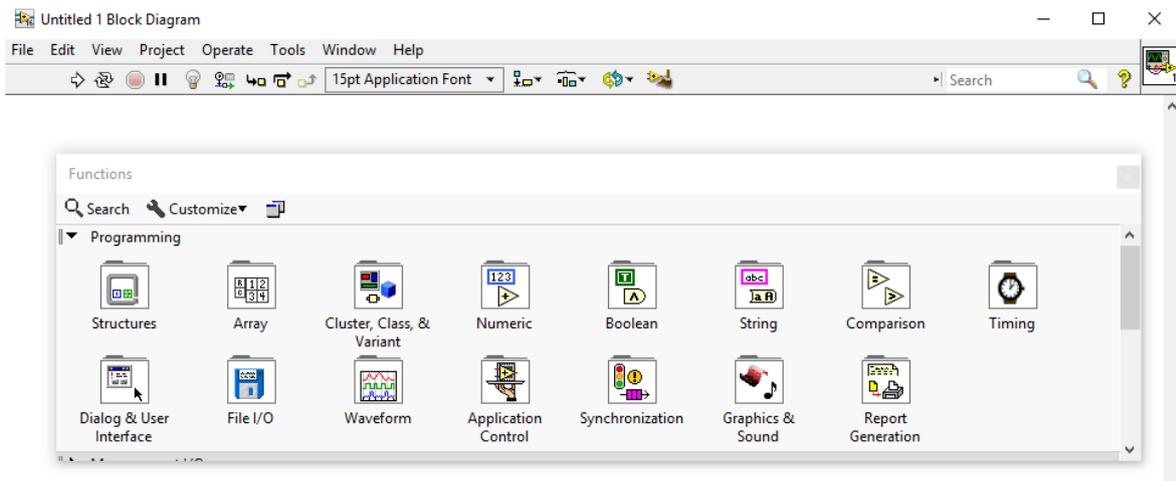


Figura 3.16 - Diagrama de blocos: "Functions"

Para uma melhor compreensão da utilização das ferramentas disponíveis e diferença entre o diagrama de blocos e painel frontal, é possível ver na figura 3.18, um VI criado com o objetivo de converter uma temperatura em Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) para Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) e Kelvin (K).

### Cores dos cabos de transmissão de dados

As ferramentas são ligadas através de cabos de transmissão de dados, criando uma rede. Cada cabo, pode conter tipos de informações distintas e para que sejam facilmente identificados têm cores diferentes, tal como ilustra a figura 3.17.

Refnums			floating point numerics
Variant			void/ broken
Error code cluster			string/ cluster
Integer numeric			numeric cluster /Analog waveform
Boolean/ Digital waveform			Express dynamic data type

Figura 3.17 - Cores dos cabos e sinal correspondente

## Exemplo básico de programação em LabView®

Este exemplo foi criado com o objetivo de realizar uma explicação básica do *software*. Tal como qualquer código escrito por um engenheiro informático num *software* comum de programação, em LabView® existem diversas formas para realizar o mesmo processo e as possíveis aplicações são bastante diversificadas.

O VI criado demonstra um processo simples de conversão de temperatura. O programa contém um controlador no painel frontal que permite que o utilizador insira um valor de temperatura (°C) que deseja converter, nomeadamente Fahrenheit (°F) e Kelvin (K). O valor convertido é apresentado de três formas (figura 3.18):

- simuladores de termómetros;
- forma numérica<sup>1</sup>;
- gráfico<sup>2</sup>.

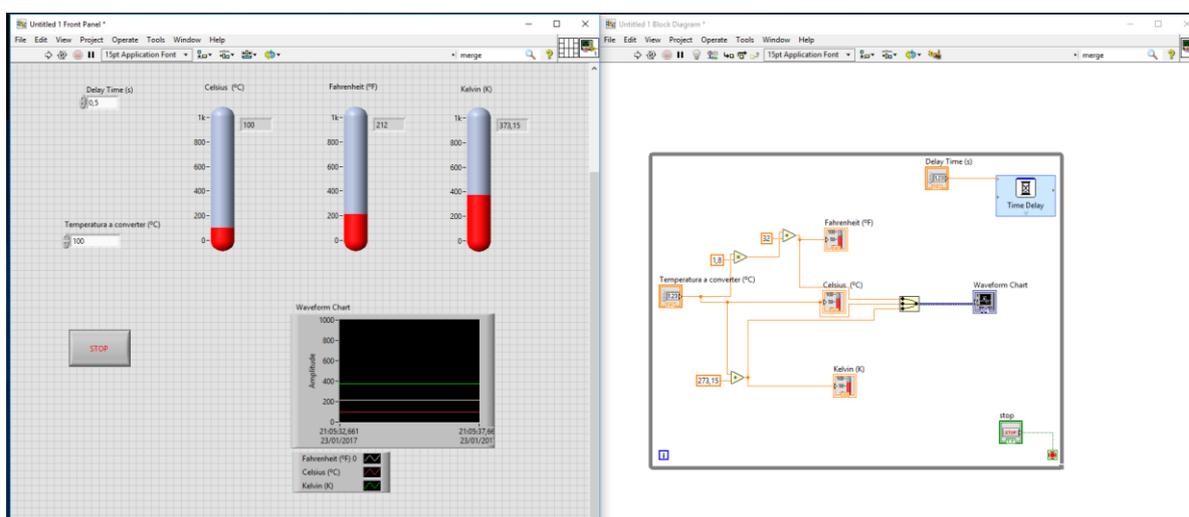


Figura 3.18 – Exemplo conversor: painel frontal e diagrama de blocos, respetivamente

As fórmulas para a conversão da temperatura em graus Celsius (°C), são as seguintes:

- Fahrenheit (°F):  
$$F = ^\circ C * 1,8 + 32$$
- Kelvin (K):  
$$K = ^\circ C + 273,15$$

<sup>1</sup> com precisão de duas casas decimais.

<sup>2</sup> para uma comparação da variação de temperatura entre cada unidade.

Para introduzir o valor em Celsius no painel frontal foi criado um controlador (figura 3.19), que permite escrever um valor diretamente ou clicar nas setas para aumentar esse valor ou diminuir.

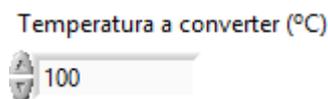


Figura 3.19 – Controlador para introduzir valor de temperatura (°C) a converter

Após inserir esse valor ele é automaticamente convertido em Kelvin (K) e Fahrenheit (°F). A conversão é feita em simultâneo com a representação gráfica e nos simuladores de termómetros que contêm um indicador digital com precisão de duas casas decimais (figura 3.20).

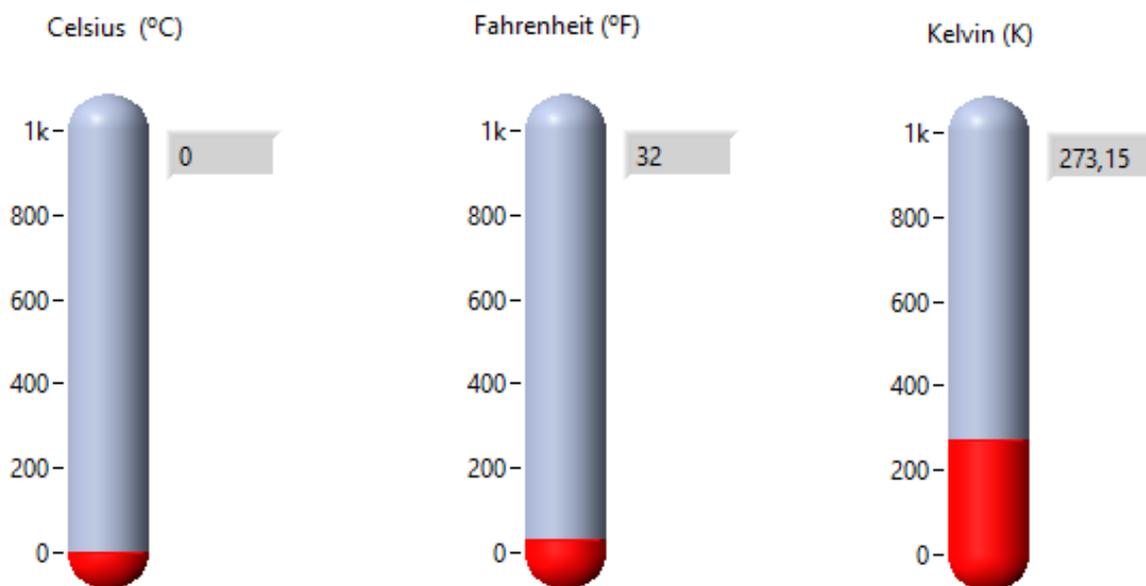


Figura 3.20 – Painel frontal: representação dos termómetros em Celsius (°C), Kelvin (K) e Fahrenheit (°F)

Para que todas estas ferramentas trabalhem é necessário que haja uma ligação entre elas, que é desenvolvida no diagrama de blocos, onde está contida toda a lógica do processo, através da utilização de representações gráficas de funções que controlam as figuras do painel frontal.

O controlador (figura 3.19) criado no painel frontal emite um sinal correspondente ao valor inserido. Esse sinal irá percorrer uma série de funções de modo a ser capaz de realizar as operações pretendidas. Numa primeira fase o sinal é dividido em três diferentes caminhos (figura 3.21), indo cada um dar origem a uma das três unidades de temperatura acima referidas. Para a representação da temperatura em Celsius (°C) o sinal não sofre qualquer alteração, uma vez que esse valor é definido pelo utilizador, enquanto que em Fahrenheit

(°F) e Kelvin (K), é aplicada a fórmula da respectiva conversão de unidade. Desta forma quando o sinal chega aos termómetros (figura 3.20), já foi previamente convertido.

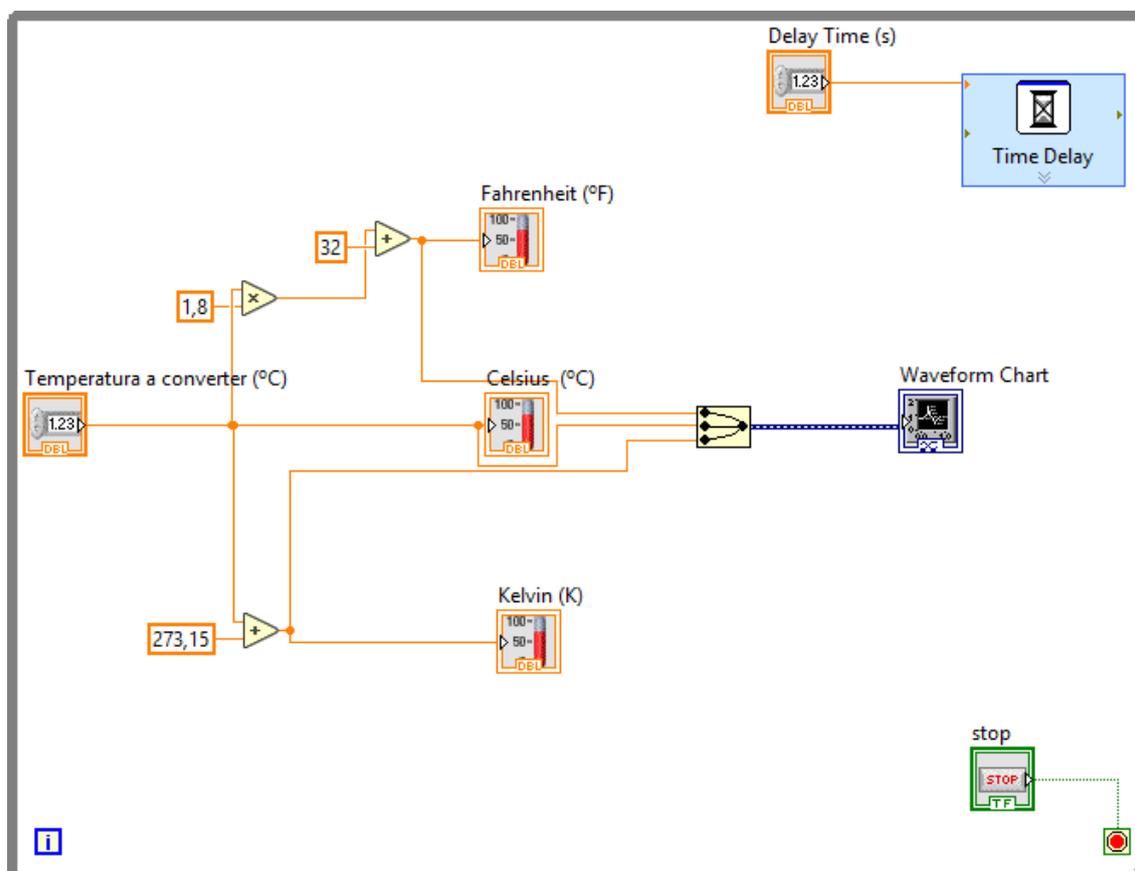


Figura 3.21 – Diagrama de Blocos: esquema conversor

Os vários sinais que chegam aos termómetros são também direcionados e unidos utilizando a ferramenta “*Merge Signals Function*”, que transforma a informação contida nos três, num só sinal que dará origem ao gráfico que contém as três variáveis (figura 3.22).

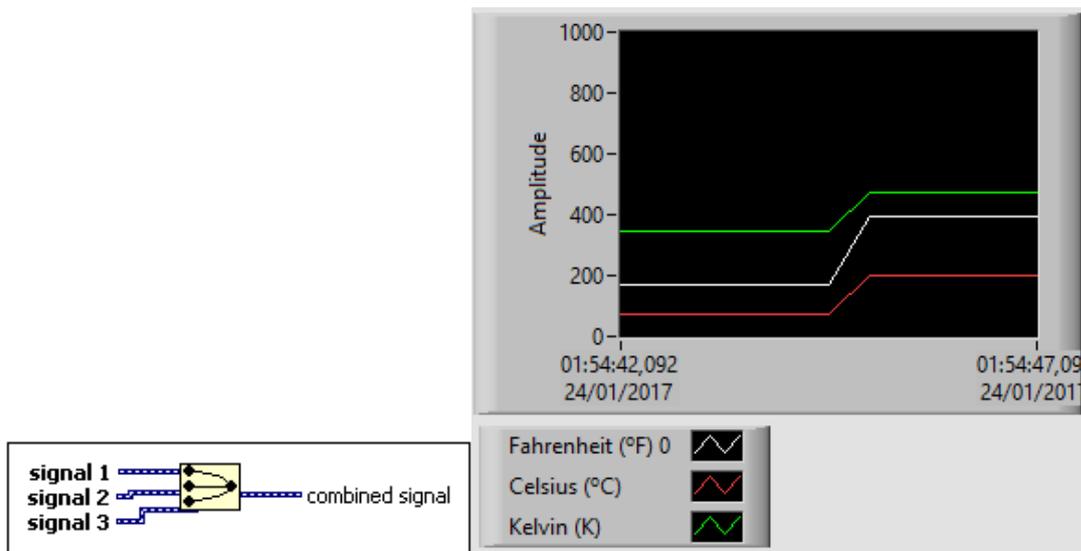


Figura 3.22 - “Merge Signals Function” e gráfico, respetivamente

Para iniciar o programa é necessário clicar no botão “Run” , presente na barra de ferramentas, desta forma o programa executa o processo previamente definido. Dependendo do projeto, algumas operações podem ser executadas com frequência, para tal é possível criar um ciclo para executar essa operação de forma repetitiva utilizando a ferramenta “loop”. Existem diferentes tipos desta estrutura, neste exemplo é utilizado um “While Loop” que repete o procedimento sempre, até que seja ordenada o contrário, como por exemplo, através do atalho “Abort Execution”  ou criando botões com a função específica de parar o processo (figura 3.23).

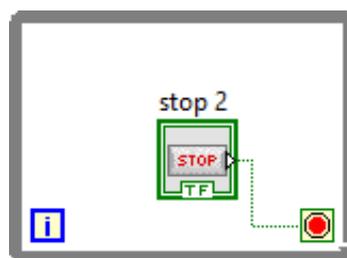


Figura 3.23 – “STOP button” - estrutura “while Loop”

“Iteration Terminal  —Provides the current loop iteration count. The loop count always starts at zero for the first iteration.”

A ferramenta “Time Delay” (figura 3.21) é utilizada para determinar o intervalo de tempo em que o ciclo se inicia novamente. A utilização desta ferramenta torna-se mais útil quando o sinal deriva de um instrumento físico. Desta forma, determina a frequência com que amostras do aparelho são recolhidas, como por exemplo, a temperatura.

## 4. Criação de um projeto em LabView

Neste projeto foram previamente definidas as variáveis que deveriam ser implementadas na programação em LabView, tais como:

- medição da temperatura - 3 transdutores Pt100
- medição da pressão - transdutor de pressão
- medição do caudal – caudalímetro de massa térmico
- a representação dos valores:
  - gráficos;
  - indicador numérico;
  - simuladores de termómetros (Pt100);
  - manómetro analógico (transdutor de pressão e caudalímetro);
- arquivar automaticamente os dados registados, num ficheiro em formato Excel®.

### Processo de comunicação

Uma vez que o material utilizado é de outro fabricante, a conexão entre *software* e equipamento não está predefinida. Foi então necessário utilizar um protocolo de comunicação de dados, chamado “Protocolo *Modbus*”<sup>1</sup>. No *site* da National Instruments® é possível fazer o *download* de tutoriais e trabalhos onde é implementado este protocolo. Estão também disponíveis *templates* de *Vis* onde esta comunicação está previamente implementada. O protocolo *Modbus* é um modelo de comunicação do tipo “*master-slave*” (mestre – escravo), onde o escravo apenas inicia a comunicação após ela ser requisitada pelo mestre. Por exemplo, o programa em LabView® (mestre) envia mensagens solicitando à placa de aquisição de dados (escravo) que envie os dados lidos pelos instrumentos (por exemplo transdutor de pressão). É também possível que o mestre envie sinais a serem utilizados nas saídas digitais para o controle de atuadores.

Como é referido anteriormente, para a implementação do protocolo *Modbus* foi utilizada uma *template* com o nome “*Modbus TCP IP*”. Para que funcione corretamente é necessário fornecer alguma informação, como o IP do hardware<sup>2</sup> utilizado e porta de comunicação com o número 502<sup>3</sup>.

De seguida é especificado o sinal pretendido de saída, com os registos armazenados pelo *hardware*, que posteriormente, são ligados a “*Index Array Function*” que disponibiliza os dados em forma de uma tabela ou matriz.

Para obter apenas o sinal de um transdutor em específico, por exemplo da medição de temperatura, é definido na “*Index Array Function*” o canal de entrada a que o transdutor está ligado, definido através de uma constante, que representa o canal de entrada do aparelho

---

<sup>1</sup> Protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de aquisição de dados.

<sup>2</sup> previamente definido no PACTware.

<sup>3</sup> 502 - número que identifica o Protocolo Modbus.

pretendido. A contagem do número de canais inicia-se sempre no zero, ou seja (n-1), se o transdutor for conectado no primeiro canal do *daq hardware* corresponderá ao zero (0) no software, ligado ao segundo corresponde ao um e assim sucessivamente.

A informação acima referida é representada esquematicamente pela seguinte figura 4.1. Este processo é repetido para todos os transdutores identificando respectivamente o canal de entrada de cada um.

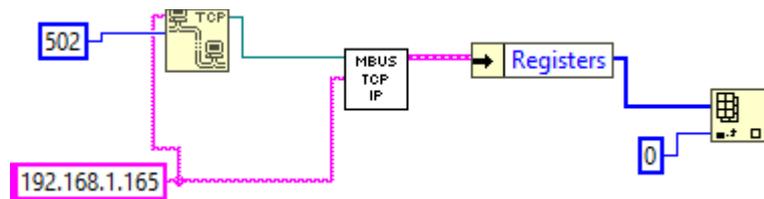


Figura 4.1 – Comunicação estabelecida no software LabView®

### Conversões de unidade

Como é referido no capítulo 2, os transdutores convertem um sinal físico num correspondente sinal elétrico em tensão ou corrente, mas interessa saber esse valor em função da respetiva unidade de medida, como Celsius ou bar. Ao receber o sinal elétrico, o *hardware* converte-o e envia os dados em formato digital através de um número inteiro.

### Temperatura

No caso das sondas de temperatura, o *hardware* está configurado para receber o sinal em tensão (mV) e a conversão a aplicar ao sinal recebido é simples, uma vez que o valor de entrada corresponde a um número dez vezes superior ao valor real de temperatura em Celsius (°C). A conversão é realizada através da informação presente na tabela 4.1, mas seria possível deduzir este cálculo através da comparação entre valor apresentado no PACTware®, ligado em simultâneo com o LabView®. Neste programa a conversão já está predefinida para graus Celsius (°C).

Tabela 4.1 - Conversão de um valor decimal para (°C) - Pág. 6.67 – BL20 IO manual

measurement range, Pt-200...850 °C	transmitted value
temperature $T_M = (\text{dec. Value} * 0,1) \text{ °C}$	

Deste modo, ao dividir por dez o sinal recebido obtemos o valor da temperatura em graus Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ) (figura 4.2).

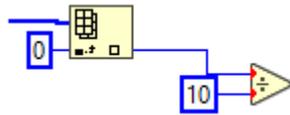


Figura 4.2 – Processo de conversão da temperatura no *software* LabView®

## Pressão

Para obter o valor de pressão (bar), a conversão é feita em dois passos. Neste caso o hardware está configurado para receber um sinal em corrente (mA) e a sua representação deverá ser feita por um valor decimal entre [0 e 32767]. É necessário que a conversão seja feita inicialmente para (mA) e posteriormente para (bar), uma vez que o transdutor de pressão trabalha também em depressão, logo, poderá registar valores negativos de pressão.

A gama de valores medidos pelo transdutor de pressão varia entre [-1 e 1 bar]. Quando o valor da pressão é zero (pressão atmosférica) é enviado um sinal de (4 mA), o que significa que os valores negativos estão compreendidos entre [0 e 4 mA] e os valores positivos de pressão entre [4 e 20 mA]. A partir desta informação é possível saber que a escala de conversão para os valores negativos será diferente da dos positivos, apresentando uma sensibilidade mais elevada na gama de valores positivos (figura 4.3). De forma a compreender esta relação, foi utilizado o Excel® para calcular a equação da reta a partir de um gráfico que relaciona os valores negativos (figura 4.4) e positivos (figura 4.5).

Na figura 4.3 é possível ver que zero (0) bar é representado pelo valor (6553,4), ou seja, 4mA.

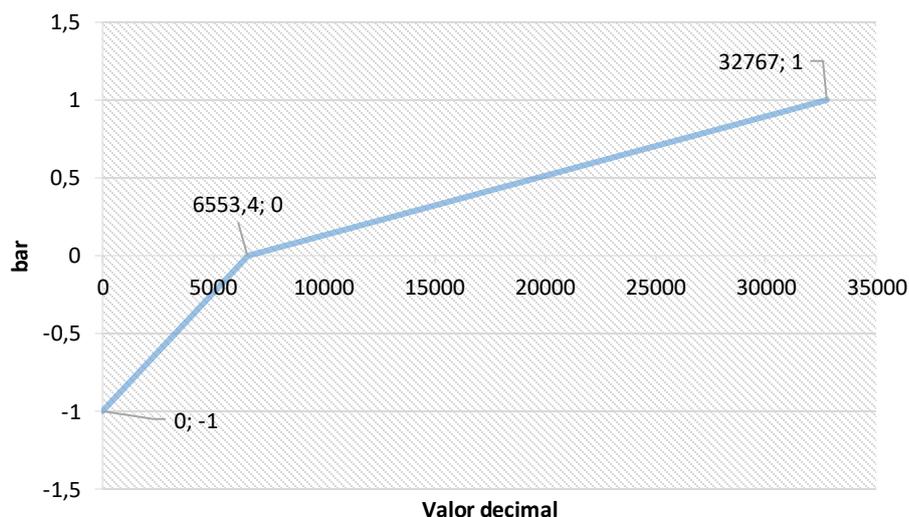


Figura 4.3 - Relação entre (bar) e valor decimal.

A partir desta informação é possível ver que o intervalo negativo [-1 a 0 bar] corresponde ao intervalo entre [0 e 6553,4] em valor decimal, enquanto os positivos [0 a 1 bar] estão compreendidos entre [6553,4 e 32767]. Uma vez que a reta não é linear em toda a extensão da medida, foram criadas duas equações. Uma para a conversão dos valores negativos e outra para os positivos.

A conversão do valor decimal para um sinal em corrente (mA) é dada pela seguinte expressão:

$$(mA) = valor\ decimal * \frac{\Delta\ mA}{\Delta\ valor\ decimal}$$

$$\Delta\ mA = 20 - 0 = 20$$

$$\Delta\ valor\ decimal = 32776 - 0 = 32776$$

Tabela 4.2 - Conversão de um valor decimal para (mA) - Pág. 6.56 – BL20 IO manual

0...20 mA	transmitted value
currente value $I_M = (\text{dec. Value} * 6.104 * 10^{-4})$ mA	

Após saber o valor do sinal em corrente (mA), este é convertido para bar através da equação da reta da figura 4.4 e 4.5.

Caso o valor seja negativo, (entre 0 e 4mA) é aplicada a seguinte fórmula:

$$\text{Pressão negativa (bar)} = 0,25 * \text{valor (mA)} - 1$$

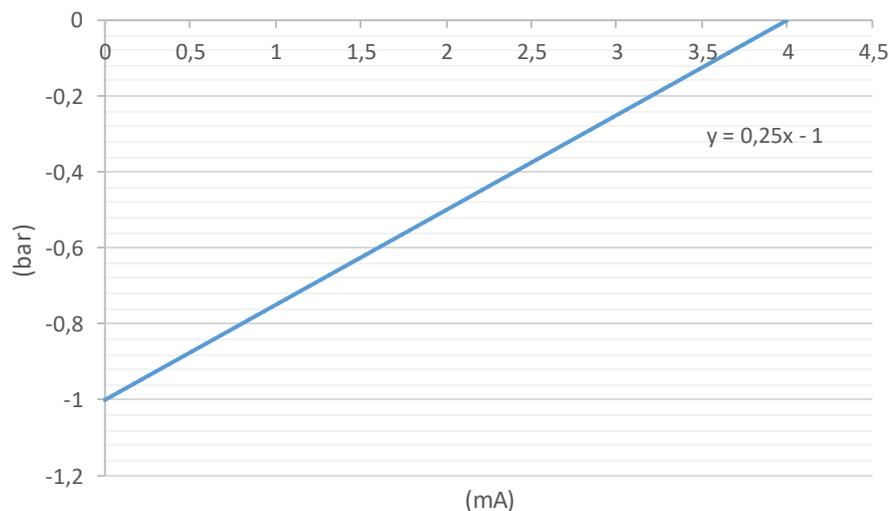


Figura 4.4– Relação (bar vs. mA) – valores negativos

Se o valor for positivo, (entre 4 e 20 mA), o calculo efetuado é o seguinte:

$$\text{Pressão positiva (bar)} = 0,0625 * \text{valor (mA)} - 0,25$$

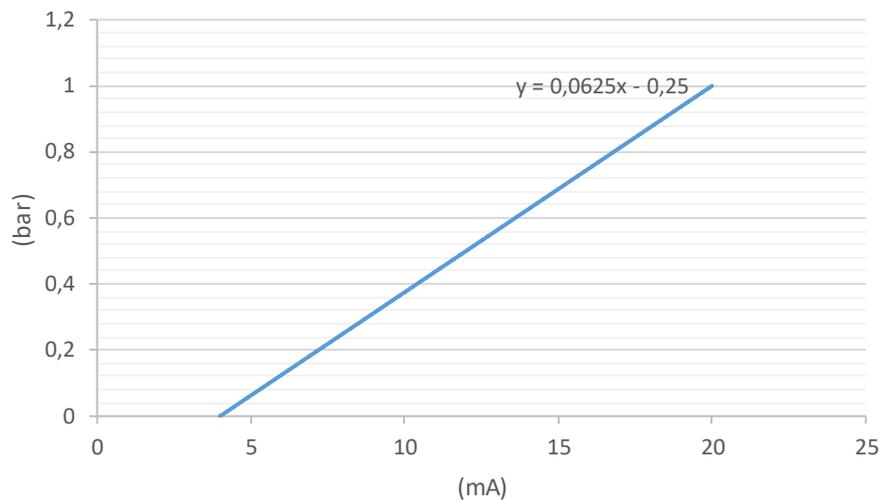


Figura 4.5 - Relação (bar vs. mA) – valores positivos

A figura 4.6 representa o processo de conversão acima referido.

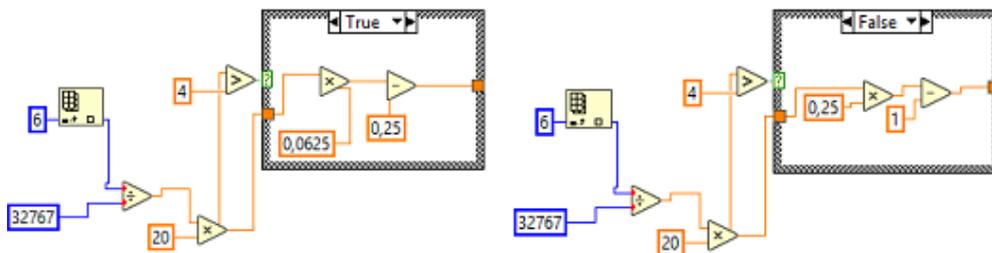


Figura 4.6 - Conversão dos valores de pressão (bar) utilizando "Case structure" (true or false)

Utilizando qualquer um dos exemplos acima ilustrados, o processo inicia-se pelo lado esquerdo. O sinal proveniente de uma matriz (valor decimal), é convertido para mA, depois é utilizada uma "case structure". Esta ferramenta assemelha-se à Função *IF*, comumente utilizada noutros programas, que tem a função de fazer comparações lógicas entre um valor e outro já previamente definido. Neste caso, a condição imposta é que o sinal de entrada seja superior a 4, se for verdade é feita a conversão dos valores positivos [0 a 1 bar], se for falso

significa que o sistema está a medir uma depressão e é feita a conversão dos valores negativos [-1 a 0 bar].

Desta forma tem-se disponível a representação dos valores de pressão entre [-1 e 1 bar].

### Caudal

Tal como os outros transdutores, o sinal enviado para o computador pelo caudalímetro é recebido sob a forma de um valor decimal entre [0 e 32767], que deverá ser convertido para um sinal em corrente (mA) através da equação anteriormente utilizada na conversão do sinal do transdutor de pressão:

$$(mA) = valor\ decimal * \frac{\Delta\ mA}{\Delta\ valor\ decimal}$$

Quando o sistema está em repouso e não existe circulação de ar, o valor apresentado em corrente deverá ser de 4 mA, sendo que, acima deste valor, significa que existe circulação de ar do exterior para o gaseificador. Caso seja inferior, indica que a circulação de ar ocorre no sentido oposto. É especificado pelo fabricante que o caudalímetro tem capacidade de medição numa gama de valores entre [-150 e 500 L/min]. Ao contrário do transdutor de pressão, a relação entre o sinal em corrente e a unidade de medida é bastante linear, tal como se pode verificar através figura 4.7.

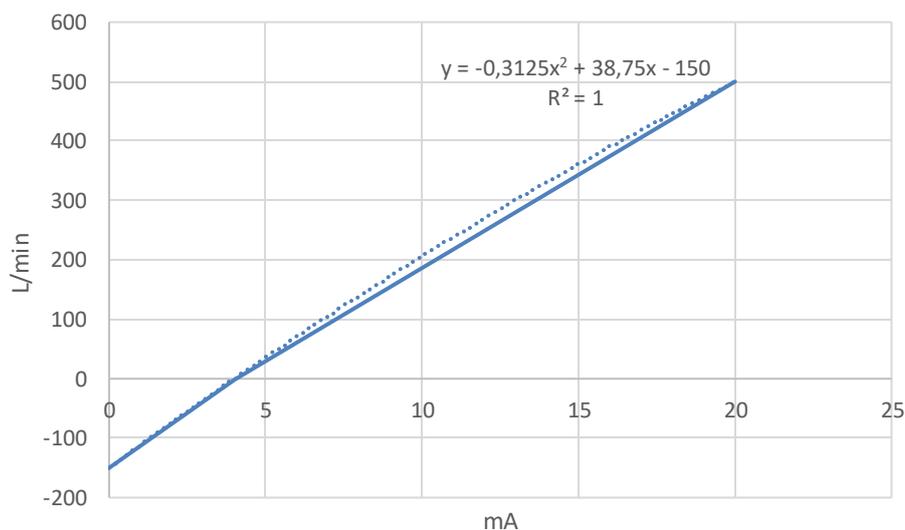


Figura 4.7 – Relação entre (L/min) e sinal em corrente (mA)

Após conhecer o respetivo valor em corrente, este é convertido (L/min) através da seguinte equação:

$$L/min = -0,3125(mA)^2 + 38,75(mA) -150$$

Sendo aplicada no software LabView® (figura 4.8) da seguinte forma:

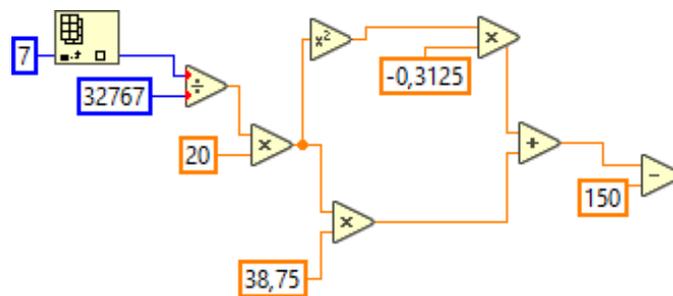


Figura 4.8 – Conversão dos valores medidos pelo caudalímetro para (L/min)

### Representação do sinal

Após ser convertido, o sinal segue quatro caminhos distintos, representação gráfica, numérica, estrutura distinta em função da variável a medir e também segue para um “Collector Express VI” (figura 4.9).

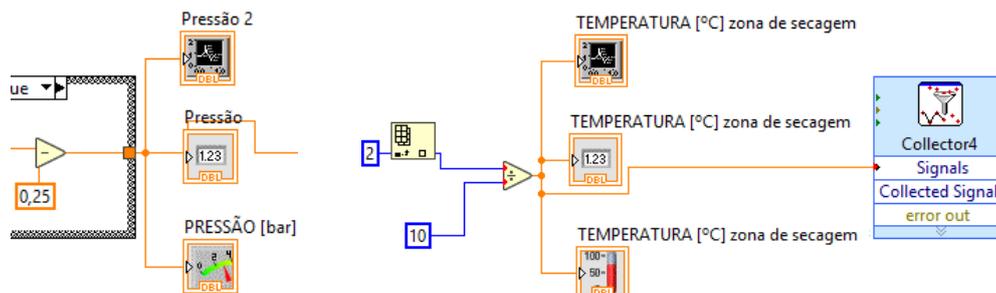


Figura 4.9 - Ferramentas utilizadas para representação dos sinais de pressão e temperatura, respetivamente.

No painel frontal (figura 4.10) são representados os três indicadores criados no diagrama de blocos (figura 4.9).

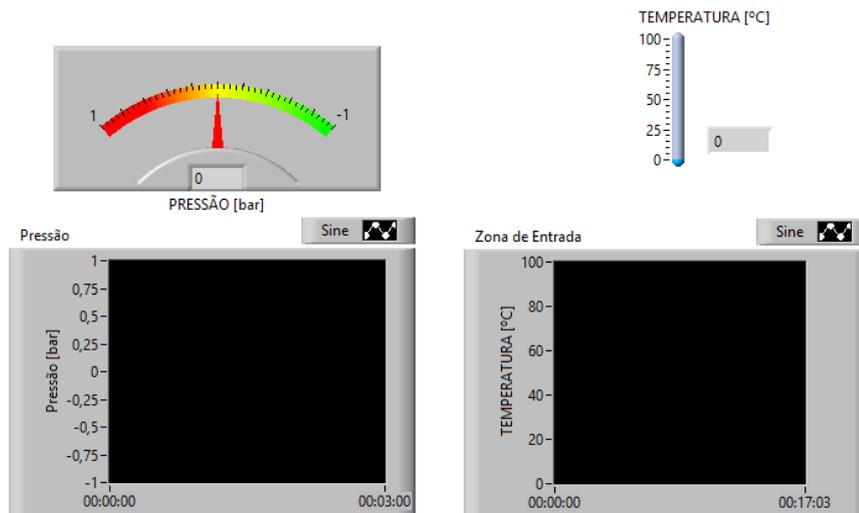


Figura 4.10 –Indicadores de pressão e temperatura, respetivamente. (painel frontal)

### Collector Express VI

A função desta ferramenta é coletar os sinais recebidos até um determinado número máximo especificado de amostras por canal, por exemplo 1000 amostra. Após a recolha esta ferramenta devolve os dados mais recentes que são utilizados para o estudo estatístico, calculando posteriormente a média e o desvio padrão (figura 4.11).

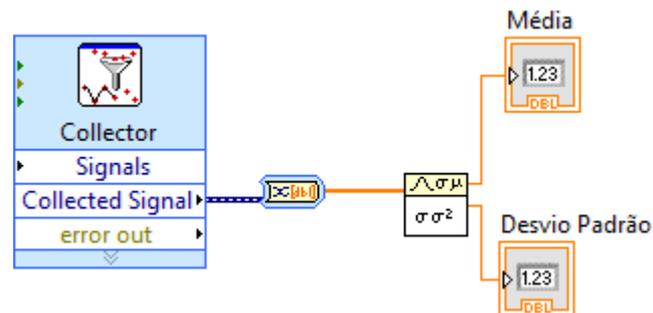


Figura 4.11 - Ferramentas utilizadas para recolha e tratamento estatístico dos dados

Como é referido no capítulo 3, o tipo de dados contido em determinado sinal é representado por uma cor. Para a ferramenta “*standard deviation and variance*” ser utilizada o sinal de entrada deve ser convertido através de “*Convert from dynamic data express*”, que desta forma converte os dados dinâmicos para numéricos. Após a conversão, é apenas necessário utilizar dois indicadores, para que seja visível no painel frontal, onde é representado o cálculo da média e desvio padrão efetuados automaticamente pela ferramenta “*standard deviation and variance*”.

## Indicador de tempo de funcionamento do programa

Na execução do programa é utilizada uma estrutura “*while loop*”, que inicia o ciclo repetidamente até que seja ordenado o contrário. Anteriormente foi referido que se pode utilizar um botão “stop”, mas também é possível criar uma solução para que o programa funcione apenas num intervalo de tempo ou até recolher um determinado número de amostra. Para que seja possível, é criado um indicador no painel frontal onde se pode introduzir manualmente o número de amostras pretendidas. Ao definir o número de amostras e a frequência com que são recolhidas é calculado o tempo necessário até que o processo termine. É também possível fazer o processo inverso, inserindo o tempo de funcionamento e frequência de recolha é calculado o número de amostras que iremos obter.

Na figura 4.12, são representados dois controladores através dos quais é possível definir o número de amostras a recolher para cada sinal enviado pelos transdutores e outro para inserir o tempo de recolha entre cada amostra. Após estes valores serem introduzidos é automaticamente calculado o tempo de espera ou de funcionamento em segundos (s), minutos (min) e horas (h).



Figura 4.12 – Painel frontal: inputs para definir o número de ciclos e intervalo de tempo. Cálculo automático do tempo de funcionamento.

O contador é utilizado para contar o número de vezes que o ciclo é realizado. É importante referir que a contagem do processo se inicia sempre em zero e a primeira amostra é recolhida aos zero segundos.

É definido no programa que, quando o valor apresentado pelo contador for igual ao número de amostra que é predefinido no painel frontal, o programa deve parar e gravar automaticamente o ficheiro. É possível travar o processo antes de recolher todas as amostras através do botão “stop”. Após ser ordenada a interrupção do programa os registos são gravados num ficheiro em Excel®, utilizando qualquer dos métodos atrás referidos.

O tempo de espera é calculado em função dos valores inseridos para o número de ciclos e intervalo entre cada amostra. A multiplicação direta indica o tempo de espera em segundos, que é posteriormente convertido para minutos e horas (figura 4.13).

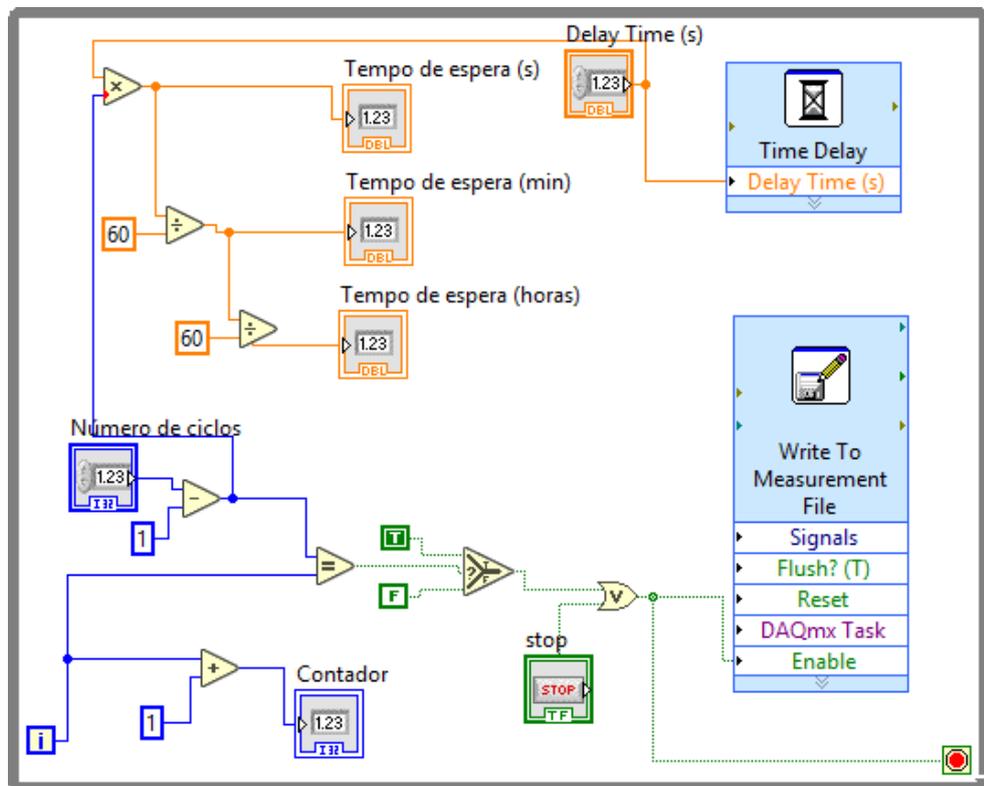


Figura 4.13 – Diagrama de Blocos: número de ciclos e *time delay*

### Gravação automática de dados em ficheiro Excel

Para posterior análise dos valores medidos é necessário que o programa grave os dados representados num ficheiro de texto ou no Excel®. Tal como qualquer outro programa desenvolvido em LabView®, existem enúmeras formas para efetuar este processo.

Neste projeto foi criada uma estrutura para que, sempre que é forçada a paragem do programa ou termina o tempo estipulado para o seu funcionamento, se faça uma gravação dos valores medidos. Para tal foram utilizadas as ferramentas da figura 4.14, que representa este processo acima referido. Os sinais de todos os sensores utilizados ou outros *inputs* que devem estar escritos no ficheiro em Excel®, são unidos, utilizando a ferramenta “Merge Signals Function”. Desta forma existe apenas um sinal contendo toda a informação que irá percorrer o restante percurso.

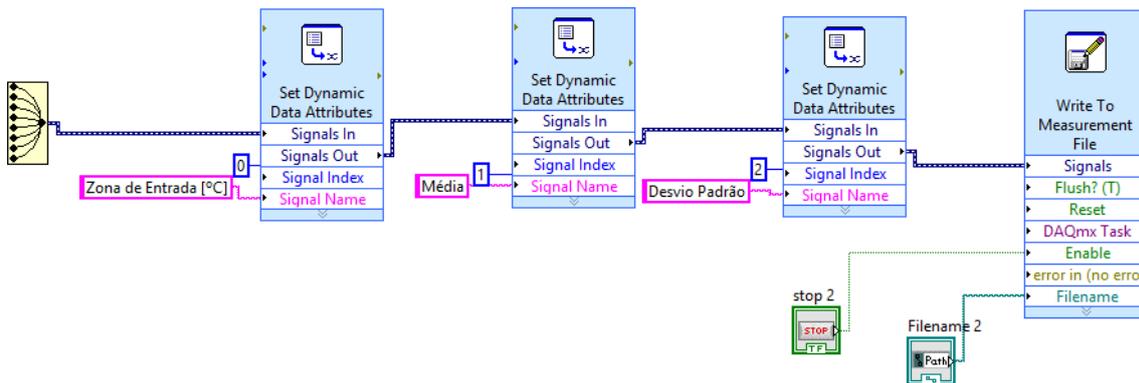


Figura 4.14 – Diagrama de blocos: processo para gravar ficheiro em Excel®

Para gravar o ficheiro foi utilizada a ferramenta “*Write To Measurement File Express VI*” que tem capacidade de escrever os dados nos seguintes formatos: texto (.lvm), binário (.tdm or .tdms), ou ficheiro em Microsoft Excel® (.xlsx). A gravação ocorre quando é dada alguma informação para que tal ocorra. Neste exemplo é utilizado o botão “STOP” que além de interromper o ciclo do programa dá informação para que seja gravado. Foi criado um controlador (figura 4.15) através do qual é possível escrever o nome pretendido para o ficheiro bem como o local a ser armazenado, sendo apresentado no painel frontal.

Esta ferramenta também tem a capacidade de escrever a data de recolha de cada sinal.

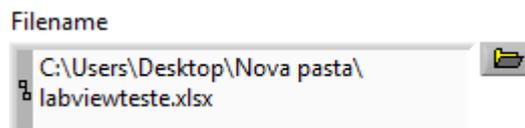


Figura 4.15 – Painel frontal: Filename – caixa de texto para selecionar o local a armazenar e nome do ficheiro

Uma vez que o formato pretendido é em Excel®, torna-se necessário configurar a forma como o documento vai ser escrito, ou seja, devem ser indicadas as colunas onde cada sinal será registado. Para tal é usada a ferramenta “*Set Dynamic Data Attributes*”, composta por várias entradas possíveis, entre as quais o nome do sinal a ser registado bem como a sua posição na folha de Excel®. Utilizando o exemplo da figura 4.14, é possível ver que na primeira coluna serão apresentados os dados da temperatura da zona de entrada (°C), na segunda a média e terceira o desvio padrão do sinal anterior e assim sucessivamente para todos os valores medidos, na figura 4.16 é apresentado um ficheiro em Excel® que ilustra o resultado final.

Como *output* desta ferramenta sai o sinal que regista a informação vinda anteriormente e passa para a seguinte até chegarem “*Write To Measurement File Express VI*”.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	TEMPERATURA [°C] ar Média	Desvio Pa	CAUDAL D Média 1	Desvio Pa	TEMPERATURA [°C] zona de secagem	Média 2	Desvio Pa	PRESSÃO	Média 3	Desvio Pa	TEMPERATURA [°C] zona de oxidação		
2	161,5	176,7577	28,28787	50,74004	35,70169	35,70169	133	89,05914	19,50597	0,004906	0,008829	0,143973	297
3	161,5			48,99086			133			0,004601			295,6
4	161,5			50,82638			132,9			0,004448			295,3
5	161,5			54,38464			132,9			0,005211			294
6	161,5			50,22192			132,7			0,005478			292,9
7	161,5			52,94053			132,5			0,005554			291,8
8	161,5			49,74687			132,2			0,005402			290,1
9	161,5			51,68957			132			0,00502			289,2
10	161,6			51,32276			132			0,005478			288,5
11	161,6			50,91271			132,2			0,005325			286,7
12	161,7			50,69687			132,2			0,005364			285,3
13	161,7			51,68957			132,2			0,005821			284,3
14	161,8			51,19328			132,1			0,005249			283,7
15	161,8			50,481			131,9			0,005936			282,3
16	161,9			52,81116			131,7			0,004944			281,6
17	162			45,20656			131,6			0,005287			280,6
18	162			52,76803			131,4			0,005593			279,7
19	162,1			50,76162			131,1			0,005058			278,2
20	162,1			50,04919			130,9			0,004982			277,5
21	162,1			50,89113			130,6			0,005135			276,4
22	162			50,39464			130,3			0,005478			275,4
23	162			51,04221			130,1			0,005135			274,7
24	161,9			52,14259			129,9			0,005058			273,7
25	161,9			50,02759			129,7			0,005516			273,1
26	161,9			51,9916			129,4			0,005402			272,3
27	162			51,84059			129,2			0,005325			271,4
28	162			49,55249			129,2			0,00441			270,5
29	162,1			50,50259			129,2			0,004486			269,1
30	162,1			50,15715			129,1			0,005325			268,6
31	162,2			51,36592			129,1			0,005135			267,6
32	162,3			53,78126			129,1			0,005554			267,1
33	162,4			51,47381			129,2			0,005821			266,1
34	162,5			54,94475			129,3			0,005287			264,9
35	162,5			51,23644			129,4			0,005669			264,1
36	162,6			52,61708			129,4			0,005745			263,1
37	162,7			52,09945			129,2			0,005287			262,6
38	162,7			54,51391			129			0,00544			261,8

Figura 4.16 – Apresentação do ficheiro em Excel criado em LabView®

Como resultado final da programação em LabView®, são apresentadas nas figuras 4.17 e 4.18, o projeto criado através do painel frontal e diagrama de blocos, respetivamente.

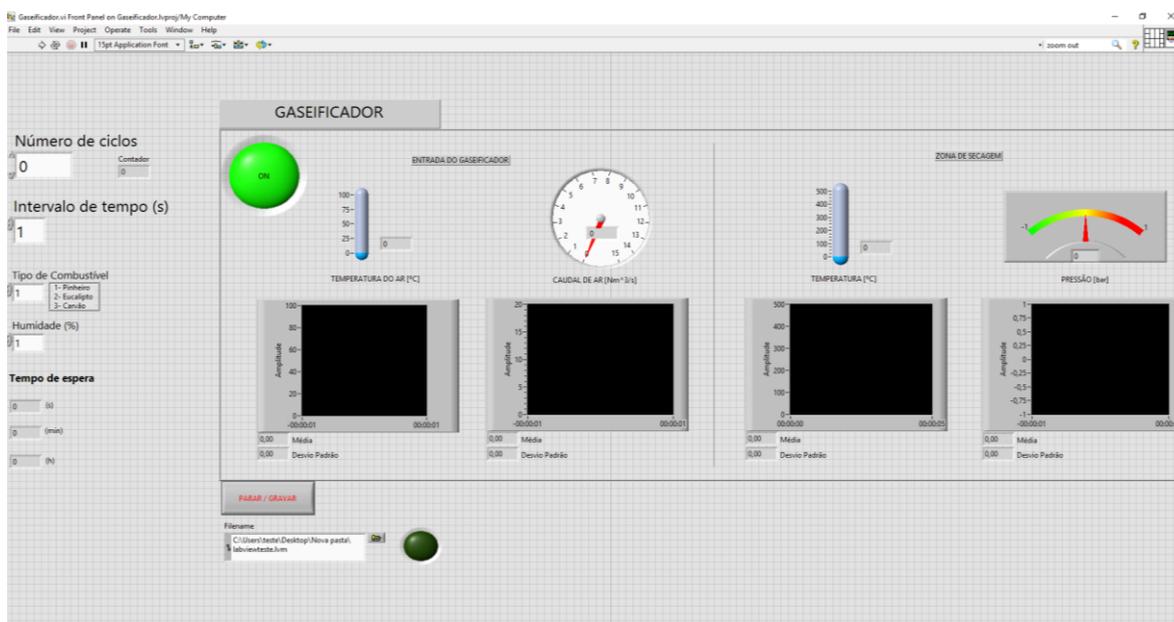


Figura 4.17 – Projeto criado em LabView® – painel frontal

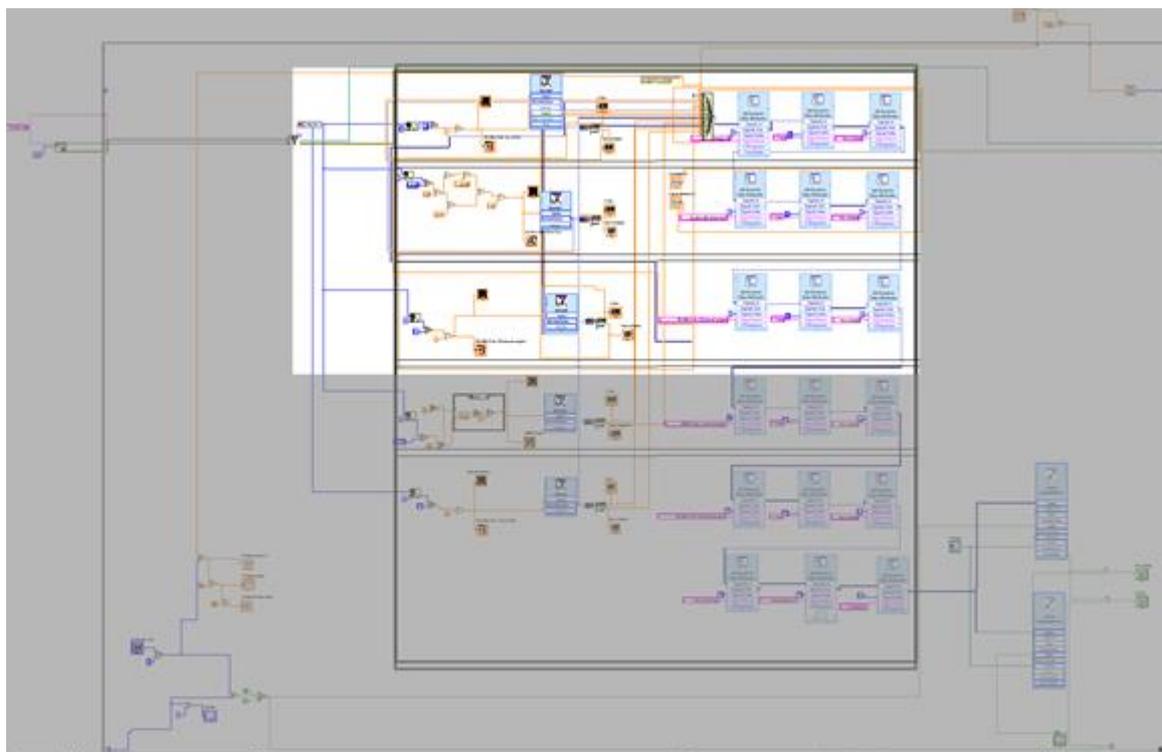


Figura 4.18 – Projeto criado em LabView® – diagrama de blocos

## 5. Calibração dos transdutores

Fatores como tempo de utilização, temperatura, humidade e exposição ao meio ambiente podem afetar a precisão das medições. A calibração quantifica a incerteza da medição comparando os valores medidos com valores padrão previamente conhecidos. Para assegurar precisão nas medições, os equipamentos utilizados devem ser calibrados periodicamente. A calibração é necessária para se alcançar uma maior exatidão. Pode-se optar por diferentes sistemas de calibração, cada um com um grau diferente de precisão.

Métodos de calibração de *hardware* por meio de *software* utiliza conversores D/A para compensação, cancelando tensões e erros de ganho antes da conversão A/D acontecer. Alternativamente, podem ser aplicadas constantes de correção de *software* aos dados digitais depois da conversão A/D, com base na calibração previamente estabelecida.

Se se calibrar o sistema por canal, as correções também podem cobrir variações de canal para canal. Para sistemas que funcionam em ambientes com temperatura variável, as técnicas de autoajuste podem cancelar os efeitos indesejados dos compensadores originalmente afetados pelo ambiente.

### Calibração realizada no laboratório ADAI e DEM

Apesar dos instrumentos adquiridos serem previamente calibrados pelo fabricante, foi realizado este ensaio no laboratório para confirmar se os valores lidos no *software* criado para este projeto estariam corretos. Foi utilizado um calibrador de pressão (Druck® – DPI 603) (figura 5.1) para calibrar o transdutor de pressão e para as sondas Pt100 foi usado um Banho Térmico (figura 5.2) com o auxílio de um termómetro de álcool.



Figura 5.1 - Calibrador de pressão (Druck – DPI 603)



Figura 5.2 – Banho térmico

Em ambos os casos foram realizadas medições para várias gamas, com regulação de temperatura e pressão e registados em simultâneo os valores apresentados no LabView® e no equipamento de calibração (valor padrão), referidos nas tabelas 5.1, 5.3 e 5.5.

Para que fosse possível compreender a discrepância entre valores e aplicar a devida correção, após o registo foi calculado em Excel® a equação da reta através do método dos mínimos quadrados:

$$m = \frac{N \cdot \sum (x_i y_i) - \sum x_i \cdot \sum y_i}{N \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \cdot \sum y_i - \sum x_i \cdot \sum (x_i y_i)}{N \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Este cálculo é apresentado nas tabelas 5.2, 5.4 e 5.6.

Tal como é referido no capítulo 4, a escala para a conversão dos valores de pressão negativos e positivos é distinta, então a calibração foi realizada separadamente, ou seja, foram calculadas duas equações distintas, para a calibração do transdutor de pressão.

### Calibração da pressão (positiva)

Através dos registos apresentados na tabela 5.1 e figura 5.3 é possível verificar que os valores apresentados no *software* LabView® estão muito próximos dos valores padrão, tendo um erro associado próximo de apenas 1 mbar.

Tabela 5.1 – Valores de pressão padrão e LabView® (bar)

Padrão (xi)	LabView (yi)
0,000	0,000
0,040	0,041
0,161	0,163
0,199	0,200
0,273	0,273
0,328	0,328
0,433	0,434
0,503	0,504
0,541	0,541
0,641	0,642
0,856	0,858
0,976	0,978
0,900	0,901
0,745	0,746
0,568	0,569
0,416	0,416
0,322	0,323
0,174	0,174
0,117	0,117
0,090	0,090
0,058	0,058
0,000	0,000

Tabela 5.2 – Cálculo para equação da reta

$\Sigma(xi)$	$\Sigma(yi)$	$\Sigma(xi^2)$	$\Sigma(xi*yi)$	m	b
8,341	8,356	5,098	5,107	1,0014	0,0002

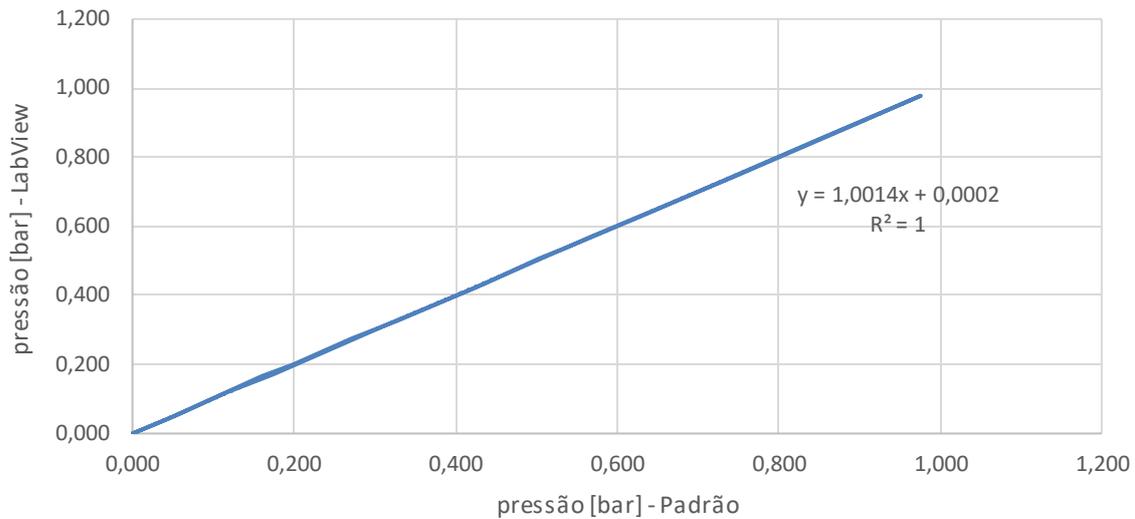


Figura 5.3 – comparação entre sensor de pressão Turck® e padrão

### Calibração da pressão (negativa)

Na medição de depressão foi possível verificar que o transdutor de pressão satura por volta dos -0,13 bar, não tendo capacidade de representar valores inferiores a este através do software, erro que também se verifica através do software disponibilizado pelo fabricante. Porém, este erro apenas se verifica no software. O transdutor de pressão está equipado com um mostrador digital, o qual não está sujeito a este erro, tendo a capacidade de representação até -1 bar.

Como tal, a equação utilizada para a conversão destes valores tem um maior erro associado em relação aos valores positivos. Assim sendo, é recomendável que na utilização do software LabView se tenha em atenção esta situação e que sejam apenas considerados os resultados para detetar se o sistema está a trabalhar em depressão.

Tabela 5.3 - Valores de pressão padrão e LabView® (bar)

Padrão (xi)	LabView (yi)
0,000	0,000
-0,010	-0,035
-0,030	-0,105
-0,052	-0,130
-0,061	-0,130
-0,071	-0,130

Tabela 5.4- Cálculo para equação da reta

$\Sigma(xi)$	$\Sigma(yi)$	$\Sigma(xi^2)$	$\Sigma(xi*yi)$	m	b
-0,224	-0,530	0,012	0,027	1,860	-0,019

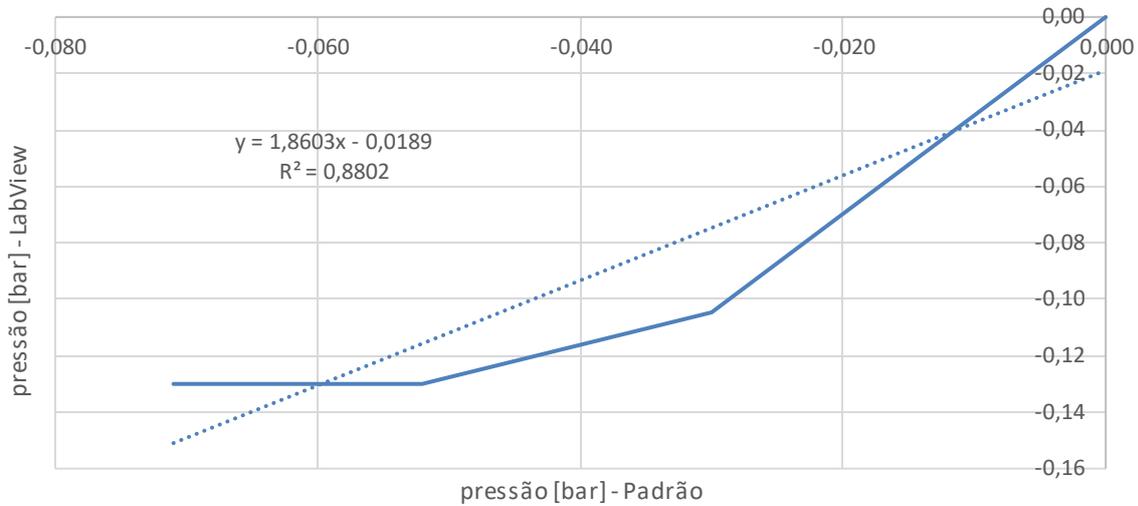


Figura 5.4 - Comparação entre sensor de pressão Turck® e padrão

### Calibração sondas Pt100

Foi utilizado um banho térmico para calibrar três sondas Pt100. Uma vez que o valor medido pelas sondas é igual entre elas, apenas foi registado um valor para cada variação de temperatura apresentado no LabView®. Foi possível verificar que as três sondas apresentam no *software* um valor constante superior em 2 °C ao padrão.

Tabela 5.5 - Valores padrão e LabView (temperatura °C)

Padrão (xi)	LabView (yi)
19,0	21,0
25,0	27,0
30,0	32,0
37,2	39,2
44,7	46,7

Tabela 5.6 - Cálculo para equação da reta

$\Sigma(xi)$	$\Sigma(yi)$	$\Sigma(xi^2)$	$\Sigma(xi*yi)$	m	b
155,90	165,90	5267,93	5579,73	1	2

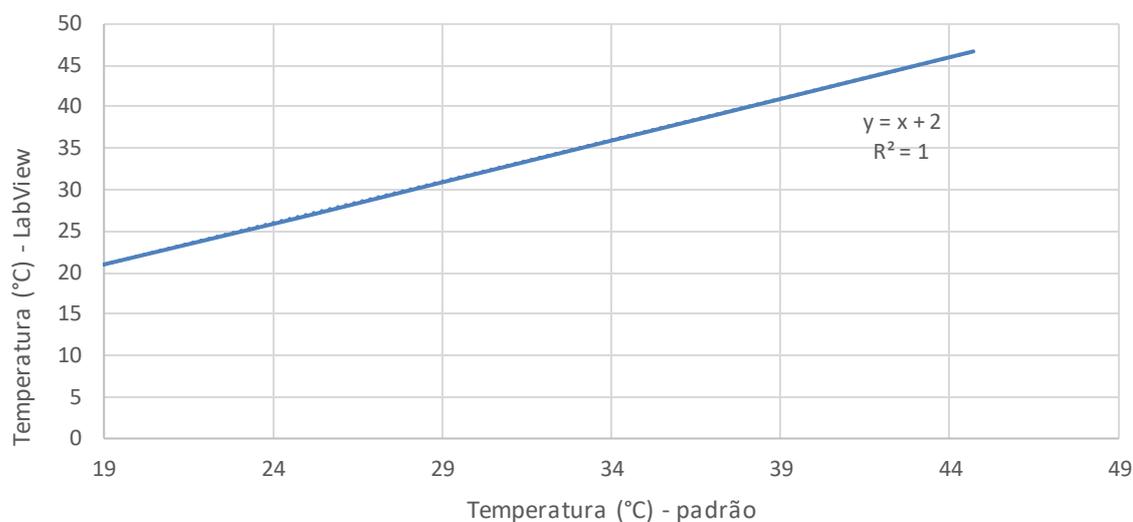


Figura 5.5 - Comparação entre SONDAS PT100 e termômetro de álcool

Após efetuar as medições em laboratório para calibração do equipamento, foram reajustadas as equações utilizadas no *software* LabView®.

## 6. Resultados experimentais e discussão

De modo a testar o funcionamento do equipamento dimensionado para este projeto bem como a programação efetuada em LabView®, foram realizados três ensaios durante a produção do gás de síntese. São utilizados diferentes tipos de biomassa (pinho, eucalipto e mogno) com granulometria similar, tal como é apresentado na figura 6.1.



Figura 6.1 – Representação da granulometria média da biomassa

Os três ensaios tiveram uma duração entre 50 a 80 min cada um. Durante este período, os valores variam significativamente uma vez que foram registados momentos em que o gaseificador está a iniciar o processo e não produz gás de síntese (inflamável) (figura 6.2) ou também interrupções originadas pelo reabastecimento de estilha.



Figura 6.2 – Gaseificador – gases de escape

Para evitar uma errada percepção dos valores medidos, são de seguida apresentados trechos das medições quando o processo de gaseificação funciona em pleno, sendo capaz de produzir chama em contínuo através dos gases de escape, ou seja, quando é produzido o gás de síntese (figura 6.3).



Figura 6.3 – Gaseificador – produção de chama

As medições apresentadas têm duração de 20 min para cada tipo de combustível, a partir do momento em que o gás libertado se torna inflamável e se inicia realmente o processo de gaseificação. O objetivo será comparar a gama de valores medida em função do tipo de combustível utilizado, sendo representadas por 1200 amostras para cada sensor, ou seja, os valores são registados em intervalos de 1 s.

### **Resultados e respetiva média para cada combustível utilizado**

Seguidamente são apresentados três gráficos (figura 6.5, 6.6 e 6.7), um por cada combustível utilizado, onde estão compilados os resultados das medições efetuadas pelos cinco sensores usados neste estudo, podendo ser identificados através da legenda (figura 6.4). Foi calculada a média para cada sensor (tabelas 6.1, 6.2 e 6.3). A apresentação dos valores desta forma leva a uma melhor percepção de qualquer relação que possa existir entre as variações registadas em cada local de medição.

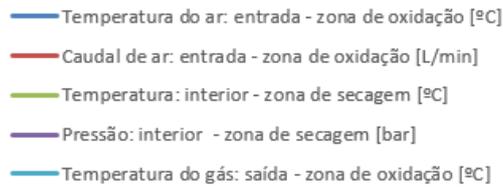


Figura 6.4 – Legenda dos gráficos “pinho”, “Eucalipto” e “Mogno”

## Pinho

Tabela 6.1 – Média das diferentes variáveis utilizando pinho

	Média
Temperatura do ar: Entrada - zona de oxidação [°C]	51,5
Temperatura: Zona de secagem [°C]	99,3
Temperatura do gás: Saída do gaseificador [°C]	360,1
Pressão: Zona de secagem [mbar]	11
Caudal de ar: Entrada - zona de oxidação [L/min]	49,3

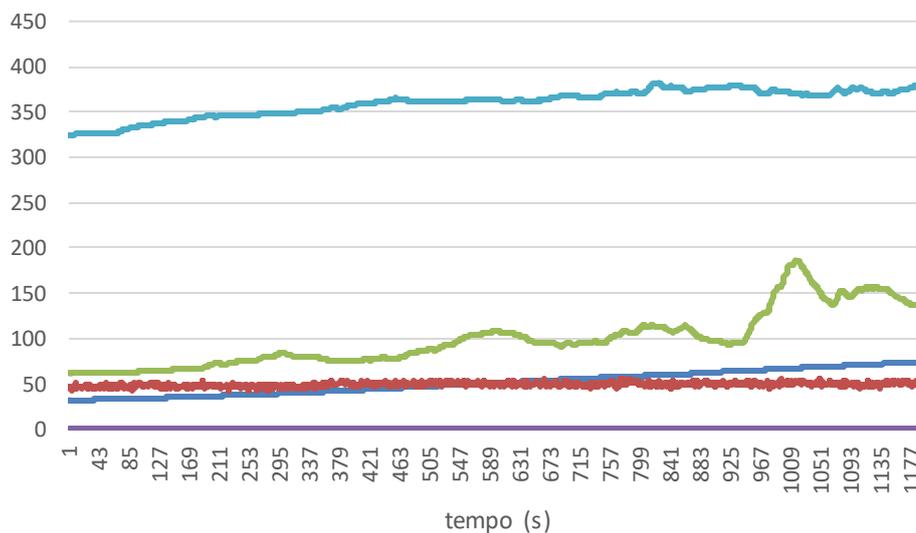


Figura 6.5 – Dados adquiridos utilizando pinho

## Eucalipto

Tabela 6.2- Média das diferentes variáveis utilizando eucalipto

	Média
Temperatura do ar: Entrada - zona de oxidação [°C]	138,2
Temperatura: Zona de secagem [°C]	113,7
Temperatura do gás: Saída gaseificador [°C]	448,9
Pressão: Zona de secagem [mbar]	6
Caudal de ar: Entrada - zona de oxidação [L/min]	51,6

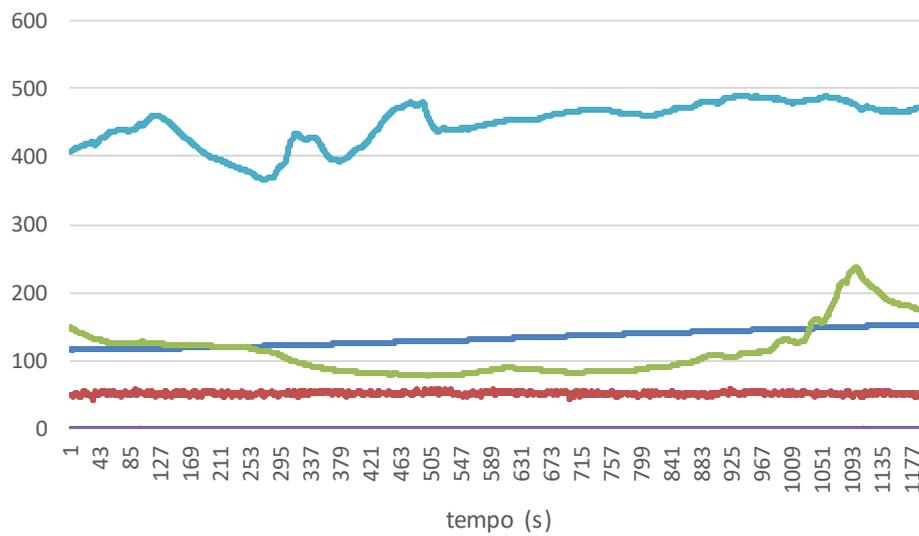


Figura 6.6 - Dados adquiridos utilizando eucalipto

## Mogno

tabela 6.3 - Média das diferentes variáveis utilizando mogno

	Média
Temperatura do ar: Entrada - zona de oxidação [°C]	183,2
Temperatura: Zona de secagem [°C]	85,1
Temperatura do gás: Saída do gaseificador [°C]	492,8
Pressão: Zona de secagem [mbar]	15
Caudal de ar: Entrada - zona de oxidação [L/min]	48,4

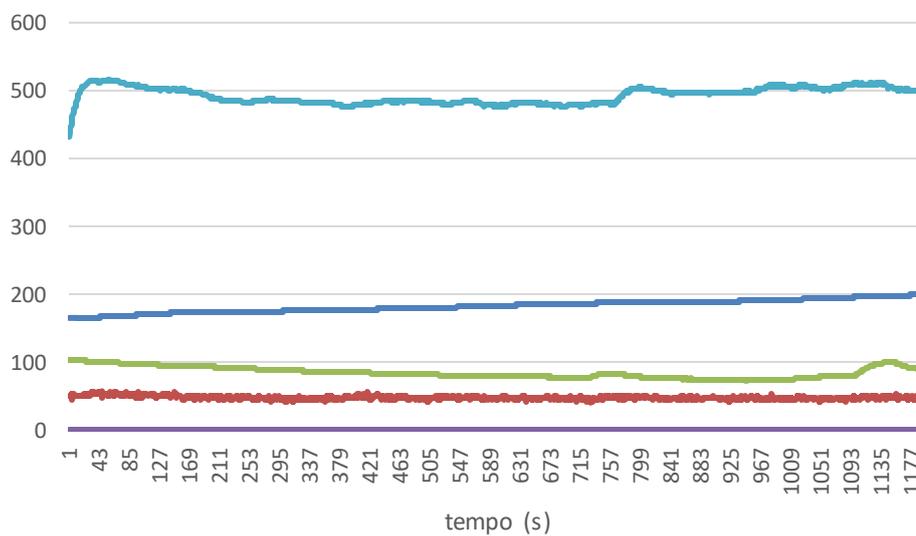


Figura 6.7 - Dados adquiridos utilizando eucalipto

## Comparação dos valores medidos

Neste subcapítulo são apresentadas graficamente as medições efetuadas, separadamente por cada sensor e diferente tipo de combustível utilizado.

Através da figura 6.8, é possível comparar a variação obtida na temperatura do ar que irá dar entrada na zona de oxidação, previamente aquecido através da transferência de calor libertada por um permutador.

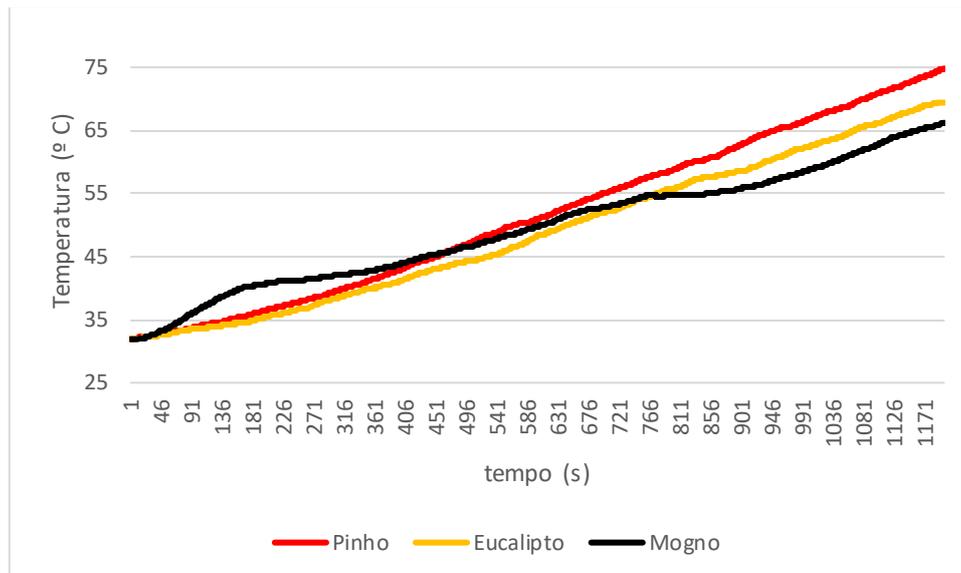


Figura 6.8 - Temperatura do ar: entrada zona de oxidação [°C]

É perceptível uma diferença significativa na variação da temperatura inicial entre cada combustível utilizado (figura 6.5, 6.6 e 6.7), devido à inércia térmica. Este fator ocorre devido à sequência dos ensaios realizados, sendo que no primeiro ensaio foi utilizado pinho, no segundo eucalipto e por último mogno. É então possível verificar que a temperatura do gaseificador não atingiu o equilíbrio, durante a realização dos ensaios. O tempo de espera entre cada ensaio foi cerca de 15 min, utilizados para o abastecimento de estilha no gaseificador.

Uma vez que esta variável parece ter sido influenciada pelo efeito da inércia térmica, foi subtraído o valor de temperatura atribuído à inércia das sucessivas medições. Há exceção do pinho, foi realizada uma correção na temperatura dos combustíveis utilizados. Aos valores referentes ao eucalipto foi subtraído 83,9 °C e no caso do mogno 133,7 °C em toda a sua escala, tendo desta forma uma temperatura inicial de 31,9 °C em todos os casos.

O mesmo poderá ocorrer com a temperatura do gás libertado, tendo valores mínimos quando é utilizado pinho e máximos com a utilização de mogno (figura 6.9). É possível verificar que os valores da temperatura associados à utilização do eucalipto se encontram entre os outros

dois combustíveis, sendo que se aproximam dos valores registados utilizando mogno, a partir do momento em que parecem estabilizar (por volta de 550s).

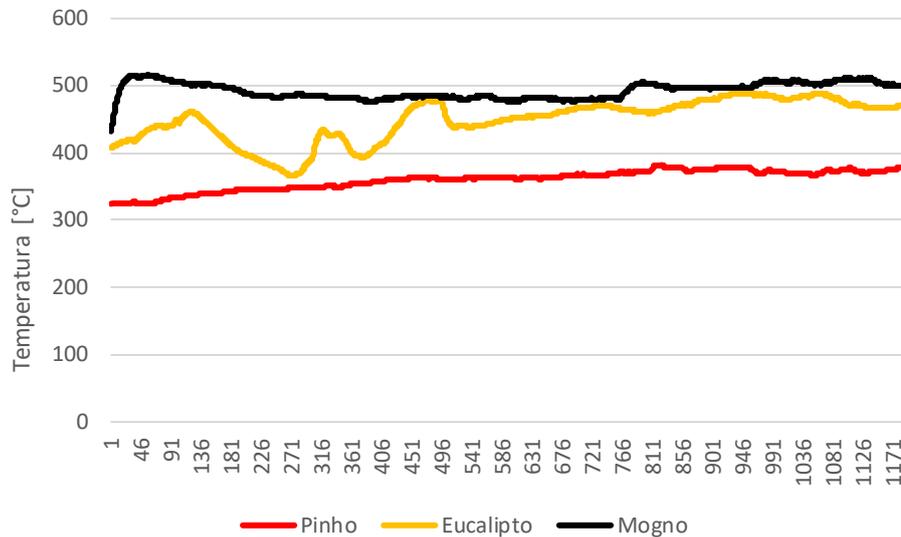


Figura 6.9 - Temperatura do gás: saída do gaseificador [°C]

No interior da zona de secagem (figura 6.10) o mesmo efeito não se repete. Há tendência de aproximação destes valores. Na fase final dos ensaios verifica-se um aumento da temperatura, essa variação é causada devido à diminuição da quantidade de estilha na zona de secagem.

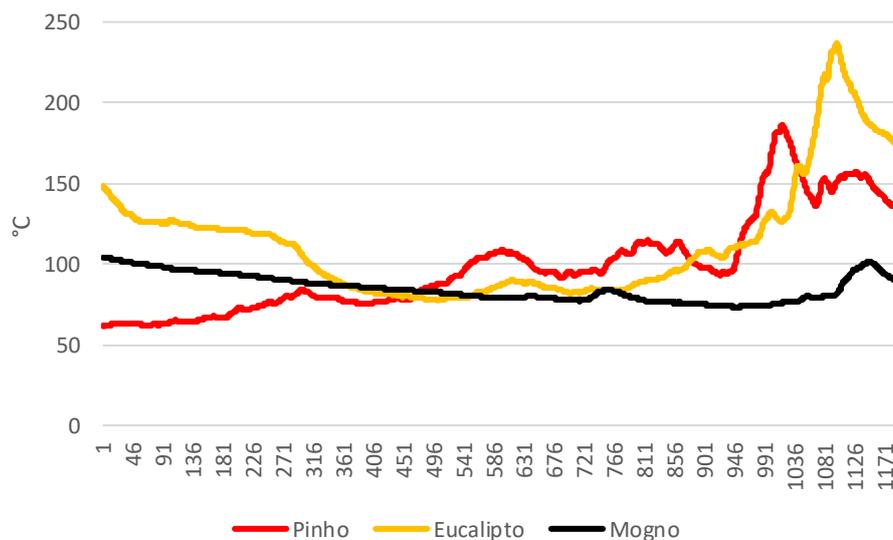


Figura 6.10 - Temperatura: zona de secagem [°C]

Através da comparação das médias das temperaturas (figura 6.11) é possível verificar um acréscimo das temperaturas explicado pelo efeito da inercia térmica, há exceção da temperatura da zona de secagem.

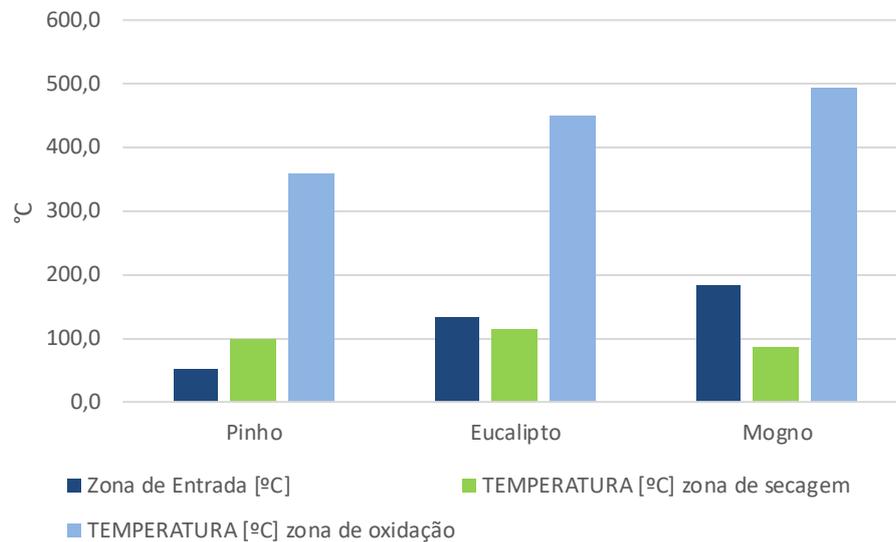


Figura 6.11 – Comparação das médias das temperaturas registadas

Em relação à pressão na zona de secagem (figura 6.12), não foi verificada qualquer variação significativa entre os combustíveis utilizados, sendo que o maior valor registado é de aproximadamente 30 mbar, utilizando mogno.

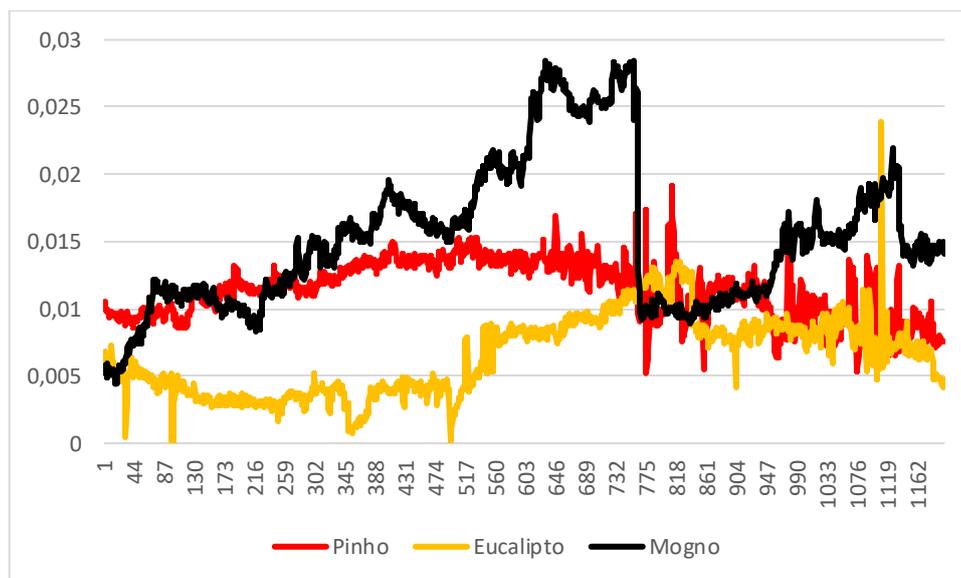


Figura 6.12 - Pressão: zona de secagem (valor médio)

O caudal de ar que chega à zona de oxidação é proveniente de um compressor de ar, controlado através da abertura de uma torneira. Foi definido que o caudal deveria ser 50 L/min. Através do cálculo médio do caudal apresentado nas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3, conclui-se que esses valores se aproximam do pretendido. A figura 6.13 apresenta a variação do caudal medido nas três situações, verificando-se que, apesar da sua medição apresentar bastantes oscilações, os valores referentes às três situações estão relativamente próximos.

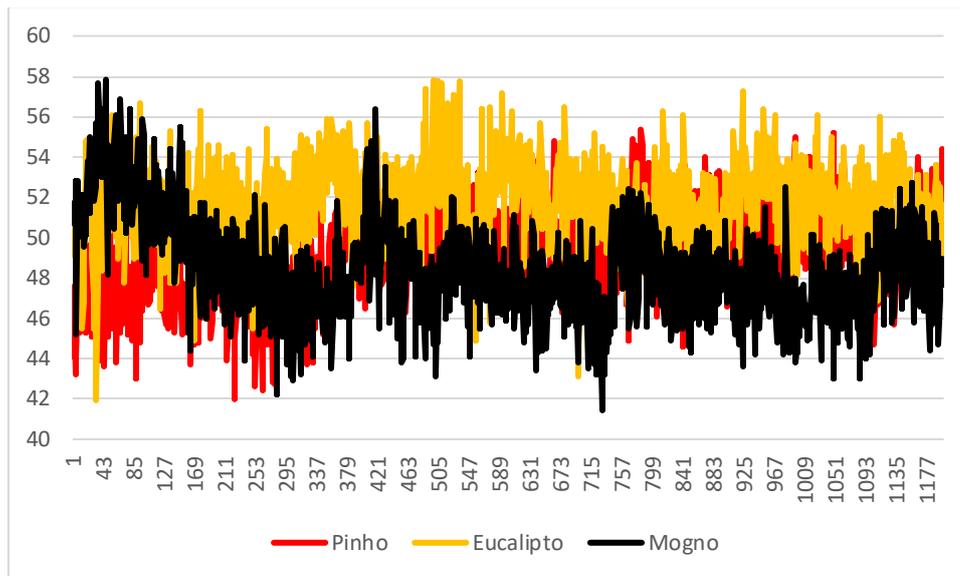


Figura 6.13 – Variação de caudal de ar (L/min)

## 7. Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvido e implementado um sistema de aquisição de dados para monitorização da temperatura, caudal, pressão e velocidade do escoamento do gás de síntese no sistema piloto de gaseificação de biomassa. Para o efeito foram usados os programas PACTware e LabView.

O *software* PACTware® permite visualizar a leitura dos valores medidos pelos transdutores, porém não possibilita um armazenamento intensivo de dados, como tal, é utilizado o LabView® para esta função.

O LabView® é baseado numa linguagem de programação gráfica bastante intuitiva, que utiliza ícones interligados entre si de fácil perceção, evitando uma extensa sequência de linhas de texto, que seria necessária para outros tipos de linguagem, permitindo assim reduzir o tempo de programação.

Os resultados preliminares de teste do sistema de aquisição devem ser tomados como meramente indicativos, pois foram fortemente influenciados pelo reduzido intervalo de tempo entre os diferentes ensaios. No primeiro ensaio realizado com pinho, o gaseificador estava frio levando mais tempo a aquecer, não chegando a temperatura a estabilizar. Os resultados dos dois ensaios seguintes foram condicionados pelos anteriores, devido à inércia térmica da instalação. Assim, muito embora tenha sido usado três tipos de biomassa não é possível determinar com clareza a influência do tipo de biomassa nas diferentes variáveis medidas.

A capacidade de medição deste sistema mostrou ser enorme, podendo estar ativo a recolher dados durante vários dias, armazenando automaticamente os resultados em ficheiros de Excel® para posterior análise, permitindo assim observar o efeito das variações decorrentes de alterações no funcionamento e obter a parametrização ótima de funcionamento da instalação para cada tipo de biomassa.

### **Propostas de trabalho futuro**

Em relação ao procedimento de recolha de dados durante o funcionamento do gaseificador, os estudos futuros deverão ser realizados após a criação de um “protocolo laboratorial” de modo a que os resultados recolhidos possam ser comparados para iguais regimes operacionais. Deverá ser investigado o tempo mínimo necessário de arranque do equipamento até atingir um equilíbrio, que poderá variar de acordo com o tipo de biomassa utilizada, bem como grau de humidade que esta apresente.

Tendo por objetivo a otimização da eficiência do gaseificador e evitar explosões acidentais deverá ser incluída nas medições a análise da composição do gás produzido. A medição da composição do gás é fundamental para perceber decomposição térmica para os diferentes tipos de biomassa e regimes de funcionamento.

Para que o sistema de gaseificação possa ser operado com maior autonomia devem ser incorporados sistemas de controlo e de alerta. Assim, uma área de estudo pode passar pela inclusão de alguns transdutores específicos e determinação dos valores de referência para efeito de controlo e alerta.

---

## Referências bibliográficas

- Anacleto, Alcinda (2007). *Temperatura e sua medição*. Dissertação de mestrado em Física para o Ensino. Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Andrade, R. V. (2007). *Gaseificação de biomassa: Uma análise teórica e experimental*. Tese de doutorado, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Brasil.
- Autoenge Solutions (2017). *Automação e instrumentação industrial*. Disponível em: [http://www.autoengesolutions.com.br/areas-de-atuacao/downloads/download/19\\_0d71e3412ec1c205c38ac51c9d68c05b](http://www.autoengesolutions.com.br/areas-de-atuacao/downloads/download/19_0d71e3412ec1c205c38ac51c9d68c05b), consulta em 8.04.2017.
- Batista, Manuel (2017). *Sistemas de aquisição de dados*. Sistemas de Instrumentação, Curso de Engenharia de Sistemas e Informática, Departamento de Informática, Escola Superior de Tecnologia de Viseu. Disponível em: [http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/maeb/im/Teorica\\_Bibliografia/Cap\\_E\\_Sistemas%20de%20Aquisi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Dados/1-Introdu%C3%A7%C3%A3o/Texto%20de%20Estudo%20-%20Sistemas%20de%20Instrumenta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Capitulo%204.pdf](http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/maeb/im/Teorica_Bibliografia/Cap_E_Sistemas%20de%20Aquisi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Dados/1-Introdu%C3%A7%C3%A3o/Texto%20de%20Estudo%20-%20Sistemas%20de%20Instrumenta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Capitulo%204.pdf), consulta em 5.04.2017
- Castells, Manuel (2005). *A sociedade em rede: do conhecimento à ação política*, Conferência promovida pelo Presidente da República, 4 a 5 de março de 2015, Centro Cultural de Belém, Lisboa.
- Ciferno, J. P., Marano, J. J., (2002) - *Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production*; U. S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory; June 2002; [www.netl.doe.gov/technologies/.../gasification/](http://www.netl.doe.gov/technologies/.../gasification/), consulta em 13.02.2017
- Costa, Cesar (2017): *“Introdução ao LabView®”* – Seminário prático em 6 horas. Disponível em:

- 
- [http://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens\\_upload/introducao\\_ao\\_labvie\\_w\\_em\\_6\\_horas%20\(2\).pdf](http://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/introducao_ao_labvie_w_em_6_horas%20(2).pdf), consulta em 7.03.2017
- Dally, James, Riley, William e MaConnell, Kenneth (1993): “*Instrumentation for engineering Measurements*”, 2º Ed - University of Maryland; Iowa State University.
- Eiras, José (2017): “*Sensores\_Teoria\_e\_Aplicacoes*” – Capítulo 2: Materiais Piezoelétricos” – Grupo de Cerâmicas ferroelétricas, Departamento de Física – Universidade Federal de São Carlos. Disponível em:  
[http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/ceramicas/artigos/Sensores\\_Teoria\\_e\\_Aplicacoes.pdf](http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/ceramicas/artigos/Sensores_Teoria_e_Aplicacoes.pdf)., consulta em 21.04.2017
- L. M. V. Serrano, C. J. O. P. J. Alcobia, M. L. O. S. Mateus, M. C. G. Silva (2004): “*Sistemas de Aquisição, Processamento e Armazenamento de Dados*”. 1º encontro nacional, promovido pela Sociedade Portuguesa de Metrologia, 30 de Novembro de 2004, IPQ – Caparica.
- Timóteo, Luís (2015) – “*Automação Industrial: Sensores de Temperatura*”. Electronic instructor at Retired non-profit researcher. Disponível em:  
<https://pt.slideshare.net/MarioTimotius/automação-industrial-sensores-de-temperatura>, consulta em 12.05.2017
- Lopes, António e Oliveira, Luis: “*Mecânica dos Fluidos*” – 4ª Edição – cap. 3
- Morris, Alan (2001): “*Measurement and Instrumentation Principles*”, 3º Ed.
- National Instruments Corporation (2001): “*Manual de treinamento do LabVIEW™ Básico I*”, 6ª Ed. Disponível em:  
<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573643293/LabView.pdf>,  
consultado a 22.03.2017
- Northrop, Robert (2005): “*Introduction to instrumentation and measurements*” – 2º Ed.”.
- OLIVEIRA, E. S., (2008) – “*Gaseificação da macaúba*”, Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia dos Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

- Patra, Tapas Kumar e Sheth, Pratik (2015): “*Biomass gasification models for downdraft gasifier: A state-of-the-art review*”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 50, October 2015, Pages 583–593.
- Pedrosa, Patricia (2012): “Estudo preliminar para o desenvolvimento de uma instalação piloto para gaseificação de biomassa florestal: análise dos tipos de gaseificadores e caracterização da biomassa”, Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- SANCHEZ, F. L., Rezende, M. A., (2008) - Estudo da viabilidade técnica e econômica para aproveitamento de cascas de Eucalyptus gerados no processo de fabricação de painéis de madeira; *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu, v.23, n.1, pp 46-72, ISSN 1808-8759.
- Measurement Computing Corporation (2012): “Data acquisition handbook”.
- Thomazini, Daniel e Albuquerque, Pedro (2012), “Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações”, Editora Érica LTDA, São Paulo
- Universidade da Beira Interior – Instrumentação e Medida (2017): “*transdutores e condicionamento de sinal*” – Capítulo 4. Disponível em: [http://livrozilla.com/doc/687073/cap04\\_transdutores---universidade-da-beira-interior](http://livrozilla.com/doc/687073/cap04_transdutores---universidade-da-beira-interior), consulta em 22.04.2017
- WANDER, P.R., (2001) – “*Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativa de energia renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul*”; Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## Apêndice A - Gaseificação

A gaseificação é definida como um processo de conversão de combustíveis sólidos. Normalmente são utilizados como matéria prima, materiais ricos em carbono, como: carvão, madeira ou outros tipos de biomassa.

A biomassa é convertida num gás combustível (gás síntese) através da combustão com ineficiência de ar em relação à combustão estequiométrica. Como agente oxidante é possível utilizar:

- ar;
- oxigênio;
- vapor.

O que irá ter influencia no poder calorífico do gás produzido, segundo Andrade (2007), se o agente oxidante for:

- **ar:**  
o gás produzido apresenta um baixo poder calorífico, entre 4 e 7 MJ/Nm<sup>3</sup>;
- **oxigênio ou vapor:**  
o poder calorífico do gás é mais elevado, sendo espectável valores entre 10 a 18 MJ/Nm<sup>3</sup>.

O gaseificador é um reator onde ocorrem várias reações químicas e físicas. O processo ocorre a diferentes temperaturas, em quatro etapas distintas:

- secagem da biomassa (operação física);
- pirólise (volatilização);
- combustão (oxidação);
- gaseificação (redução).

Dando origem a uma mistura combustível gasosa, o gás de síntese. Este gás é composto por:

- CO;
- CO<sub>2</sub>;
- H<sub>2</sub>;
- CH<sub>4</sub>;
- N<sub>2</sub>.

## Classificação de gaseificadores

Os gaseificadores podem ser classificados de acordo com os seguintes fatores:

- **Poder calorífico do gás produzido:**
  - Gás de baixo poder calorífico: até 5 MJ/Nm<sup>3</sup>;
  - Gás de medio poder calorífico: de 5 a 10 MJ/Nm<sup>3</sup>;
  - Gás de alto poder calorífico: 10 a 40 MJ/Nm<sup>3</sup>.
  
- **Tipo de agente gaseificador:**
  - Ar;
  - Vapor;
  - Oxigénio;
  - Hidrogénio (hidrogaseificação).
  
- **Direção do movimento relativo da biomassa e do agente de gaseificação:**
  - Contra fluxo (contracorrente);
  - Fluxo direto (concorrente);
  - Fluxo cruzado;
  - Leito fluidizado.
  
- **Pressão de trabalho:**
  - Baixa pressão (atmosférica);
  - Pressurizados (até 6 MPa).
  
- **Tipo e forma de biomassa:**
  - Resíduos agrícolas;
  - resíduos industriais;
  - Resíduos sólidos urbanos (lixo);
  - Biomassa in natura;
  - Biomassa peletizada;
  - Biomassa pulverizada.

## Processo de gaseificação

A gaseificação é uma degradação térmica que transforma a biomassa no gás de síntese. A qualidade do gás fica definido pelos tipos de gaseificadores e biomassa utilizados.

Segundo OLIVEIRA (2008), para a produção do gás de síntese, é necessária a utilização de gaseificadores mais sofisticados, que funcionem pressurizados com oxigênio. Para a produção de gás combustível, os gaseificadores são mais simples e subdivididos em leito fixo (contracorrentes ou concorrentes) e leito fluidizados.

Nos gaseificadores de leito fixo, a entrada da biomassa no sistema tem movimento descendente, sendo contracorrente (*updraft*) quando o fluxo de ar tem sentido ascendente, concorrente (*downdraft*) se o sentido do fluxo ar e biomassa são o mesmo e gaseificador fluxo cruzado (*cross-flow*) quando o sentido do agente oxidante é perpendicular ao da biomassa, tal como ilustra a figura a)1.

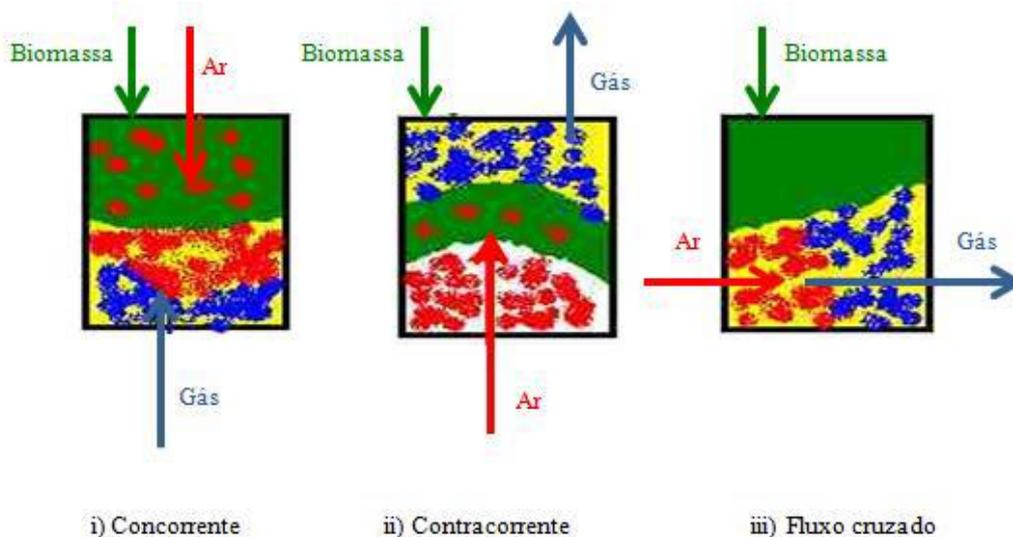


Figura a) 1 – tipos de gaseificadores (adaptada de <http://www.exergy.se/goran/hig/re/01/biomass/index.html>)

Segundo Ciferno (2002) apud Pedrosa (2013), O sistema de gaseificação de leito fluidizado tem a vantagem de distribuir uniformemente a temperatura e proporcionar um bom contacto entre o gás (ar) e o sólido (biomassa), uma boa circulação das partículas de biomassa e uma boa velocidade de reação. A eficiência do processo é aumentada com a utilização de um leito de areia com uma granulometria média de 250  $\mu\text{m}$ , de modo a aumentar a troca de calor entre as partículas.

Este tipo de gaseificador tem maior capacidade produtiva, permitindo trabalhar com uma vasta gama de combustíveis sólidos. Um gaseificador de leito fluidizado pode ser classificado em borbulhante e em circulante. A figura a)2. ilustra as principais diferenças que os distinguem.

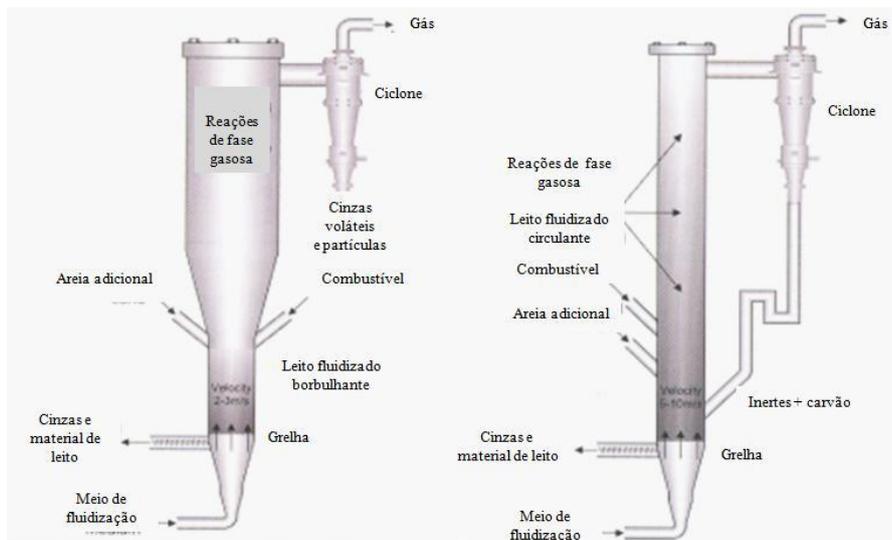


Figura a) 2 - Tipos de gaseificadores de leito fluidizado, adaptada: [http://www.soi.wide.ad.jp/class/20070041/slides/05/index\\_43.html](http://www.soi.wide.ad.jp/class/20070041/slides/05/index_43.html).

## Reações químicas do processo de gaseificação

No processo de transformação da biomassa num combustível gasoso, ocorrem quatro distintas reações físico-químicas no gaseificador, com diferentes temperaturas de reação:

- secagem da biomassa (operação física)
- pirólise (volatilização)
- combustão (oxidação)
- redução (gaseificação)

Embora ocorram mais de uma reação em certas zonas do gaseificador, pode-se dizer que existem regiões bem definidas para cada uma dessas reações, Oliveira (2008). É possível visualizar cada processo numa região separada do gaseificador, numa sequencia determinada pelas suas características. Durante a secagem e a pirólise da biomassa, ocorrem a evaporação da água, a decomposição dos hidratos de carbono em gases não condensáveis (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>) e, ainda, a produção de carvão, alcatrão e ácidos leves.

### Secagem

Segundo Patra, Kumar (2015), o processo de secagem é uma operação de transferência de massa, envolvendo a remoção de humidade (figura a)3.). Ocorre entre 100 e 200 °C e reduz a humidade contida na biomassa para 5%. Geralmente, o teor de humidade contido na biomassa varia entre 5% e 35%.

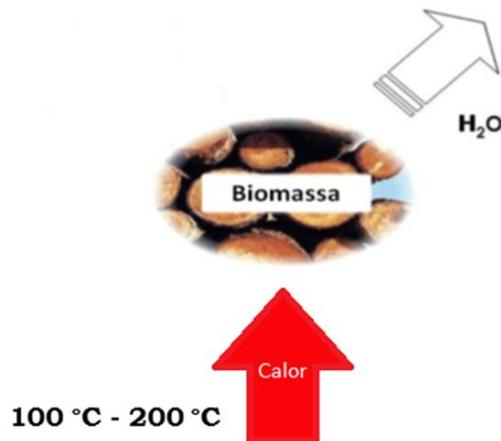


Figura a) 3 - esquema do processo de secagem

### Pirolise

Na zona de pirólise, a decomposição térmica de biomassa ocorre na ausência de oxigênio ou de ar. A matéria volátil é libertada como uma consequência da degradação térmica da biomassa. Como resultado, a mistura de gases contendo monóxido de carbono, hidrogênio, dióxido de carbono e gases de hidrocarbonetos, libertado a partir da biomassa que fica reduzida a carvão sólido (figura a)4.). Os gases de hidrocarbonetos condensam a uma temperatura baixa para gerar alcatroes líquidos. Os gases libertados a partir de zonas de secagem e de pirólise podem ou não passar através da zona de oxidação, dependendo do tipo de gaseificador.

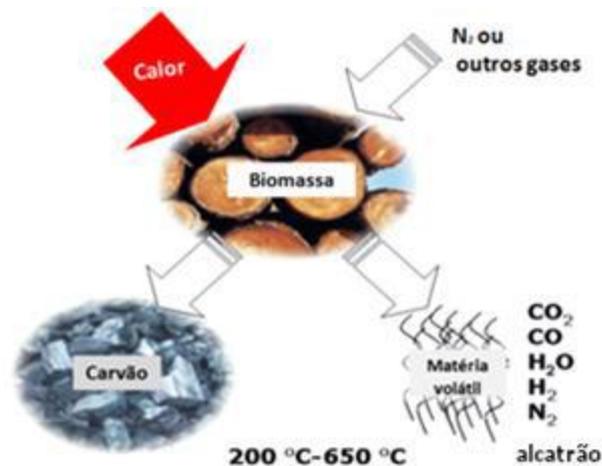


Figura a) 4 - esquema do processo de pirólise (Barrio, 2002, apud Pedrosa 2012)

### Combustão

A combustão ou oxidação (figura a)5.) é a transformação da biomassa em luz e calor, com oxigênio além da quantidade estequiométrica (quantidade mínima para que haja combustão), ou seja, a combustão é uma reação entre a biomassa sólida carbonizada e oxigênio, resultando na formação de  $\text{CO}_2$ . O hidrogênio presente na biomassa também é oxidado

gerando  $H_2O$ . Com a oxidação de carbono e hidrogénio é libertada uma quantidade excessiva de calor que é utilizado nas reações de secagem, pirólise e gaseificação.

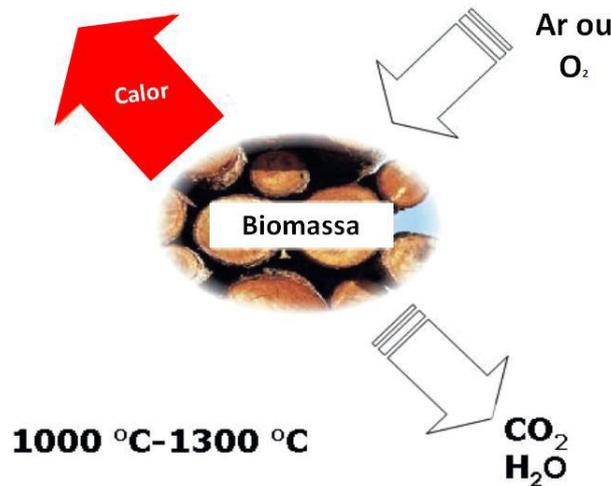


Figura a) 5 - esquema do processo de combustão (Barrio, 2002, apud Pedrosa 2012)

### Gaseificação

A gaseificação (figura a)6.) é um processo de redução que ocorre com quantidade de oxigénio menor a estequiométrica. Os gases quentes chegam à zona de redução, onde, com limitação de oxigénio, ocorre a formação dos componentes do gás combustível ( $CO$ ,  $H_2$ ) produzidos pela gaseificação. Dependendo do tipo de gaseificador, a zona de redução fica acima ou abaixo da zona de oxidação, a temperatura oscila entre 750 e 1000 °C. (SÁNCHEZ, 2003, apud OLIVEIRA, 2008):

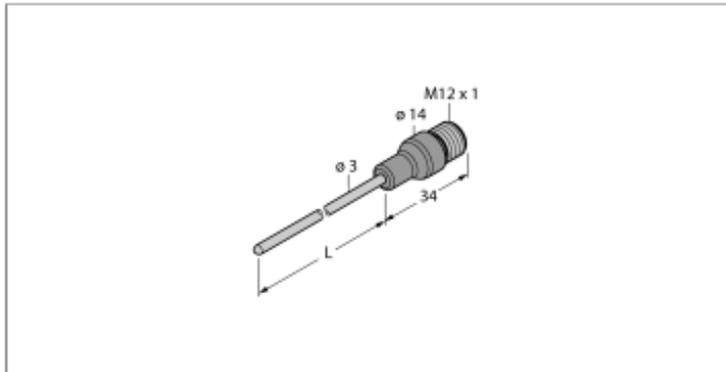


Figura a) 6 - esquema do processo de gaseificação (Barrio, 2002 apud Pedrosa 2012)

Durante o processo de gaseificação, ocorrem principalmente reações exotérmicas de oxidação (combustão) e reações endotérmicas de redução, envolvendo fase sólida e gasosa.

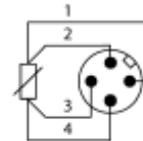
De modo geral, tendo biomassa como combustível, através das várias reações apresentadas tem-se  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$  como subprodutos gasosos, além de alcatrão e condensáveis (WANDER, 2001, apud Pedrosa 2012).

## ANEXO A. Manual sonda PT100



- Pt-100 probe acc. to DIN EN 60751
- Vibration and shock-resistant
- Connectable to TS, TTM, IM34, BL20, BL67
- 4-wire connection technology

### Wiring diagram



### General description

Resistance thermometers come into operation when temperatures must be measured and monitored to control and optimize processes.

Typical applications are process plants, manufacturing facilities and units, as well as air-conditioning systems. The core element of the temperature sensors is a PT100 measuring resistor in 4-wire technology.

Type code	TP-203A-CF-H1141-L100
Ident no.	9910402
Temperature range	-50...500 °C
Temperature operating range	-58...932°F
Measuring element	Pt-100 probe, DIN EN 60751, class A
Accuracy	0.15 °C + 0.002 · t  (-30...350 °C)
Response time	t 0.5 = 1.5 s / t 0.9 = 6.0 s in water at 0.2 m/s
Immersion depth (L)	100 mm
Protection type and class	IP67
MTTF	2283 years acc. to SN 29500 (Ed. 99) 40 °C
Ambient conditions	
Ambient temperature	-40...+120 °C
Storage temperature	-40...+85 °C
Pressure resistance	100 bar
Housing	
Sensor material	stainless steel, AISI 316L
Process connection	for compression fittings, thermowells or direct mounting
Connection	connector, M12, 4-pole
Pressure resistance	100 bar
Reference conditions acc. to IEC 61288-1	
Temperature	15...25 °C
Atmospheric pressure	860...1060 hPa abs.
Humidity	45...75 % rel.
Auxiliary power	24 VDC
MTTF	2283 years acc. to SN 29500 (Ed. 99) 40 °C

**Temperature measurement  
Probe  
TP-203A-CF-H1141-L100**



**Accessories**

Type code	Ident no.	Description	
CF-M-3-G1/8-A4	9910405	Compression female fittings for direct mounting of temperature probes	
CF-M-3-N1/8-A4	9910406	Compression female fittings for direct mounting of temperature probes	
CF-M-3-G1/4-A4	9910407	Compression female fittings for direct mounting of temperature probes	
CF-M-3-N1/4-A4	9910408	Compression female fittings for direct mounting of temperature probes	

**Wiring accessories**

Type code	Ident no.	Description	
WKC4.4T-2TEL	6625025	Connection cable, female M12, angled, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PVC, black; cULus approval; other cable lengths and qualities available, see <a href="http://www.turck.com">www.turck.com</a>	

Edition: 2016-11-11T06:44:08+01:00

Temperature measurement  
 Probe  
 TP-203A-CF-H1141-L100



Wiring accessories

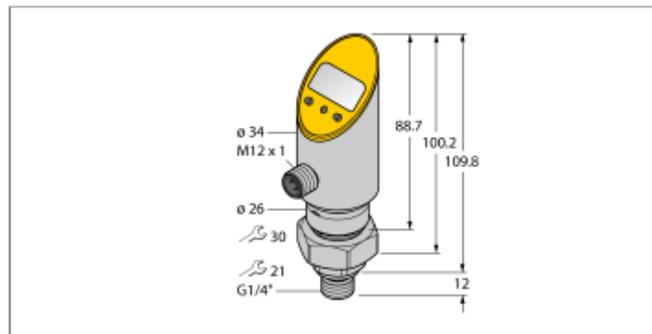
Type code	Ident. no.	Description	Design
WK04.4T-2/TEL	6625025	Connection cable, female M12, angled, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PVC, black; cULus approval; other cable lengths and qualities available, see <a href="http://www.turck.com">www.turck.com</a>	
RK04.4T-2/TXL	6625503	Connection cable, female M12, straight, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PUR, black; cULus approval; other cable lengths and qualities available, see <a href="http://www.turck.com">www.turck.com</a>	
WK04.4T-2/TXL	6625515	Connection cable, female M12, angled, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PUR, black; cULus approval; other cable lengths and qualities available, see <a href="http://www.turck.com">www.turck.com</a>	

Edition: 2015-12-02T11:27:06+01:00

# ANEXO B. Manual transdutor de pressão

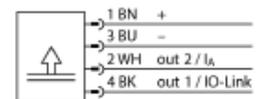


**Pressure transmitter (rotatable)  
with current output and PNP/NPN transistor switching output  
output 2 reprogrammable as switching output  
PS001V-504-LI2UPN8X-H1141**



- Housing is rotatable after plugging the process connection
- Reading of adjusted values without tool
- Recessed pushbutton and keylock for secure programming
- Permanent indication of pressure (bar, psi, kPa, MPa, misc)
- Peak pressure memory
- Pressure range -1 ... 1 bar rel.

**Wiring Diagram**



Type designation PS001V-504-LI2UPN8X-H1141  
Ident no. 6832839

Relative pressure -1...1 bar rel.  
Operating range -14.5...14.5psi  
Operating range -0.1...0.1MPa  
Admissible overpressure ≤ 5,5 bar  
Burst pressure ≥ 5,5 bar  
Response time < 3 ms

Power supply  
Operating voltage 18... 30VDC  
Current consumption ≤ 50 mA  
Voltage drop at I, ≤ 2 V  
Protective measure SELV; PELV according to EN 50178  
Short-circuit/reverse polarity protection yes/yes  
Protection type and class IP67/IP69K III

Outputs  
Output 1 Switching output or IO-Link mode  
Output 2 analog or switching output

Switching output  
Output function NO/NC, PNP/NPN  
Accuracy switching output ± 0.5 % v. E. BGL  
Rated operational current 0.2 A  
Switching frequency ≤ 180 Hz  
Switching point distance ≥ 0.5 %  
Switch point: (min + 0.005 x range) up to 100% f.s.  
Release point(s) min up to (SP - 0.005 x range)  
Switching cycles ≥ 100 mil.

Analogue output  
Current output 4...20mA  
Operating range 4...20 / 0...20 mA (3-wire)  
Load ≤ 0.5 kΩ  
Accuracy LHR analog output ± 0.5 % of final value BGL

IO-Link  
IO-Link Specification Specified acc. to version 1.0  
Programming FDT / DTM  
Transmission physics corresponds to 3-wire physics (PHY2)  
Transmission rate COM 2 / 38.4 kbps  
Process data width 16 bit  
Measured value information 14 bit  
Switchpoint information 2 bit  
Frame type 2.2  
Genauigkeit ± 0.5 % of final value BGL

**Functional principle**

The pressure sensors of the PS series operate with piezo-resistive ceramic measuring cells. The ceramic diaphragm is unbalanced in proportion to the pressure applied. Depending on the sensor type, the voltage produced is made available either as switching or analog output signal. Non-rotatable and rotatable sensors, numerous thread types, front-flush or dead-zone free diaphragms and an accuracy of 0.5% of full scale guarantee highest flexibility and safe process interfacing.

Edition: 2016-11-04 FDT 50 06 49 01 00



**Pressure transmitter (rotatable)  
with current output and PNP/NPN transistor switching output  
output 2 reprogrammable as switching output  
PS001V-504-LI2UPN8X-H1141**

<b>Temperature behaviour</b>	
Medium temperature	-40...85 °C
Temperature coefficient zero point $T_{\pm 0}$	$\pm 0.15$ % of full scale / 10 K
Temperature coefficient span $T_{\pm \Delta}$	$\pm 0.15$ % of full scale / 10 K
<b>Ambient conditions</b>	
Ambient temperature	-40...80 °C
Storage temperature	-40...+80 °C
Vibration resistance	20 g (9...2000 Hz), according to IEC 68-2-6
Shock resistance	50 g (11 ms), according to IEC 61508
EMC	EN 61000-4-2 ESD: 4 kV CD / 8 kV AD EN 61000-4-3 HF radiated: 15 V/m EN 61000-4-4 Burst: 2 kV EN 61000-4-5 Surge: 1000 V, 42 Ohm EN 61000-4-6 HF cable bound: 10 V
<b>Housing</b>	
Housing material	Stainless-steel/Plastic, V2A (1.4305)
Pressure connection material	Stainless steel A2 1.4305 (AISI 303)
Pressure transducer material	Ceramics Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Sealing material	FPM spez.
Process connection	G 1/4" male thread
Wrench size pressure connection / coupling nut	21/30
Electrical connection	Flange connector, M12 x 1
Max. tightening torque housing nut	35 Nm
<b>Reference conditions acc. to IEC 61288-1</b>	
Temperature	15...25 °C
Atmospheric pressure	860...1060 hPa abs.
Humidity	45...75 % rel.
Auxiliary power	24 VDC
<b>Display</b>	
	4-digit 7-segment display, rotatable by 180°, disengageable
Switching state	LED yellow
Programming options	start/end value analog output; switch/release points; PNP/NPN; NO/NC contact; hysteresis/window mode; damping; pressure unit; peak pressure memory
Unit display	5 x LEDs green (bar, psi, kPa, MPa, misc)
<b>MTTF</b>	439 acc. to EN 29500 (Ed. 99) 40 °C

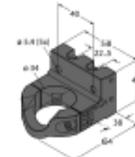
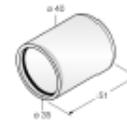
Edition: 2016-11-04T10:55:48+01:00



**Pressure transmitter (rotatable)  
with current output and PNP/NPN transistor switching output  
output 2 reprogrammable as switching output  
PS001V-504-LI2UPN8X-H1141**

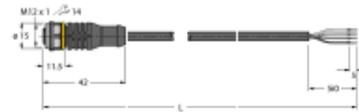
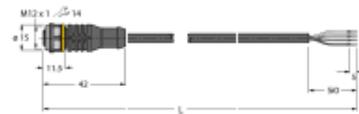
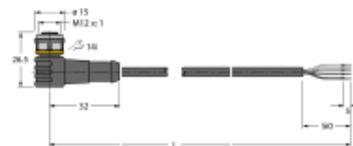
**Accessories**

Type code	Ident no.	Description
PTS-Cover	6907410	Protective cap
PTS-MB-1	6877007	Mounting bracket



**Wiring accessories**

Type code	Ident no.	Description
WKC4.4T-2/TEL	6625025	Connection cable, female M12, angled, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PVC, black; cULUS approval; other cable lengths and qualities available, see <a href="http://www.turck.com">www.turck.com</a>
RKC4.4T-2/TEL	6625013a	Connection cable, M12 female, straight, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PVC, black; cULUS approval; other cable lengths and qualities available, see <a href="http://www.turck.com">www.turck.com</a>
RKC4.4T-2/TXL	6625503	Connection cable, female M12, straight, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PUR, black; cULUS approval; other cable lengths and qualities available, see <a href="http://www.turck.com">www.turck.com</a>



Edition: 2016-11-04 17:05:48+01:00



**Pressure transmitter (rotatable)  
with current output and PNP/NPN transistor switching output  
output 2 reprogrammable as switching output  
PS001V-504-LI2UPN8X-H1141**

**Wiring accessories**

Type code	Ident no.	Description	
WKC4.4T-2/TXL	6625515	Connection cable, female M12, angled, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PUR, black; cULus approval; other cable lengths and qualities available, see www.turck.com	
RKC4.4T-2/TEL	6625013	Connection cable, female M12, straight, 4-pin, cable length: 2 m, sheath material: PVC, black; cULus approval; other cable lengths and qualities available, see www.turck.com	
RKC4.4T-P7X2-10/TXL	6626184	Connection cable, female M12, angled, 4-pin, cable length: 10m, sheath material: PUR, black; cULus approval; other cable lengths and qualities available, see www.turck.com	

**Function accessories**

Type code	Ident no.	Description	
TBEN-92-4IOL	6814024	Compact multiprotocol I/O module, 4 IO-Link Master 1.1 Class A, 4 universal PNP digital channels 0.5 A	

Edition - 2016-11-04T10:55:44+01:00

# ANEXO C. Manual caudalímetro

## Features of the MCF air flowmeter

**A dedicated air/nitrogen mass flowmeter, indispensable for cutting compressor energy use.**

Air Flowmeter MCF

**Practical measurement range of 10:1 and extended range function providing up to 2 times the standard range are useful for detecting air leakage**

10% FS (standard) | MCF 20% FS accuracy range | 20% FS (extended)

10% of flow rate range | 20% of flow rate range | Flow rate range | Flow rate range X 2

**Reverse flow detection function**

Useful for loop piping, Reverse flow detection and forward-reverse flow integration functions are provided.

Reverse flow measurement range is up to 20% of forward flow rate measurement range.

RED ARROW IS USED TO INDICATE REVERSE FLOW

**Model lineup meets a variety of application requirements**

For ease of use and ease of selection, models in a broad range from small to large are available.

Pipe size: 1/16"/25/40/50A  
Range: 500/500/1000/3000  
/6000/10000 L/min

**Easy maintenance without removal from the piping**

The measurement unit can be dismounted and replaced for easy maintenance at the application site without disconnecting the pipes. (Please refer to the manual on p.6.)

**Use a single MCF for flow in various directions**

The display unit can rotate more than 90° counterclockwise and more than 180° clockwise.

**The MCF is a mass flowmeter.**

Thermal mass flow measurement using Yamatake's Micro Flow (μF) sensor ensures correct measurement even if gas temperature or pressure changes.

**Sensor structure**

Sensor element: Micro Flow (μF) sensor  
Heater  
Electrical connections

**Measurement Principle**

Heat flow  
Direct gas flow

**Battery drive model line up**

### Application examples

**Detecting air leakage**

Substantial reduction of air leakage by determining the leakage quantity — generally said to be around 30% — and repairing the leaks.

**Leakage check method**

- 1 Read the instantaneous flow rate from the flowmeter.
- 2 Shut the instantaneous flow rate using a PC.

**Cost management for production line or whole department**

Knowing the total flow quantity and cost for an area, and budgeting by area, is sure to increase cost consciousness and enable measurement of cost reduction efforts.

**Supply of appropriate quantities**

Since the air quantity used by equipment can be checked to know if it is appropriate, waste can be reduced by restricting the air supply to an appropriate quantity.

### Specifications

#### MCF□□□□□□□□ND□□□□□□□□□□: DC 24V Model

Model No.	MCF0080	MCF0150	MCF0151	MCF0250	MCF0400	MCF0500
Gas types	Air/Nitrogen. (Note that gas must be dry, without corrosive components such as chlorine, sulfur and acid. It must also be clean, without dust or oil mist.)					
Flow rate range [L/min(normal)] <sup>*1</sup>	0 to 200	0 to 500	0 to 1000	0 to 3000	0 to 6000	0 to 12000
Reverse flow range [L/min(normal)] <sup>*2</sup>	-60	-150	-300	-900	-1800	-3600
Extended range [L/min(normal)] <sup>*3</sup>	400	1000	2000	6000	12000	24000
Accuracy guaranteed flow rate range [L/min(normal)]	4 to 200	10 to 500	20 to 1000	60 to 3000	120 to 6000	240 to 12000
Measurement accuracy	± 3% FS					
Smallest detectable flow rate [L/min(normal)]	2	5	10	30	60	120
Display resolution [L/min(normal)]	1	1	2	5	10	10
Temperature	-10 to +60 °C (without freezing)					
Storage temperature	-20 to +70 °C (without freezing)					
Humidity	0 to 95 % RH (without condensation)					
Pipe size	8A(1/2B)	15A(1/2B)	15A(1/2B)	25A(1B)	40A(1 1/2B)	50A(2B)
Connection type	MCF□□□□□□□□□□: Rc thread MCF□□□□□□□□□□: G thread					
Body material	Aluminum alloy					
O-ring material	MCF□□□□□□□□□□: H-NBR MCF□□□□□□□□□□: FKM					
Case material	Denatured PPD					
Operating pressure range	-0,07 to +1,0 MPa					
Pressure resistance	1,5 MPa					
Mounting orientation	- Horizontal (flow: left → right, right → left) - Vertical (flow: up → down, down → up)					
Rated voltage	24V DC, 120 mA max.					
Sampling cycle/ response time	50 ms to 1,0 s max. (time for 95 % of response to 0 → 100 % FS step input)					
Output signal (from 4-20 mA ready only) <sup>*4</sup>	4 to 20 mA, allowable load resistance 300 Ω max.					
Event output (RS-485 communication ready only) <sup>*4</sup>	One open collector output (rating 30V DC, 50 mA), with output type selectable from event function.					
Event function (RS-485 communication ready only) <sup>*4</sup>	Selectable from pulse output for integration <sup>*4</sup> , instantaneous flow rate high/low limit alarm, integration count up/down, or alarm output.					
Communications	RS-485 Communications (3-wire system), MODBUS Protocol Transmission speed 19200 bps max.					
Electrical connection	PA5 Series VA connector (4 pins)					
Display	7-segment, 5-digit display changeable between instantaneous flow rate, integrated (cumulative) flow, and cost.					
Protective structure	IP65. (Rating is based on IEC C 0920 and IEC529. For purposes of installation indoors, device is waterproof and dustproof.)					
Standards compliance	CE marked : EN61326-0-3 : 2006					
Weight	400 g	400 g	400 g	500 g	700 g	1100 g

Notes: <sup>\*1</sup>The unit Limit (normal) refers to the volumetric flow rate adjusted for 0 ~6, 101,325 kPa. <sup>\*2</sup>Flow is displayed as a negative value even if the setting is not changed.  
<sup>\*3</sup>Indication value and integrated pulse output can be displayed and output even if the setting is not changed, but 4-20 mA output requires a change of the span setting.  
<sup>\*4</sup>Integrated pulse output specifications (selectable by settings)  
 - Pulse width: 50 ms, 250 ms, 500 ms  
 - Pulse width: 10, 100, 1000

Model No.	Pulse weight (L/pulse)	Model No.	Pulse weight (L/pulse)	Model No.	Pulse weight (L/pulse)
MCF0080	10, 100, 1000	MCF0151	10, 100, 1000	MCF0400	100, 1000, 10000
MCF0150	10, 100, 1000	MCF0250	10, 100, 1000	MCF0500	100, 1000, 10000

### Selection guide

#### MCF□□□□□□□□ND□□□□□□□□□□: DC 24V Model

Basic model no	Pipe size/range	Material	Connection	Gas type	Power output	Option	Option	Option	Design code	Description	
MCF	0080 0150 0151 0250 0400 0500									Air flowmeter MCF	
											8A(1/2B) - 200L/min
											15A(1/2B) - 500L/min
											15A(1/2B) - 1000L/min
											25A(1B) - 3000L/min
											40A(1 1/2B) - 6000L/min
											50A(2B) - 12000L/min
		A	Body : aluminum alloy O-ring: H-NBR								
		F	Body : aluminum alloy with treated to be oil-inhibiting O-ring : fluororubber(FKM)								
		R	Rc thread <sup>*1</sup>								
		N	NPT thread								
		G	G thread								
		N	Air/Nitrogen								
			001	24V DC / 4-20 mA output / one open collector							
			010	24V DC / RS-485 communication / none outputs							
			0	(None)							
			0	(None)							
			0	(None)							
			K	Anti-static <sup>*1</sup>							
			D	Inspection data provided							
		L	Anti-static + inspection data <sup>*1</sup>								
		Y	Traceability certificate								
		X	Anti-static + traceability Certificate <sup>*1</sup>								
		0	Product version								

<sup>\*1</sup>Options "K", "L" and "X" are not available for MCF□□□□□□□□□□.

**Accessories (sold separately)**

- PA5 Series connector cables

Shape	Power	Cable properties	Cable length	Model No.	Lead color
	DC	Vinyl-insulated cable with high resistance to oil and vibration (UL/NFPA79 CM, CL3)	2 m	PA5-4SX2SK	1: Brown, 2: White, 3: Blue, 4: Black
			5 m	PA5-4SX5SK	1: Brown, 2: White, 3: Blue, 4: Black

Note: Types other than the above are available. Please contact: Yokotaka Corporation.

- Mounting bracket (for MCF0080/0150/0151/0250)

Model No.
81446721-001

- Mist Separator MFF25S Series

Selection guide					Options							
Basic model No.	Type	Pipe size + treated flow rate	Design code	Description	Name	Model No.	Notes					
MFF25S	N			Mist separator for MCF models	Replacement filter element	81441628-001	For MFF25SN080300000					
				Housing + element			81441628-002	For MFF25SN080750000, For MFF25SN150750000				
				Pipe size			Treated flow rate	81441628-003	For MFF25SN151500000			
				080300			8A(1/4B)	300 L/min	81441628-004	For MFF25SN254000000		
				080750			8A(1/4B)	750 L/min	81441628-005	For MFF25SN256000000		
				150750		15A(1/2B)	750 L/min	Mounting bracket	81441629-001	For MFF25SN080300000		
				151500		15A(1/2B)	1500 L/min			81441629-002	For MFF25SN080750000, For MFF25SN150750000, For MFF25SN151500000	
				254000		25A(1B)	4000 L/min				81441629-003	For MFF25SN254000000, For MFF25SN256000000
				256000		25A(1B)	6000 L/min					
				000			None					

- Mist Separator MFF25L Series

Selection guide					Options					
Basic model No.	Type	Pipe size + treated flow rate	Design code	Description	Name	Model No.	Notes			
MFF25L	N			Mist separator for Micro Flow products	Replacement filter element	81441630-001	For MFF25LN406600000			
				Housing + element			81441630-002	For MFF25LN501380000		
				Pipe size		Treated flow rate	Mounting bracket	81441630-002	For MFF25LN501380000	
				406600		40A(1 1/2B)				6600 L/min
				501380		50A(2B)				13800 L/min
				000						None

### Specifications

#### MCF□□□□A□NB010B□□: Battery drive Model

Model No.	MCF0080	MCF0150	MCF0151	MCF0250	MCF0400	MCF0500
Gas types	Air/Nitrogen (Note that gas must be dry, without corrosive components such as chlorine, sulfur and acid. It must also be clean, without dust or oil mist.)					
Flow rate range [L/min(normal)] **	0 to 200	0 to 500	0 to 1000	0 to 3000	0 to 6000	0 to 12000
Accuracy guaranteed flow rate range [L/min(normal)]	4 to 200	10 to 500	20 to 1000	60 to 3000	120 to 6000	240 to 12000
Measurement accuracy	± 3% FS					
Smallest detectable flow rate [L/min(normal)]	2	5	10	30	60	120
Display resolution [L/min(normal)]	1	1	2	5	10	10
Temperature	-10 to +60 °C (without freezing)					
Storage temperature	-10 to +60 °C (without freezing)					
Humidity	0 to 90 % RH (without condensation)					
Pipe size	8A(1/4B)	15A(1/2B)	15A(1/2B)	25A(1B)	40A(1 1/2B)	50A(2B)
Connection type	MCF□□□□□R: Rc thread MCF□□□□□G: G thread					
Body material	Aluminum alloy					
O-ring material	H-NBR					
Case material	Denatured PPO					
Operating pressure range	+0.07 to +1.0 MPa					
Pressure resistance	1.5 MPa					
Mounting orientation	- Horizontal (flow: left → right, right → left) - Vertical (flow: up → down, down → up)					
Power supply	4AA alkaline batteries*					
Sampling cycle/ response time	1s / 30s max					
Output signal	no signal output					
Event output**	Two open collector output (rating 30V DC, 50 mA) ① Event ② Battery alarm					
Event function**	Selectable from pulse output for integration**, instantaneous flow rate high/low limit alarm, integration count up/down or alarm output.					
Electrical connection	PAS Series VA connector (4 pins)					
Display	7-segment, 5-digit display changeable between instantaneous flow rate, integrated (cumulative) flow, and cost.					
Protective structure	IP65 (Rating is based on JIS C 0920 and IEC529. For purposes of installation indoors, device is waterproof and dustproof.)					
Standards compliance	CE marked - EN51326-2-3 : 2006					
Weight	400 g	400 g	400 g	500 g	700 g	1100 g

Notes: \*\* The unit L/min (normal) refers to the volume flow rate adjusted for 0 ~5, 101,325 kPa. \* The 4AA batteries included in the battery back case for a test run.

\*\* ① Integrated pulse output specifications (selectable by setting)

- Pulse width: 500 ms
- Pulse width:

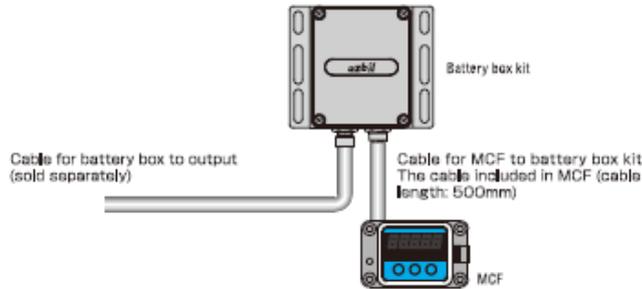
Model No.	Pulse weight (L/pulse)	Model No.	Pulse weight (L/pulse)	Model No.	Pulse weight (L/pulse)
MCF0080	100, 1000	MCF0151	100, 1000	MCF0400	1000, 10000
MCF0150	100, 1000	MCF0250	100, 1000	MCF0500	1000, 10000

### Selection guide

#### MCF□□□□A□NB010B□□: Battery drive Model

Basic model no	Pipe size/range	Material	Connection	Gas type	Power/output	Option 1	Option 2	Option 3	Design code	Description
MCF										Air flowmeter MCF
	0080									8A(1/4B) - 200L/min
	0150									15A(1/2B) - 500L/min
	0151									15A(1/2B) - 1000L/min
	0250									25A(1B) - 3000L/min
	0400									40A(1 1/2B) - 6000L/min
	0500									50A(2B) - 12000L/min
		A								Body : Aluminum alloy, O-ring H-NBR
			R							Rc thread
			G							G thread
				N						Air/Nitrogen
					801					Battery drive
						0				(None)
							B			(None)
								0		(None)
								D		Inspection data provided
								Y		Traceability certificate
									0	Product version

■ Accessories, electrical connection



● Battery drive counter (Kimmon)  
KDC311T

**Specifications**

Input: Pulse  
Pulse width: More than 30ms  
Power Supply: Lithium battery  
Mount: Wall mounted  
Protective: Structure: P X 3  
Weight: 250g

- MCF to battery box kit  
MCF□□□□□□□□NB010B□□

Shape	Cable properties	Cable length	Model No.
	Vinyl-insulated cable with high resistance to oil and vibration (UL/NFPA79 CM, CL3)	2m	PA5-4J8B2SK
		3m	PA5-4J8B3SK
		5m	PA5-4J8B5SK

- Cable for battery box to output

Shape	Cable properties	Cable length	Model No.	Lead color
	Vinyl-insulated cable with high resistance to oil and vibration (UL/NFPA79 CM, CL3)	2m	PA5-4SX2SK	1: Brown, 2: White, 3: Blue, 4: Black
		5m	PA5-4SX5SK	1: Brown, 2: White, 3: Blue, 4: Black

Note: Types other than the above are available. Please contact Yamatake Seipacorp.

- Mist Separator MFF25S Series

Selection guide					Options				
Basic model No.	Type	Pipe size + treated flow rate	Design code	Description	Name	Model No.	Notes		
MFF25S	N			Mist separator for MCF models	Replacement filter element	81441629-001	For MFF25SN080300000		
				Housing + element		81441629-002	For MFF25SN080750000, For MFF25SN150750000		
		Pipe size	Treated flow rate			81441629-003	For MFF25SN151500000		
		080300	8A(1/8)	300 L/min		For MCF0080	81441629-004	For MFF25SN254000000	
		080750	8A(1/8)	750L/min		For MCF0190	81441629-005	For MFF25SN256000000	
		150750	15A(1/2)	750L/min		For MCF0190	Mounting bracket	81441629-001	For MFF25SN080300000
		151500	15A(1/2)	1500L/min		For MCF0190		81441629-002	For MFF25SN080750000, For MFF25SN150750000, For MFF25SN151500000
		254000	25A(1B)	4000L/min		For MCF0250		81441629-003	For MFF25SN254000000, For MFF25SN256000000
		256000	25A(1B)	6000L/min					
				000		None			

- Mist Separator MFF25L Series

Selection guide					Options		
Basic model No.	Type	Pipe size + treated flow rate	Design code	Description	Name	Model No.	Notes
MFF25L	N			Mist separator for Micro Flow products	Replacement filter element	81441630-001	For MFF25LN406600000
				Housing + element		81441630-002	For MFF25LN501380000
		Pipe size	Treated flow rate				
		406600	40A(1 1/2)	6600L/min		For MCF0400	
		501380	50A(2B)	13800L/min		For MCF0500	
			000	None			

## Precautions (For details, refer to the user's manual.)

### ● Precautions for use

- Do not use for gases other than air and nitrogen. Doing so might have serious consequences, such as fire or explosion.
- Do not use in excess of the operating pressure range. Do not apply a pressure greater than the pressure resistance. Doing so might result in measurement error or damage to this device.
- Application of more than 10 times the full-scale flow rate might result in measurement error or damage to this device.
- Position the display, which can be rotated up to 270°, in an easy-to-see direction, taking into account the location of the cable and the location of the display.
- When changing the output settings, stop the control system equipment first to avoid unexpected operational errors.
- Since this device does not have built-in protection against lightning, be sure to provide lightning surge protection for the equipment.
- If there is equipment or a device (e.g., electromagnetic lift, high-frequency induction furnace) generating surges nearby, take countermeasures at the surge-generating equipment, and do not run its wiring together with that of the MCF.
- Be sure to use within the specified flow rate range. To prevent flow at an excessive rate, use instrumentation with appropriate supply pressure management and install a throttling valve. If the flow rate exceeds 10 times the upper limit of the range, the displayed and output values might be lower than the actual flow rate.

### ● Precautions for installation and piping

- Handle this precision device with much care. Dropping it or subjecting it to impact may result in damage.
- To attach this device to a pipe, fix the MCF in place, and then rotate the connecting pipe to the tightening torque specified in the table below.

Model No.	Pipe size	Tightening torque (N·m)
MCF090	3/8"	12 to 14
MCF0150 MCF0151	7/8"	31 to 33
MCF250	1"	36 to 38
MCF400	1 1/8"	55 to 61
MCF600	2"	74 to 76

- Prevent foreign matter from entering the device. If rust, water droplets, oil mist, or dust in the piping enters the device, measurement error or damage to the device might result. Before installation, thoroughly flush the upstream and downstream piping and check that no foreign matter remains. If there is a possibility of foreign matter entering the device, install an upstream filter, strainer or mist trap capable of eliminating foreign matter 1 µm or greater in diameter, and be sure to periodically inspect and replace the filter.
- Use an appropriate amount of sealant on the pipe threads, but do not coat the top two threads. If too much sealant is applied, it might enter the pipe, causing measurement error or damage to this device.
- This device can be mounted in any direction. However, if it is mounted on a horizontal pipe with the display in front (in a vertical plane), a measurement error might occur, depending upon the application pressure (see specifications). Also, if the device is mounted on a horizontal pipe with the display facing downward, rust, water droplets, oil mist, or dust in the piping may stick to the sensor, resulting in measurement error or damage.
- Do not install near the output of a compressor or in a similar location affected by pulsing flow or drift. Do not install near a check valve that is hunting. Measurement error might result.

### ● Accuracy and straight pipe length

(Connection with different size piping, valve or filter)

- Install straight pipes as needed with the lengths given in the table below. If a device that is not listed in the table is installed either upstream or downstream, contact Yamatake for the length of the straight pipe section. If reverse flow is also expected, it is necessary to have the same length of straight pipe downstream as upstream.

Pipe or connected device	Location in relation to the MCF	Straight pipe section for this device	
		For accuracy within product specification range ( $\pm 3\%$ FS)	For accuracy of $\pm 5\%$ FS
MFF25S mist separator for MCF090/0150/0151/0250 *	Upstream	100	(Not required)
MFF25L mist separator for MCF400/0500 *	Upstream	200	(Not required)
Pipe one size larger in dia. (connected with reducer)	Upstream	50	(Not required)
MCF090 3/8" → 1/2"	Downstream	(Not required)	(Not required)
MCF0150/0151 3/8" → 1/2"			
MCF0250 1 1/8" → 1"			
MCF400 2" → 1 1/8"			
Pipe one size larger in dia. (connected with reducer)	Upstream	100	50
MCF090 2 1/8" → 2"	Downstream	50	50
Pipe more than one size smaller in dia. (connected with enlarging pipe)	Upstream	200	50
MCF090 1/2" → 3/8"	Downstream	(Not required)	(Not required)
MCF0150 / 0151 3/8" → 1/2"			
MCF0250 1/2" → 1"			
MCF400 1 1/8" → 1 1/2"			

Notes: \*L: Do not connect a carbon steel pipe for pressure service (JIS G3455) or stainless steel pipe (JIS G3055) that is larger than schedule 40. Doing so might cause a deterioration of accuracy. #: The pipe schedule number is larger, the inner pipe diameter is smaller, resulting in reduced accuracy. \*\*: The straight pipe section lengths given in the right-hand column above are for connection of a pipe of the same size (inner diameter) as the MCF.

Pipe or connected device	Location in relation to the MCF	Straight pipe section for this device	
		For accuracy within product specification range ( $\pm 3\%$ FS)	For accuracy of $\pm 5\%$ FS
Pipe more than one size smaller in dia. (connected with enlarging pipe)	Upstream	250	100
MCF0900 1 1/8" → 2"	Downstream	50	50
Single elbow	Upstream	100	(Not required)
	Downstream	(Not required)	(Not required)
Double elbow	Upstream	100	100
	Downstream	(Not required)	(Not required)
Ball valve (full-core type full open)	Upstream	(Not required)	(Not required)
	Downstream	(Not required)	(Not required)
Regulator - for MCF090	Upstream	200	(Not required)
	Downstream	100	(Not required)
Regulator - for MCF0150/0151/0250/0400/0500	Upstream	300	(Not required)
	Downstream	50	(Not required)
Air filter	Upstream	250	(Not required)

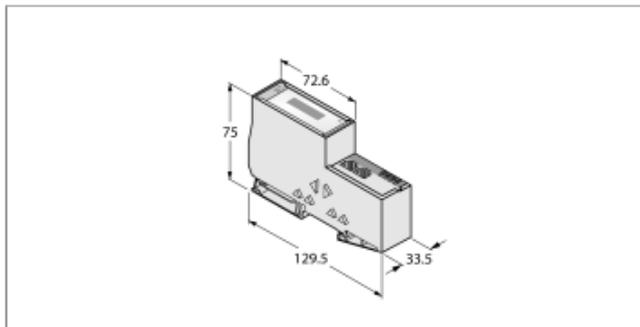
### ● Precautions for electric wiring

- Supply electrical power within the specified range.
- Be sure to check that the wiring is correct before turning the power ON. Incorrect wiring can cause damage or malfunction. Do not wire while the power is ON.
- Do not rotate the connector after it is inserted into the device. If it is rotated, the internal wiring might be twisted and damaged.
- Run the wiring for this device separately from power or high voltage lines (use a separate electrical conduit).

# ANEXO D. Manual gateway



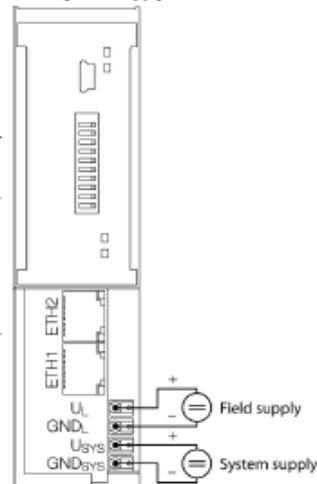
## Multiprotocol interface for Ethernet BL20-E-GW-EN



- Protection class IP20
- 2 x end brackets BL20-WEW35/2-SW
- 1 x end plate BL20-ABPL
- LEDs for display of supply voltage, group and bus errors
- Multiprotocol gateway between the BL20 system and the Ethernet protocols Modbus TCP, EtherNet/IP™ and PROFINET (from VN 03-00)
- PROFINET supports fast start-up (FSU)
- EtherNet/IP™ supports QuickConnect (QC)
- Integrated switch 10/100 Mbps
- Two RJ45 ports for fieldbus connection
- Push-in terminals for connection of power supply

<b>Type code</b>	BL20-E-GW-EN
<b>Ident no.</b>	6827329
<b>Supply voltage</b>	24 VDC
System power supply	24 VDC / 5 VDC
Field supply	24 VDC
Admissible range	18...30 VDC
Nominal current from module bus	≤ 200 mA
Max. field supply current	8 A
Max. system supply current	0.4 A
Voltage supply connection	Push-in terminals
<b>Fieldbus transmission rate</b>	10/100 Mbps, Full/Half Duplex, Auto Negotiation, Auto Crossing
<b>System data</b>	
Max. number of I/O modules	31
Connection technology Ethernet	2 x RJ45, female
Protocol detection	automatic
Web server	192.168.1.254 (Default)
Service interface	Ethernet
<b>Modbus TCP</b>	
Addressing	Static IP, BOOTP, DHCP
Supported function codes	FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6, FC15, FC16, FC23
Number of TCP connections	8
Input Data Size	max. 1024 register
Input register start address	0 (0x0000 hex)
Output Data Size	max. 1024 register
Output register start address	2048 (0x0800 hex)
<b>EtherNet/IP™</b>	
Addressing	acc. to EtherNet/IP™ specification
Device Level Ring (DLR)	supported
Number of CIP connections	8
<b>PROFINET</b>	
Addressing	DCP
Conformance class	B (RT)
MinCycleTime	1 ms
Diagnostics	acc. to PROFINET alarm handling
Topology detection	supported
Automatic addressing	supported

### Field/System Supply



### Functional principle

BL20 gateways are the head component of a BL20 station. They are designed to interface the modular fieldbus nodes to the higher level fieldbus (PROFIBUS-DP, DeviceNet, CANopen, Ethernet).

All BL20 electronic modules communicate over the internal module bus, the data of which is transferred to the fieldbus via the gateway, so that all I/O modules can be configured independently of the bus system.

## Multiprotocol interface for Ethernet BL20-E-GW-EN



Dimensions (W x L x H)	33.5 x 129.5 x 74.4mm
Approvals	CE, cULus, zone 2, Class I, Div. 2
Operating temperature	0...+55 °C
Storage temperature	-25...+85 °C
Relative humidity	5 to 95% (Internal), Level RH-2, no condensation (at 45 °C storage)
Vibration test	acc. to EN 61131
Shock test	acc. to IEC 68-2-27
Drop and topple	acc. to IEC 68-2-31 and free fall to IEC 68-2-32
Electro-magnetic compatibility	acc. to EN 50,082-2
Protection class	IP20
Included in delivery	2 x end brackets BL20-IWEW-35/2-0W, 1 x end plate BL20-ABPL

Edition • 2016-06-12T10:14:33+02:00

2 / 3 Hans Turck GmbH & Co.KG • D-45472 Mülheim an der Ruhr • Witzlebenstraße 7 • Tel. 0208 4952-0 • Fax 0208 4952-264 • [more@turck.com](mailto:more@turck.com) • [www.turck.com](http://www.turck.com)

**Multiprotocol interface for Ethernet  
BL20-E-GW-EN**



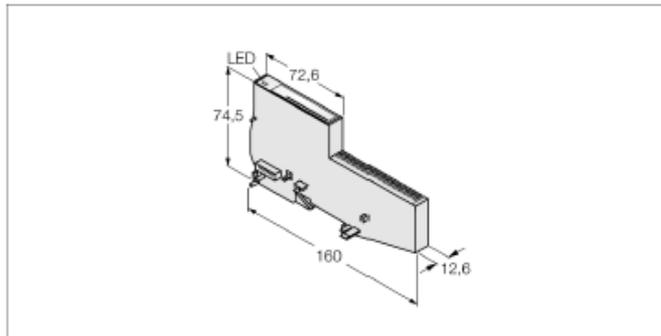
**Anschlussübersicht**

	<p><b>Ethernet</b>                  Fieldbus cable (example):                  RJ45B-RJ45B-441-2M (Ident no. 6932517) or                  RJ45-FK3DD-441-0,5M/S2174 (Ident no. 6914221)</p>	
	<p><b>Power Supply</b>                  The <math>U_{sys}</math> system supply feeds power to the gateway and the I/O modules.                  The <math>U_f</math> field supply feeds power to the sensors and actuators.</p>	

Edition - 2016.06-12T10:14:33+02:00

# ANEXO E. Manual dos módulos

## BL20 Economy Module 8 2-wire analog inputs U/I resp. 4 2/3-wire PT/Ni inputs BL20-E-8AI-U/I-4PT/Ni



- Fieldbus-independent
- Electronics and connection technology in one housing
- Connectivity: Push-in terminals
- Protection class IP20
- LEDs indicate status and diagnostic
- Electronics galvanically separated from the field level via optocouplers
- 8 analog 2-wire inputs U/I
- Passive input - External supply
- 0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA, -10 ... +10 VDC or 0 ... +10 VDC, selectable per channel
- Alternatively: 4PT/Ni inputs (always 2 analog inputs are combined to a PT/Ni 2/3-wire input)

Type designation	BL20-E-8AI-U/I-4PT/Ni
Ident no.	6827325
<b>Number of channels</b>	8/4
Rated voltage from the supply terminal	24 VDC
Admissible range	18...30 VDC
Nominal current from field supply	≤ 35 mA
Nominal current from module bus	≤ 35 mA
Power loss, typical	≤ 1.5 W
<b>Inputs</b>	
Input type	0/4 ... 20 mA, -10/0...10 VDC, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, Ni100, Ni1000, 0...250 Ω, 0...400 Ω, 0...800 Ω, 0...2000 Ω, 0...4000 Ω
Input resistance	< 62 Ω (current) resp. > 98.5 kΩ (voltage)
Max. input current	current: 50 mA
Max. input voltage	Voltage: -20 VDC < U < 20 VDC
Potential separation	electronics for the field level
Connection technology	push-in push-in
<b>Maximum limiting frequency analog</b>	1.5 Hz
Basic fault limit at 23 °C	< 0.2 %
Temperature coefficient	< 200 ppm / °C of full scale
Resolution	16 Bit
Measured-value display	16 bit signed Integer 12 bit full range left-justified 12 bit left-justified
Conversion time	< (44 x [ number of actively parametrized channels]) ms
<b>Number of diagnostics bytes</b>	8
Number of parameter bytes	8
<b>Dimensions (W x L x H)</b>	12.6 x 160 x 74.6mm
Approvals	CE, cULus, zone 2, Class I, Div. 2
Operating temperature	0...+55 °C
Storage temperature	-25...+85 °C
Relative humidity	5 to 95% (Internal), Level RH-2, no condensation (at 45 °C storage)
Vibration test	acc. to EN 61131
Shock test	acc. to IEC 68-2-27
Drop and topple	acc. to IEC 68-2-31 and free fall to IEC 68-2-32
Electro-magnetic compatibility	acc. to EN 50,062-2
Protection class	IP20

### Functional principle

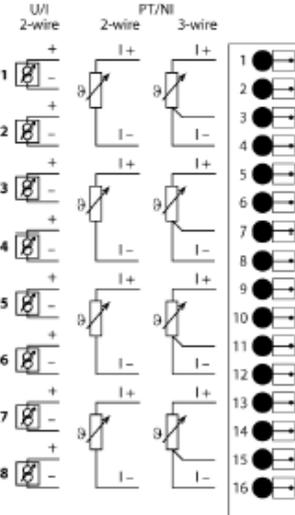
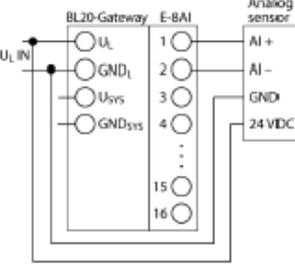
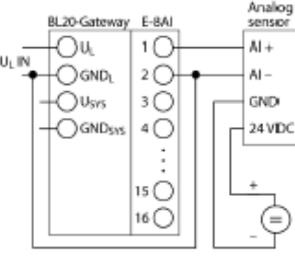
Electronics and connection technology are integrated in the housing. A base module is not needed. Economy modules and modules with separate electronics and connection technology can be fitted into a station, provided the base modules feature tension spring connections.

The use of gateways makes economy modules completely independent from the higher level fieldbus.



**BL20 Economy Module**  
**8 2-wire analog inputs U/I resp. 4 2/3-wire PT/Ni inputs**  
**BL20-E-8AI-U/I-4PT/Ni**

Terminal assignment

	<p><b>Analog Inputs</b></p> <p>The pin assignment is dependent on the sensor type. Examples of the most common 2- and 4-wire sensors with electric current or voltage signal are listed below.</p> <p><b>Note:</b> Open inputs and/or unused channels should not be programmed in the Pt/Ni or resistance (R) mode, because this may lead to minor measurement errors at adjacent channels. However, if this is necessary, the affected channels must be terminated with a resistance. Thereby the resistance value must be in the programmed measuring range.</p>	
	<p><b>4-wire sensor (U/I)</b></p> <p>The sensor and the BL20 U<sub>L</sub> fuse are fed from a common source. The sensor and the BL20 U<sub>L</sub> fuse are automatically on the same GND potential.</p>	
	<p><b>4-wire sensor (U/I)</b></p> <p>The sensor and the BL20 U<sub>L</sub> are fed from different sources. U<sub>L</sub> of the BL20 system and AI of the sensor must be on the same GND-potential. For this, U<sub>L</sub> and AI must be bridged.</p>	

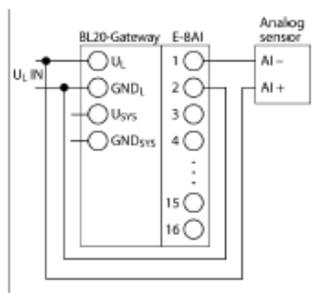
E88001 • 2016-11-04T10:09:21+01:00

**BL20 Economy Module**  
**8 2-wire analog inputs U/I resp. 4 2/3-wire PT/Ni inputs**  
**BL20-E-8AI-U/I-4PT/Ni**



**2-wire sensor (U/I)**

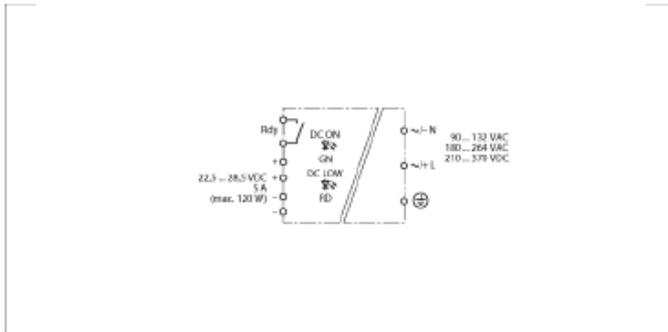
The sensor and the BL20 U<sub>L</sub> fuse are fed from a common source. The sensor and the BL20 U<sub>L</sub> fuse are automatically on the same GND potential.



## ANEXO F. Manual fonte de alimentação

**interface  
modul**

**Switching power supply  
IM82-24-5,0**

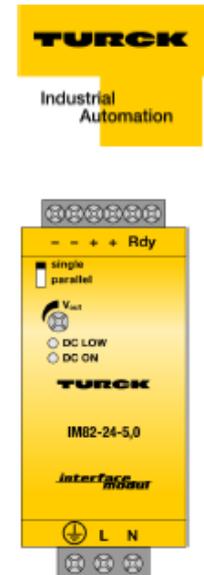


The IM82-24-5,0 power supply unit is designed for DC consumers, in particular for the supply of switching and monitoring devices of the TURCK IM, IME, IMS and IMC interface module series.

The power supply provides 24 VDC output voltage and 5.0 A output current. With the potentiometer  $V_{act}$ , the output voltage can be adjusted in a range between 22.5...28.5 VDC. The device provides safety extra-low voltage (SELV) according to EN 60950.

The power supply can be set to single or parallel operating mode.

- cULus listed
- Safety extra-low voltage SELV IEC/ EN 60950
- SEMI-F47
- Output voltage adjustable 22.5...28.5 VDC
- Nominal current 5 A
- Single/parallel operating mode
- Surge protection
- Removable terminals
- Mains buffering up to 30 ms
- Power-good relay





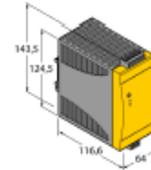
**Switching power supply**  
**IM82-24-5,0**

**TURCK**

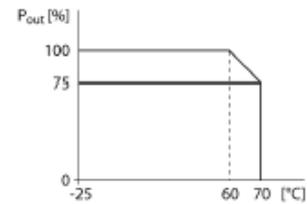
Industrial  
Automation

<b>Type designation</b>	IM82-24-5,0
<b>Ident no.</b>	7545042
<b>Nominal voltage</b>	Universal voltage supply unit
<b>Operating voltage</b>	90...132 VAC and 186...264 VAC
<b>Frequency</b>	47...73 Hz
<b>Operating voltage range</b>	210...370 VDC
<b>Power consumption</b>	≤ 145 VA
<b>PFC</b>	0.7
<b>Efficiency</b>	86 %
<b>External fuse</b>	B5A
<b>Internal fuse</b>	T 3.15 A / 250 VAC
<b>Inrush current</b>	UI = 115 VAC, 24 A; UI = 230 VAC, 48 A
<b>Mains buffering</b>	UI = 115 VAC, 25 ms; UI = 230 VAC, 30 ms
<b>Nominal output voltage</b>	24 V
<b>Adjustment range</b>	22.5...28.5 V
<b>Nominal current</b>	5 A
<b>Output circuits (digital)</b>	relay (NO), > 17.6 ... 19.4V
<b>Output switching voltage relay</b>	≤ 60 VDC / ≤ 250 VAC
<b>Switching current per output</b>	≤ 0.3 A
<b>Overload protection</b>	105-145 %
<b>Surge limiting</b>	125-145 %
<b>Parallel mode</b>	yes, switchover initiated by a switch, max. 3 devices each with 90 % load current
<b>Ripple</b>	50 mV
<b>Pollution degree</b>	2
<b>Surge category</b>	II
<b>Short-circuit behaviour</b>	Current limiting
<b>Limit frequency</b>	≤ 80000 Hz
<b>Galvanic isolation</b>	
<b>Test voltage</b>	3.0 kV
<b>Indication</b>	
<b>Operational readiness</b>	green
<b>Error Indication</b>	red
<b>Protection class</b>	IP20
<b>Flammability class acc. to UL 94</b>	V-0
<b>Ambient temperature</b>	-25...+70 °C
<b>Storage temperature</b>	-25...+85 °C
<b>Derating</b>	-2.5%/°C from 60°C
<b>Relative humidity</b>	≤ 95 %
<b>Dimensions</b>	143.5 x 64 x 116.6 mm
<b>Weight</b>	978 g
<b>Mounting Instructions</b>	DIN rail (NS35)
<b>Housing material</b>	Metal
<b>Electrical connection</b>	screw terminals
<b>Terminal cross-section</b>	0.2...2.0 mm <sup>2</sup>
<b>Tightening torque</b>	0.5 Nm

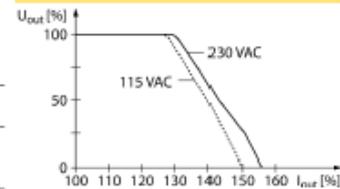
**Dimensions**



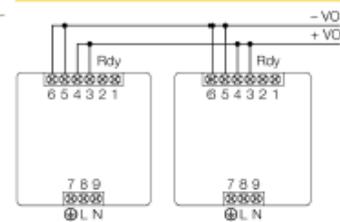
**Derating**



**Short-circuit behaviour**



**Parallel operation**



Edition: 2016-11-04/16533140100