



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Marco Serge Marques Pedro

Sistema de Supervisão de Linhas de Produção em Série

Relatório de Estágio

Orientado por:

Doutor Paulo Coelho – Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Mestre Ana Cristina – Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Relatório de Estágio
apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre
em Controlo e Electrónica Industrial

RESUMO

Após anos de desenvolvimento tecnológico, as empresas de produção em massa deixaram de utilizar apenas mão-de-obra manual, para passar a utilizar máquinas de precisão muito alta. Deste modo é possível obter um produto mais perfeito e em maior quantidade por tempo de produção.

Devido à velocidade de produção, apareceu a necessidade de criar sistemas computadorizados capazes de contabilizar a produção fabril, de modo a haver uma correcta gestão do produto acabado, evitando a criação de stocks. Já existem sistemas deste género, mas são muito dispendiosos, e muito focados para um tipo específico de tecnologia (ex.: máquinas que funcionem à base de autómatos).

O sistema apresentado à empresa Schaeffler Portugal, S.A., tem de ter características muito específicas, pois esta empresa apresenta um dos ambientes de trabalho mais exigentes conhecido (ambientes físico, e eléctrico). No entanto, o sistema está já preparado pra funcionar com todo o tipo de máquinas, quer funcionem com autómatos de marcas/modelos diferentes, ou mesmo que não funcionem através de autómatos; estando assim o sistema pronto para ser comercializado para outras indústrias diferentes da de destino.

Este relatório tem por objectivo apresentar a fábrica e seu ambiente, assim como o sistema actualmente instalado e a proposta para o sistema futuro.

Palavras-chave: Linhas de produção em série, Máquinas, Autómatos, ZigBee.

ABSTRACT

After years of technological development, the mass production companies left the hand-made production for the high precision machines. This way it's possible to get a much perfect product, in an higher quantity with the same production time.

Due to the production speed, appeared the necessity to create computadorized systems able to count the production, so that it is possible to control the finished goods, reducing the amount of stocks. There are already some systems of this kind, but they are a bit expensive, and built to work with a specific technology (ex.: automated machines).

The system presented to Schaeffler Portugal, S.A., need's much specified characteristics, due to the rigorous work environment (physical and electrical environment). Still, the system is built to work with any type of machines, automated or not, or with different brands of computers; making it possible to sell the system to different industries.

This report has the objective to present the plant and its environment, the actual installed system, and the proposal for the future.

Keywords: Mass production lines, Machines, Automaton, Programming, ZigBee.

Índice

Índice	IX
Índice de figuras	XI
Índice de tabelas	XIV
Introdução	15
Capítulo 1 – Apresentação da Empresa	16
Grupo Schaeffler:	16
Marcas:	19
LuK:	19
INA:	20
FAG:	21
Tecnologia:	22
Schaeffler Portugal:	23
Fábrica:	24
Fabricação:	25
Rolamento:	27
Sistema de Supervisão:	32
Capítulo 2 – Estudo do Sistema de Supervisão	37
Caso de Estudo:	37
Estado de Conservação:	37
Verificação das Máquinas:	42
Erro de Turno:	46
Tempo de Ciclo:	52
Capítulo 3 – Sistema Actual e Possíveis Alterações	55
Sistema Actual:	55
Registador:	55
Comunicação:	57
Capítulo 4 – Solução Wireless	65
Apresentação do ZigBee:	65
Topologias de redes ZigBee:	66

Módulos XBee:	69
Capítulo 5 – Aplicação física	74
Equipamento de Registo:	74
Teste ao circuito de comunicação:.....	78
Sistema de comunicação sem fios:	81
Teste à comunicação wireless:.....	86
Conclusão	90
Referências bibliográficas	91
Anexos.....	93

Índice de figuras

Figura 1 - Localização das fábricas do Grupo Schaeffler	16
Figura 2 - Separação da produção por divisões.....	17
Figura 3 - Diferentes componentes da Divisão Automóvel	18
Figura 4 - Áreas de acção da Divisão Industrial.....	18
Figura 5 - Áreas de acção da Divisão Aeroespacial	19
Figura 6 - Produtos e aplicações da marca LuK.....	20
Figura 7 - Produtos e aplicações da marca INA	21
Figura 8 - Produtos e aplicações da marca FAG	22
Figura 9 - Tecnologias de produção do Grupo Schaeffler.....	23
Figura 10 - Evolução dos edifícios da Schaeffler Portugal	24
Figura 11 - Processo de produção da fábrica 2.....	26
Figura 12 - Processo de produção da fábrica 1.....	27
Figura 13 - Anel Exterior (acções realizadas no anel).....	28
Figura 14 - Anel Interior (acções realizadas no anel).....	28
Figura 15 - Gaiola de Metal (Geração C).....	29
Figura 16 - Gaiola de Plástico	29
Figura 17 - Deflector de Plástico.....	30
Figura 18 - Deflector de Metal	30
Figura 19 - Rolamento de Geração C	31
Figura 20 - Rolamento de esferas regular.....	31
Figura 21 - Aparelho de registo de produção	33
Figura 22 - Método de cálculo do Timer Time	34
Figura 23 - Conectores de comunicação danificados	38
Figura 24 - Conector de comunicação caído	39
Figura 25 - Invólucro de protecção partido (removido)	40
Figura 26 - Caixa partida no conector de alimentação	40
Figura 27 - Proximidade da porta da máquina ao conector	41
Figura 28 - Temporizador de tempo de ciclo da máquina.....	42
Figura 29 - Contador de peças produzidas pela máquina.....	42
Figura 30 – Gráfico dos tipos de contagem dos registadores	45

Figura 31 - Quantidade de perdas da primeira máquina (primeiro dia)	46
Figura 32 - Quantidade de perdas da primeira máquina (segundo dia)	47
Figura 33 - Quantidade de perdas da segunda máquina (primeiro dia)	48
Figura 34 - Quantidade de perdas da segunda máquina (segundo dia)	48
Figura 35 - Quantidade de perdas da terceira máquina (primeiro dia)	49
Figura 36 - Quantidade de perdas da terceira máquina (segundo dia)	49
Figura 37 - Quantidade de perdas da linha de montagem 6202 (primeiro dia)	50
Figura 38 - Quantidade de perdas da linha de montagem 6202 (segundo dia)	51
Figura 39 - Diferença de tempos de ciclo das máquinas da linha 1	53
Figura 40 - Diferença de tempos de ciclo das máquinas da linha 2	54
Figura 41 - Interior de um equipamento de registo de produção	56
Figura 42 - Pormenor dos integrados responsáveis pela comunicação do registador	57
Figura 43 - Ligação RS-485 de dois dispositivos	58
Figura 44 - Ligação RS-485 de múltiplos dispositivos	58
Figura 45 - Repetidor de linha para mais dispositivos e mais distância	59
Figura 46 - Esquema de ligação do sistema actual	60
Figura 47 - Registador desligado da rede de comunicação	61
Figura 48 - Ligação dos dois conectores de comunicação de um registador	62
Figura 49 - Alternativa de ligação do sistema de comunicação dos registadores	63
Figura 50 - Sectores onde se implementa a tecnologia ZigBee	66
Figura 51 - Tipologias de comunicação ZigBee	68
Figura 52 - Tipos de antena dos dispositivos XBee	70
Figura 53 - Comparação dos módulos XBee e XBee-PRO	72
Figura 54 - Ligação de módulos XBee em malha	73
Figura 55 - Esquema de ligação do simulador de registador	75
Figura 56 - Montagem em placa de testes do circuito do simulador de registador	76
Figura 57 - Placa de conversão USB para RS-485 para testes	76
Figura 58 - Placa de simulação de registador	77
Figura 59 - Ligação do primeiro led do dispositivo após recepção de mensagem	78
Figura 60 - Mensagem devolvida pelo microcontrolador	79
Figura 61 - Ligação do quarto led do dispositivo após recepção de mensagem	80
Figura 62 - Mensagem devolvida pelo microcontrolador	80

Figura 63 - Esquema de ligações da placa de comunicação wireless.....	82
Figura 64 - Pormenor do conector de ligação ao socket	83
Figura 65 - Placa de comunicação wireless.....	83
Figura 66 - Esquema de ligação da placa de conversão USB para RS-485	84
Figura 67 - Placa de conversão USB para RS-485.....	85
Figura 68 - Placa de conversão USB para Wireless	85
Figura 69 - Simulados de registador com placa de comunicação wireless	86
Figura 70 - Comunicação sem fios entre os dois dispositivos.....	87
Figura 71 - Resposta enviada pelo microcontrolador para o computador.....	88
Figura 72 - Sinal de recepção da placa mestre no segundo teste.....	89

Índice de tabelas

Tabela 1 - Comparação de contagem de peças das máquinas com o real.....	43
Tabela 2 - Tempos de ciclo para as linhas 1 e 2 (máquinas e registradores vs. real).....	52
Tabela 3 - Descrição de cada pino dos módulos XBee	72

Introdução

Após alguns meses de deliberação entre realizar um estágio curricular ou um projecto final de mestrado, concluí que seria melhor realizar o estágio, para ter alguma experiencia profissional antes de entrar no mercado de trabalho e ainda para entender exactamente como funciona uma empresa por dentro. De imediato iniciei o contacto com a empresa Schaeffler Portugal, S.A. sediada na minha terra natal Caldas da Rainha.

Depois de três reuniões com a responsável dos Recursos Humanos, e com o possível futuro coordenador interno, foi acordado que poderia realizar o estágio na empresa com a duração de nove meses.

O objectivo do estágio seria estudar o actual sistema de supervisão de produção das máquinas. Este sistema adquire a contagem de produção de cada máquina na fábrica, e ainda contabiliza as horas de trabalho e de paragem para cada colaborador. Com este estudo deveria verificar se este sistema tinha um funcionamento correcto, e se era possível implementar novas tecnologias, como por exemplo comunicação sem fios.

Além disso, observei que haveria a possibilidade de, além de realizar o estágio, poder desenvolver um sistema físico que me fornece-se bases na área para o futuro.

Neste relatório estão presentes os diversos estudos realizados ao sistema de supervisão actual, apresentando os respectivos resultados e conclusões. Adicionalmente, sugerem-se sistemas alternativos ao actual.

Um dos sistemas alternativos que originou maior interesse por parte da empresa foi o sistema de comunicação sem fios, pelo que a parte final da dissertação reporta a o projecto e implementação física desse sistema, como exemplo para a fábrica.

Capítulo 1 – Apresentação da Empresa

Neste primeiro capítulo da dissertação será apresentado o Grupo Schaeffler, com diversas fábricas a nível mundial. A fábrica que acolheu o estágio está instalada nas Caldas da Rainha.

Grupo Schaeffler:

O Grupo Schaeffler é um fornecedor de renome na indústria automóvel e um dos principais produtores mundiais de rolamentos. O grupo tem perto de 80 fábricas de produção e aproximadamente 100 pontos de venda, tudo isto em mais de 50 países.

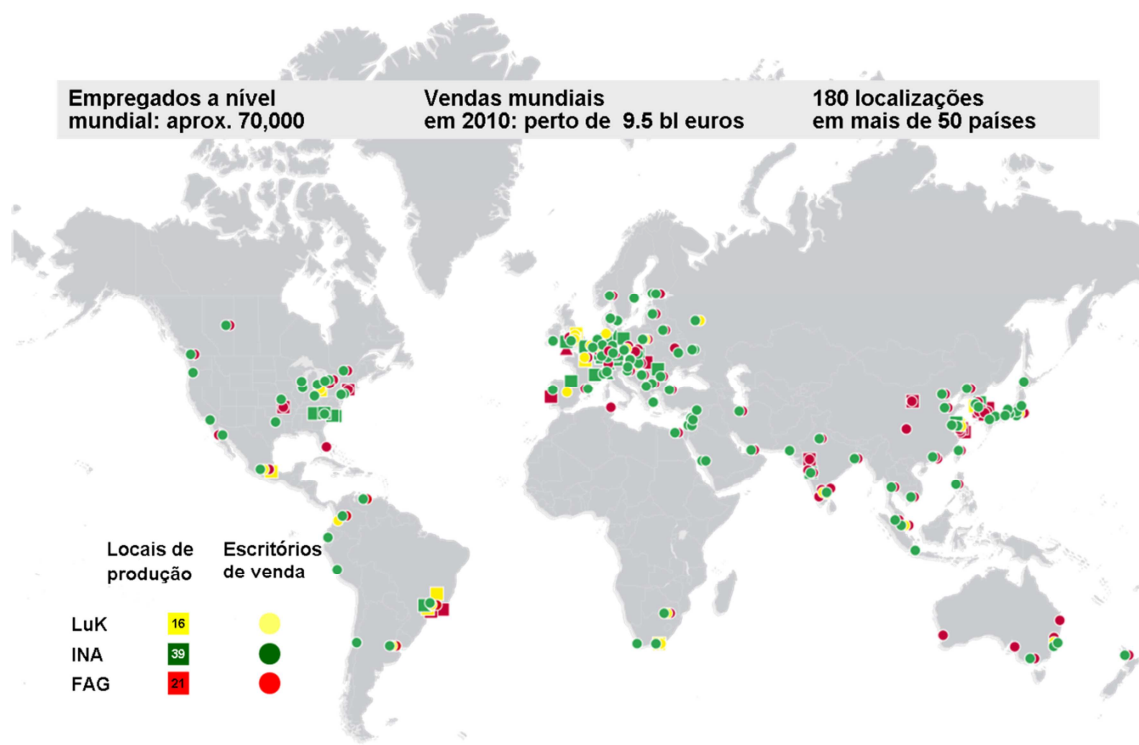


Figura 1 - Localização das fábricas do Grupo Schaeffler

No grupo existem várias marcas de produtos diferentes, cada uma delas orientada para uma área mais específica. As três marcas principais são: INA, FAG e LuK.

Por haver uma orientação variada entre as marcas de produtos, o grupo está repartido em três divisões, a Schaeffler Automóvel, a Schaeffler Industrial e a Schaeffler Aeroespacial, possibilitando assim uma melhor ligação com o cliente.



Figura 2 - Separação da produção por divisões

A Schaeffler Automóvel engloba 60% do volume total de vendas, sendo fornecida pelas três marcas principais já referenciadas, mas também por outras marcas mais pequenas. Esta área é também ela subdividida por unidades de negócio, sendo elas: Motor, Transmissões, Chassis, Sistemas de embraiagem e Mercado pós-venda.

Quase todos os veículos vêm equipados com produtos da INA, FAG e LuK, chegando alguns veículos a ter 100 componentes no total.

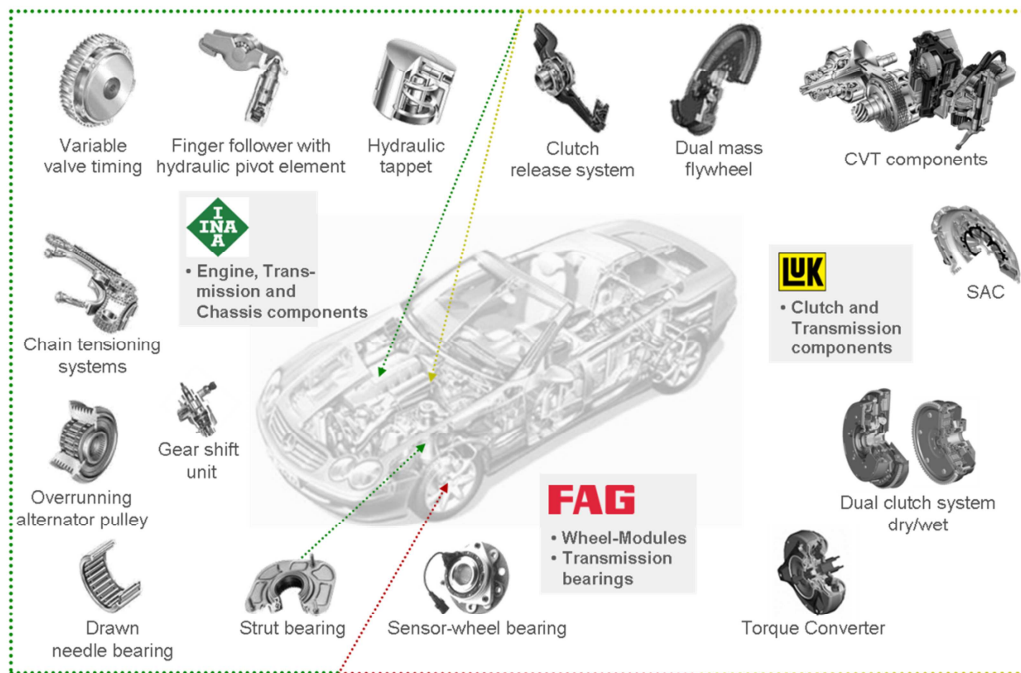


Figura 3 - Diferentes componentes da Divisão Automóvel

A divisão Industrial, a segunda maior do grupo, fornece uma vasta gama de produtos pertencentes à INA e à FAG. Esta divisão é mais orientada para a indústria pesada, transmissão de energia e máquinas de produção. A Schaeffler Industrial engloba cerca de 60 sectores industriais.



Figura 4 - Áreas de acção da Divisão Industrial

A Schaeffler Aeroespacial é a divisão mais pequena do grupo, e fornece rolamentos para aviões com a marca FAG. Em algumas aplicações especiais de precisão, são fornecidas peças de outras duas marcas, Barden e a Lacey. Estas duas marcas produzem rolamentos de alta precisão para a produção de equipamentos médicos, por exemplo.

	Produtos	Aplicações	Clientes
 Aeroespacial	Rolamentos especiais e componentes para aviação e aeroespacial	Motores para helicópteros, Transmissões para veículos espaciais, aplicações especiais 	GE-General Electric RollsRoyce Pratt & Whitney NASA/EADS SNECMA Airbus Boeing
 Super Precisão	Rolamentos especiais e componentes para aviação, aeroespacial, Instrumentos médicos	Motores para satélites, Instrumentos para aviões, Equipamento de raio-X 	RollsRoyce Pratt & Whitney Honeywell BAE Systems Siemens GE-General Electric Dunlee (Phillips)
 Equipamentos Médicos	Rolamentos de alta precisão Equipamentos médicos	Equipamento médico 	Hospitais Laboratórios e Institutos de investigação

Figura 5 - Áreas de acção da Divisão Aeroespacial

Marcas:

Agora vai ser realizada uma melhor explicação de cada marca pertencente ao grupo (apenas as três principais).

LuK:

A LuK Group está estabelecida na cidade de Bühl na Alemanha. Esta marca fornece exclusivamente produtos para automóveis, mais especificamente embraiagens e transmissões, daí o seu nome LuK – **L**amelle **u**nd **K**upplung (discos e embraiagens em alemão). A LuK tem um papel pioneiro em muitos dos produtos, e é líder no campo da tecnologia.

A LuK participa no desenvolvimento de sistemas com outras marcas como por exemplo o Multitronic da Audi, ou o Easytronic da Opel.

Produtos	Aplicações	Marcas adicionais
• Sistemas de embraiagem • Dupla embraiagem • Volantes de massa dupla • Componentes CVT • Conversores de binário 	• Industria automóvel • Fabricantes de produtos • Mercado pós-venda 	• Mercado automóvel pós-venda • LuK Repset • LuK Meisterservice (LMS) • AUTOMEISTER • AutoView • RepXpert

Figura 6 - Produtos e aplicações da marca LuK

INA:

A marca INA está localizada na cidade Herzogenaurach, também na Alemanha. Esta marca já tem um fornecimento mais amplo que a LuK, fornecendo tanto para a divisão Automóvel como também para a Industrial.

Na área automóvel é o líder mundial em desenvolvimento e produção de componentes de precisão para motores, transmissões e acessórios. Os componentes para motores da INA garantem uma melhoria de prestações, com uma redução de emissões e consumo.

Na área industrial, o conjunto INA/FAG é o segundo maior produtor de rolamentos e sistemas lineares para aplicações industriais. O Grupo Schaeffler apareceu a 1 de Janeiro de 2006, quando a INA-Schaeffler e a FAG-Kugelfischer se uniram. Actualmente, perto de 60 fábricas produzem rolamentos com a marca INA/FAG.

A empresa foi fundada em 1946 pelos irmãos Georg e Wilhelm Schaeffler. Foi nos primeiros anos da década de 50 que a empresa se expandiu, com a invenção do rolamento de agulhas com gaiola. Depressa a empresa passou a ser internacional, com as primeiras fábricas a serem instaladas no estrangeiro a meados dos anos 50, na Inglaterra, França e no Brasil.

Produtos	Aplicações	Marcas adicionais
Componentes de precisão para automóveis, rolamentos e rótulas, guias lineares. 	• Indústria automóvel • Indústria e distribuição 	• ELGES • ELGOGLIDE® • HYDREL • IDAM • REGE • WPB • X-life

Figura 7 - Produtos e aplicações da marca INA

FAG:

A marca FAG tem a base instalada na cidade de Schweinfurt (Alemanha), e os seus produtos são disponibilizados para as três divisões.

Tanto para a divisão Automóvel como para a Industrial, os rolamentos mais disponibilizados são de esferas, no entanto há outros tipos que também são disponibilizados, como os rolamentos cónicos, ou rolamentos esféricos, entre outros.

Para a área Aeroespacial são fornecidos rolamentos de precisão, e outros componentes de precisão para a aviação.

As produções mais características da marca são: os rolamentos híbridos, que usam um metal especial desenvolvido pela FAG (Cronidur); elementos rolantes em cerâmica

para os motores principais do Space Shuttle, feito para suportar 30 000 rpm; único fornecedor de rolamentos do motor do avião A 380; entre outros.

A FAG foi fundada em 1883 por Friedrich Fischer em Schweinfurt, no entanto a marca FAG só foi registada em 1905. Tudo começou com a invenção da máquina de rectificação de esferas, que possibilitou pela primeira vez a obtenção de esferas de metal completamente redondas pela primeira vez.

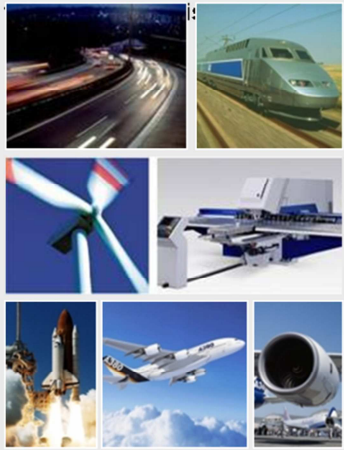
Produtos	Aplicações	Marcas adicionais
Rolamentos para aplicações industriais e automóveis, Rolamentos de precisão 	Em mais de 60 sectores, tais como a aviação e a aeroespacial, máquinas de produção, energia eólica, 	• The Barden Corporation • KBC (Schaeffler Korea Corporation) • Lacey • FAG Industrial Services (F'IS) • X-life • Arcanol

Figura 8 - Produtos e aplicações da marca FAG

Tecnologia:

A tecnologia de produção utilizada pelas marcas do grupo é variada, sendo que algumas marcas têm tecnologias utilizadas só por elas.



Figura 9 - Tecnologias de produção do Grupo Schaeffler

Schaeffler Portugal:

A Schaeffler Portugal, S.A. é uma fábrica pertencente ao Grupo Schaeffler e está sediada na cidade de Caldas da Rainha, Portugal.

A fábrica inicial foi fundada em 1960 com o nome ROL – Rolamentos Portugueses, S.A., começando a laborar 2 anos depois com um total de 105 operários.

Seis anos depois da sua fundação, em 1966, a FAG adquiriu parte da ROL, passando a produzir com um total de 155 pessoas.

No ano de 1981 foi aumentada a área coberta para mais de 4200 m², aumentando também o número de trabalhadores para um total de 302 colaboradores.

Nos anos de 1988/9 foi realizado mais um edifício, fábrica dois, sendo também realizada uma reestruturação e melhoramento da fábrica 1. Nesta altura já trabalhavam 441 pessoas na empresa.

No ano de 2002 o grupo FAG foi integrado na INA, e um ano depois a fábrica começou a produzir rolamentos com a marca INA.

Decorria o ano de 2004 quando a fábrica foi adquirida por completo pela Schaeffler (INA), tendo mudado de nome para Schaeffler Portugal, S.A. em 2006.

Fábrica:

Como já foi referenciado pelo texto anterior, a empresa sofreu várias reestruturações, com a construção de novos edifícios ao longo dos anos. A imagem apresentada de seguida mostra a aparência actual da fábrica, e tem a indicação da evolução dos edifícios e em que ano ocorreu.

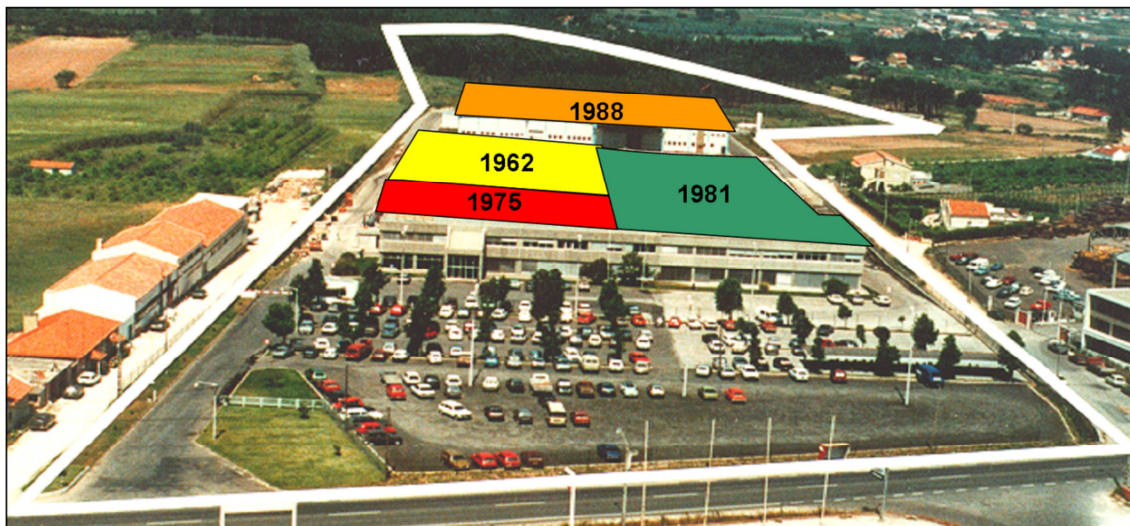


Figura 10 - Evolução dos edifícios da Schaeffler Portugal

A área total da empresa é de 69550 m², sendo que de área coberta são 16080 m².

A produção da fábrica é dividida pelos dois edifícios, sendo que o início da produção começa no edifício com o rectângulo laranja, e passa posteriormente para o segundo edifício para conclusão e montagem dos rolamentos.

A capacidade total anual de produção da fábrica no ano de 2011 foi de 77 500 000 rolamentos, o que leva a uma capacidade diária de 300 000 rolamentos, actualmente esta capacidade já foi aumentada. A produção realizada destina-se maioritariamente à indústria

automóvel, sendo que os rolamentos também são fornecidos para produtores de ferramentas e motores eléctricos.

Fabricação:

O processo de fabricação de rolamentos utilizado na Schaeffler Portugal já é bastante automatizado, havendo caminhos de ligação entre as máquinas para que o processo seja mais rápido, e não haja um acumular de stock desnecessário.

O rolamento é dividido por três partes muito importantes, anel exterior, anel interior e esferas. Na fábrica portuguesa apenas são produzidos os anéis e é realizada a montagem. As esferas e os componentes que seguram as esferas (gaiolas) são de produção exterior à fábrica.

Como a produtividade dos tornos não é suficiente para as encomendas, também são encomendados anéis exteriores para serem rectificados e montados na fábrica.

A produção começa na fábrica dois com a recepção de material para corte (tubos), estes tubos são cortados e torneados na forma desejada (anel exterior ou anel interior), depois de torneados os anéis são lavados para irem depois ao controlo a 100% (verificação de dimensões), depois de aprovados pelo controlo os anéis vão sofrer o tratamento térmico e só depois passam à rectificação plana (faces). O diagrama seguinte apresenta a sequência total de produção no edifício dois.

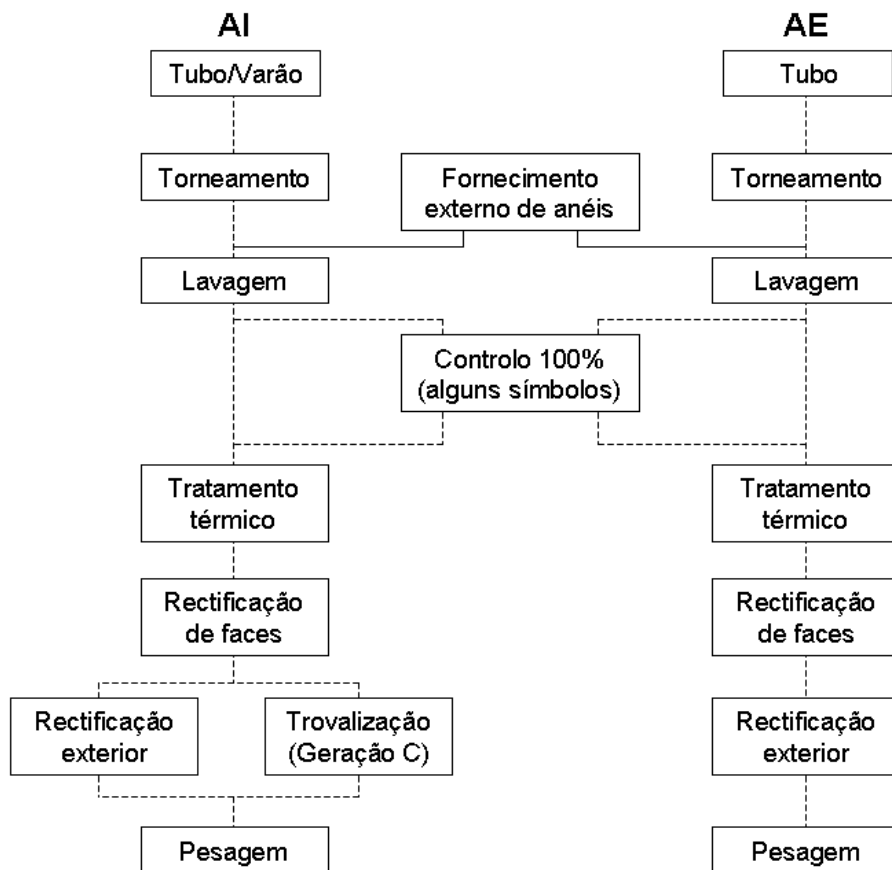


Figura 11 - Processo de produção da fábrica 2

A produção que sai do edifício 2 é enviada para o edifício 1 para a finalização do processo.

A primeira fase na fábrica 1 é a rectificação do caminho, tanto no AI (anel interior) como no AE (anel exterior), depois de rectificadados vão ao controlo (apenas em alguns casos), e no caso do AI ainda vai ser rectificado o furo do anel. Depois de finalizadas as rectificações, os anéis avançam para o super-acabamento, ou seja, rectificação mais fina para o caminho dos anéis. Depois de finalizada a rectificação, os anéis avançam para a montagem.

O diagrama seguinte apresenta a sequência do processo. Logo depois é apresentada uma imagem com a planta da fábrica e sequência do processo.

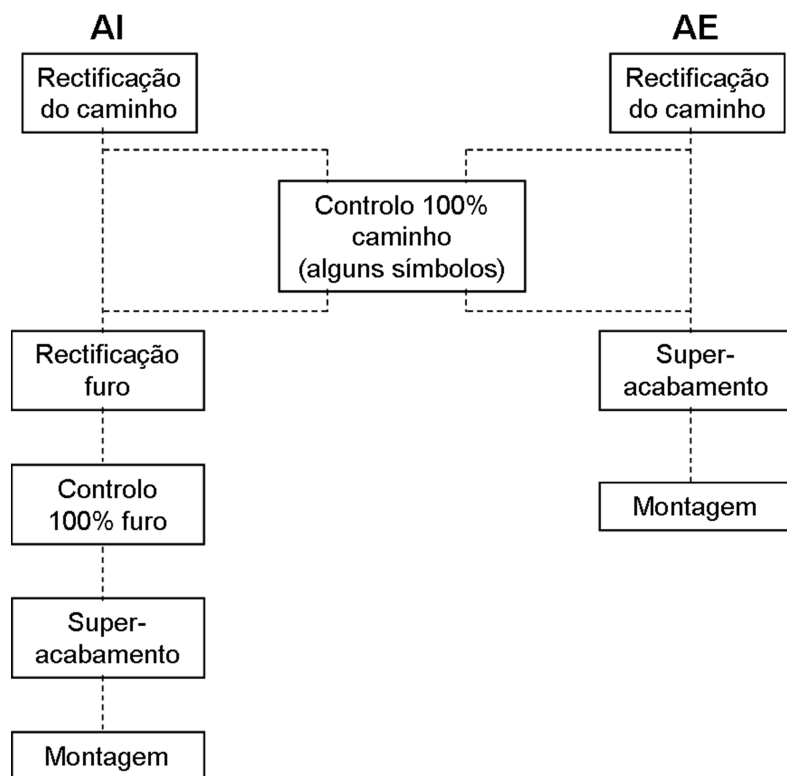


Figura 12 - Processo de produção da fábrica 1

Rolamento:

Como já foi referido anteriormente, um rolamento é constituído por três componentes base, anel exterior, anel interior e esferas.

O anel exterior tem o caminho (zona onde ficam as esferas) do lado de dentro do anel. Depois de cortados os tubos/varas nos tornos, os anéis obtidos passam pela rectificação plana, depois rectificação e ainda super-acabamento.

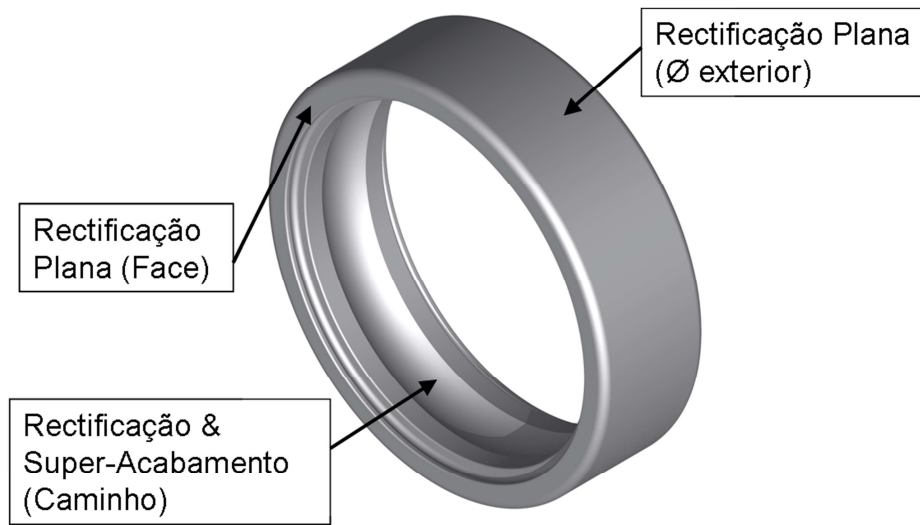


Figura 13 - Anel Exterior (acções realizadas no anel)

O anel interno passa pelas mesmas fases que o anel exterior, mas ao contrário deste, o caminho está do lado de fora do anel.

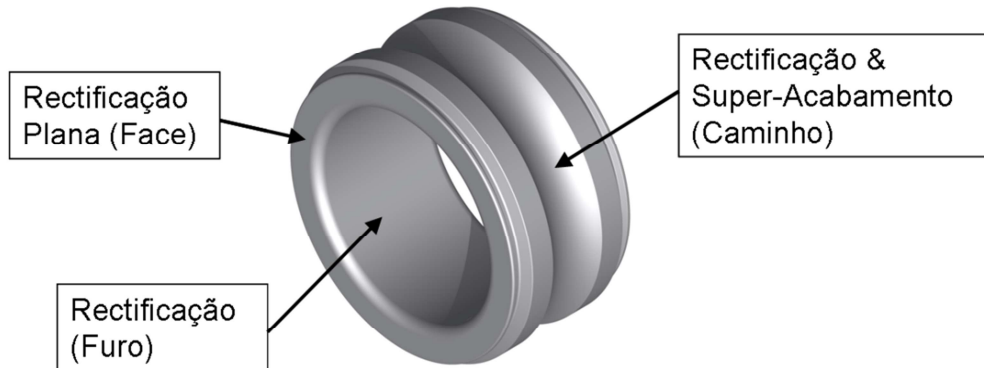


Figura 14 - Anel Interior (acções realizadas no anel)

Depois de finalizado o processo de fabrico de anéis, este avançam para a montagem. Os anéis são medidos por cotas, para que na montagem sejam utilizados anéis com cotas concordantes e esferas correctas.

Depois de associados os anéis, são introduzidas as esferas, o conjunto passa depois por uma máquina que separa as esferas e introduz a gaiola, que segura as esferas a uma distância igual



Figura 15 - Gaiola de Metal (Geração C)



Figura 16 - Gaiola de Plástico

Quando o rolamento é do tipo cooper (Geração C), a gaiola utilizada é a primeira. Neste caso só se vê uma, mas na realidade são duas peças, uma de cada lado do rolamento, com uns rebites para serem cravados.

A gaiola de plástico é utilizada nos rolamentos normais, e uma vez introduzida o rolamento está finalizado, só precisando de ser marcado a laser e testado.

No caso dos rolamentos de geração c, depois de cravada a gaiola, este avança para a estação de cravação de deflectores. Aqui, dependendo da encomenda, são cravados deflectores de metal ou de plástico, sendo que o mais utilizado é o de metal.

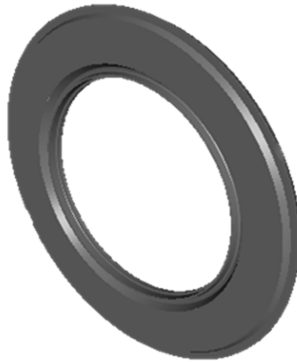


Figura 17 - Deflector de Plástico



Figura 18 - Deflector de Metal

A aparência final dos rolamentos de Geração C é a seguinte:

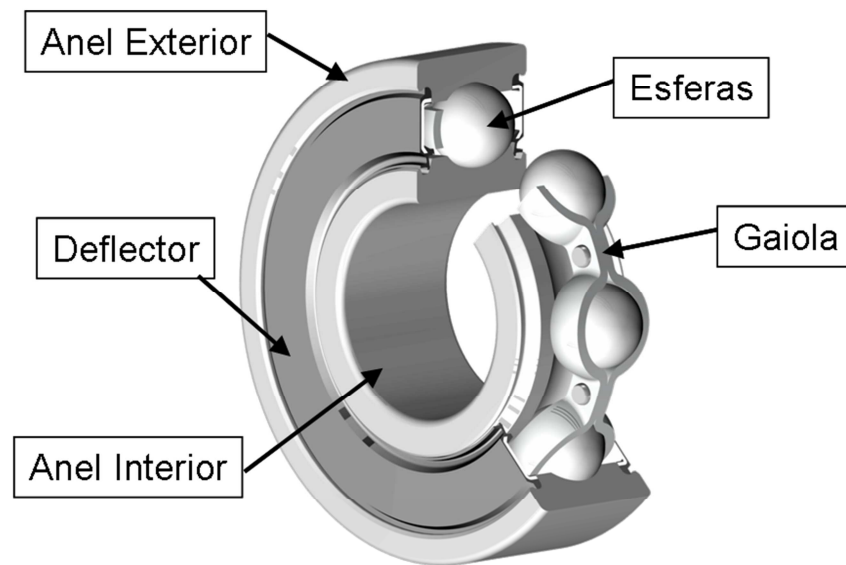


Figura 19 - Rolamento de Geração C

E a aparência final de um rolamento regular é:

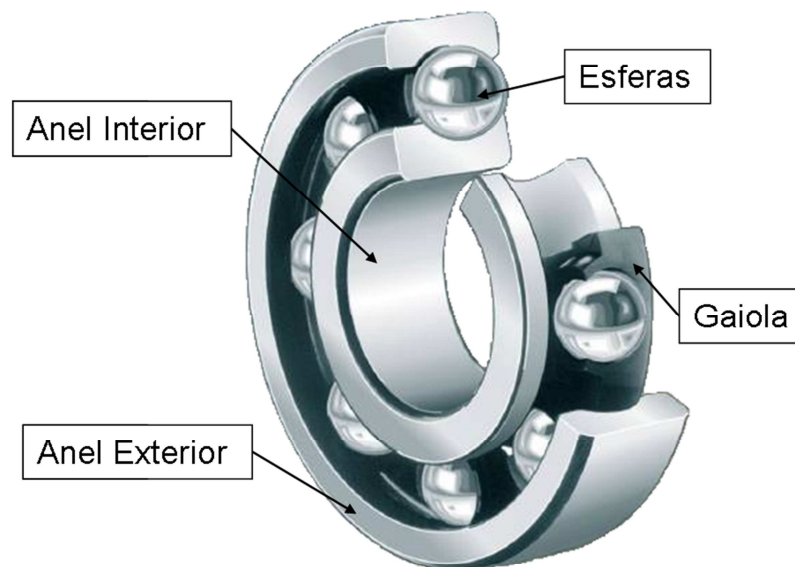


Figura 20 - Rolamento de esferas regular

Na montagem é feita uma verificação á saída de cada estação, de modo a verificar se o rolamento se encontra dentro dos parâmetros desejados. Além disso também é feita uma análise de ruído aos rolamentos, sempre que seja exigido pelo cliente. A última verificação dos rolamentos é sempre a visual, realizada pelo próprio operador da linha de montagem ou pela pessoa responsável pelo embalamento.

Depois de embalados os rolamentos, estes são armazenados no armazém de produto acabado (APA), e ficam prontos a ser entregues aos clientes.

Sistema de Supervisão:

O sistema de supervisão de produção da fábrica está instalado em todas as máquinas de torneamento, rectificação plana, rectificação e montagem.

Este sistema consiste num aparelho que recebe um impulso como sinal, vindo da máquina, para realizar uma contagem de peças produzidas

Com este sinal, além de realizar a contagem de peças, também é possível saber o tempo de ciclo de cada peça, e além disso o tempo de trabalho ou de paragem de cada máquina.

Toda a informação disponibilizada por cada registador é enviada para um computador central que junta a informação num só ficheiro que pode ser posteriormente manipulado em Excel.

O registador é constituído por um display que permite visualizar os valores da produção, por um teclado que permite a introdução de dados, por portas de comunicação e alimentação e ainda três LED's que permitem saber o estado de funcionamento da máquina.

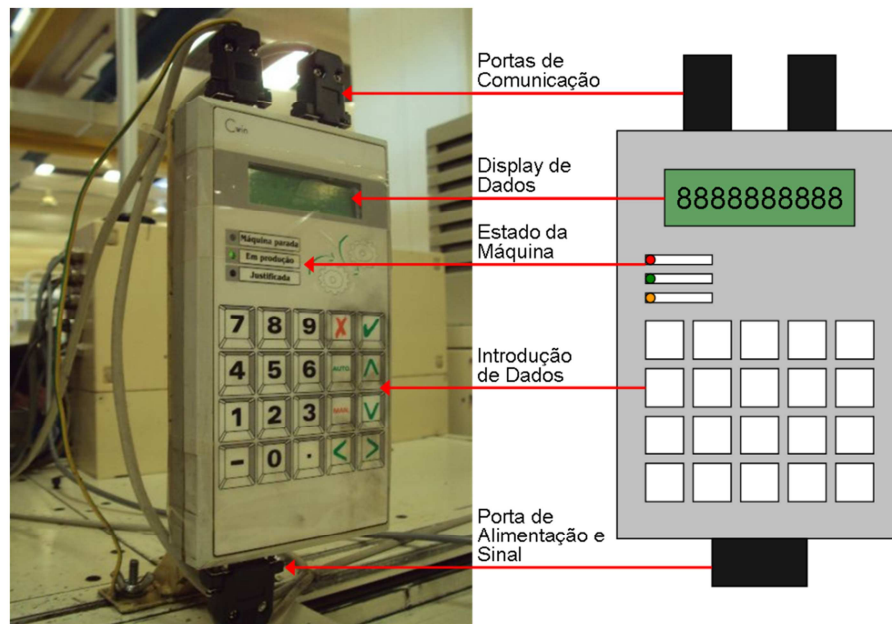


Figura 21 - Aparelho de registo de produção

O sinal recebido pelo registador ocorre uma vez por ciclo, por essa razão é possível realizar a contagem das peças. Sempre que o sinal é recebido, é iniciado um temporizador que fica a contar até ao próximo sinal, desta forma é possível obter o tempo de ciclo. O método utilizado para o registador saber se a máquina está em funcionamento é simples. Se o temporizador utilizado para a medição do tempo de ciclo exceder os 60 segundos o registador indica que a máquina está parada. Assim que receba de novo um sinal, o aparelho volta a sinalizar que a máquina está em funcionamento. Este tempo de espera é denominado por Timer Time, apesar de actualmente estar igual para todas as máquinas, este tempo devia ser calculado individualmente para cada máquina. O método de cálculo está indicado na imagem seguinte.

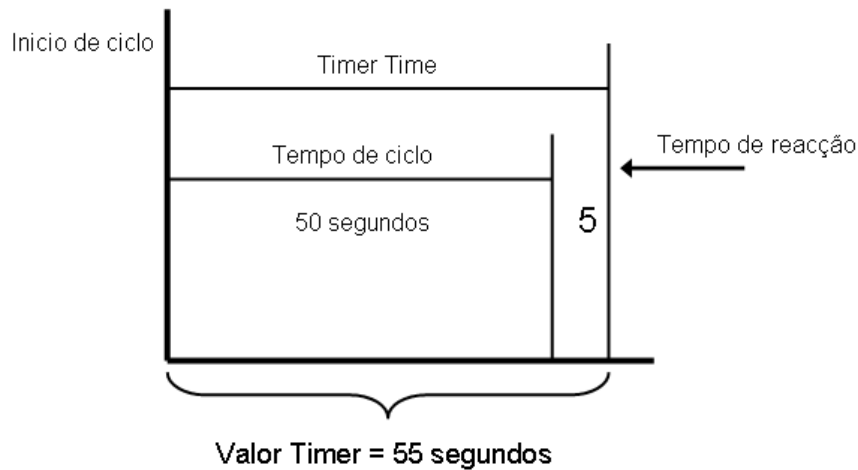


Figura 22 - Método de cálculo do Timer Time

O teclado do registador permite a introdução de dados, permitindo ao operador introduzir o seu código, ficando, desta forma, o funcionamento da máquina atribuído a esse operador. É também através deste teclado que o operador realiza as justificações das paragens. Quando uma máquina pára, e se esta paragem não é momentânea, o operador deve escolher o código da justificação e introduzi-lo, para que o sistema guarde essa informação.

As justificações são 10, e têm a seguinte ordem:

1. **Avaria eléctrica:** Paragem de máquina ou linha (no caso da máquina avariada implicar paragem da linha) por avaria de ordem eléctrica;
2. **Avaria mecânica:** Paragem de máquina ou linha (no caso da máquina avariada implicar paragem da linha) por avaria de ordem mecânica;
3. **Mudança:**
 - a. **Mudança de mó/diamante (rectificação plana/rectificação):** Paragem para mudança de mó ou diamante;
 - b. **Mudança de ferramenta (torneamento/montagem):** Paragem para mudança de ferramenta;

4. **Falta de material, Falta de ordem de fabrico:** Inexistência de anéis ou de ordem de fabrico para manter a máquina em laboração;
5. **Ajuste:**
 - a. **Afinação (torneamento, rectificação e montagem):** Paragem para proceder a afinações na máquina em laboração;
 - b. **Diamantagem (rectificação plana):** Paragem para proceder à diamantagem da mó.
6. **Falta de operador:** Inexistência de operador para manter a máquina em laboração;
7. **Paragem programada:** paragem para limpeza de máquinas e galerias, realização de workshops Kaizen/TPM ou para proceder a manutenções programadas;
8. **Mudança de série:** paragem para mudança de série ou símbolo;
9. **Falta de meios de produção:** paragem devido à ausência de ar comprimido, electricidade, óleo, emulsão, honilo ou petróleo;
10. **Pausa:** Paragem para refeição.

No início do turno, o operador inicia o registador introduzindo o seu código pessoal. Durante o turno é registada a contagem de peças e de tempo de ciclo e o operador introduz as justificações das paragens. No final do turno o operador indica no registador que é o fim do turno, podendo o novo operador de turno introduzir o seu código, recomeçando assim o processo. Quando o turno é iniciado, a contagem de peças têm de ser colocada a zero.

Devido à existência de dois edifícios e de muitas máquinas, em vez de haver um computador central, há 5. Dois estão na fábrica 2, um recebe a informação dos tornos e o outro das máquinas de rectificação. Os outros três computadores estão na fábrica 1, dois recebem a informação da rectificação e o último da montagem.

O software presente nos computadores foi desenvolvido pela mesma empresa que desenvolveu os registradores, Carlos Alves Automatismos Industriais.

Capítulo 2 – Estudo do Sistema de Supervisão

Pelo que foi possível de perceber pelo capítulo um, a empresa Schaeffler Portugal tem um processo de fabrico muito característico. Devido à quantidade de produção da fábrica, é necessário que os processos de registo de produção sejam precisos e rápidos. Como é fácil de perceber o método de papel, utilizado antigamente, é preciso mas lento, pois cada operador necessita de informar a produção realizada. Foi por este método ser lento que se optou por introduzir um sistema informatizado que o realizasse.

Neste capítulo apresenta-se um estudo aprofundado do sistema introduzido no capítulo anterior, de modo a analisar se o seu funcionamento é correcto ou não.

Caso de Estudo:

Na fábrica existem duas versões do sistema de supervisão. A primeira versão está instalada na fábrica 2, e tem de ser substituído por um sistema mais recente.

O objectivo deste estudo é verificar se a segunda versão do sistema, presente na fábrica 1, está a funcionar em condições. Se assim for efectua-se uma actualização do sistema mais velho pelo mais recente. Caso o sistema presente na fábrica 1 não apresente um funcionamento correcto então ter-se-á de optar por outra solução, que será futuramente instalada em toda a fábrica.

Estado de Conservação:

O primeiro estudo realizado ao sistema de supervisão de produção foi verificar o seu estado de conservação. A razão de este ser o primeiro estudo a realizar foi devido à fábrica apresentar um ambiente interno muito agressivo. Durante o processo de fabrico são utilizados vários químicos diferentes que deterioram facilmente equipamentos eléctricos. Além do ambiente agressivo, também se pretendia analisara utilização dos registadores por parte dos operadores.

Depois de realizado um levantamento do estado de conservação dos registadores, foi possível perceber que o seu manuseamento não tem sido o mais adequado, e que além disso o ambiente é muito agressivo para os aparelhos.

A maioria dos registadores estão partidos, uns têm a caixa danificada e outros têm os conectores em más condições. Os danos dos registadores foram originados devido a duas razões principais. A primeira está relacionada com a sua instalação em local impróprio, e a segunda, talvez a mais relevante, está relacionada com a utilização inadequada dos aparelhos.



Figura 23 - Conectores de comunicação danificados

A Fig. 23 exemplifica um desses danos. Nessa imagem a zona da caixa onde se ligam os conectores de comunicação está partida, o que faz com que os conectores se possam desligar (os conectores estão a cair para traz). A razão de isto acontecer é o mau manuseamento. Ao puxar os cabos de comunicação a caixa partiu.



Figura 24 - Conector de comunicação caído

No caso apresentado na Fig. 24 um dos conectores de comunicação já se encontra completamente caído, sendo visível o interior da caixa. O que está a segurar o conector junto do registador são os fios que o ligam à placa de circuito impresso do aparelho.

O conector de alimentação e sinal dos registadores também fica danificado facilmente, mas aqui a razão é a localização inconveniente do registador, pois quando o operador abre a porta da máquina para ter acesso ao interior, o que acontece diversas vezes durante o turno, ela bate no conector quebrando o invólucro de protecção. Em alguns casos, o que quebrou foi a caixa, ficando o conector pendurado pelos cabos de ligação interna.

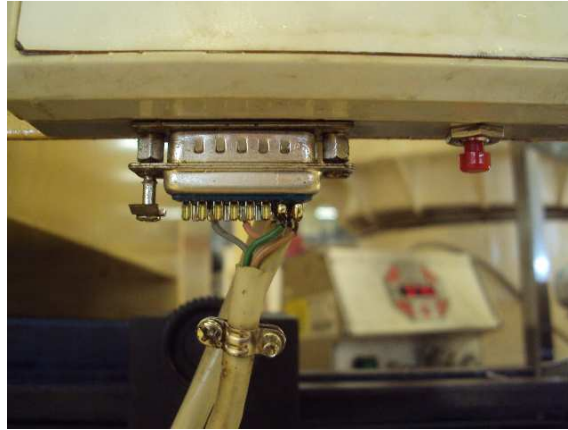


Figura 25 - Invólucro de protecção partido (removido)



Figura 26 - Caixa partida no conector de alimentação



Figura 27 - Proximidade da porta da máquina ao conector

Para além do caso mais comum dos conectores quebrados (Fig. 23 a Fig. 24), realça-se ainda a existência de várias situações de caixas partidas na junção. Para mitigar esta situação tem-se utilizado fita-cola.

Com todos estes danos a caixa perde estanqueidade, e permite a entrada de detritos no interior. Depois de ver o interior de alguns registadores partidos, foi possível observar a entrada de muito óleo pelas zonas danificadas.

Como se pode concluir, o estado de conservação dos registadores não é o melhor, pelo que se deveria proceder à sua renovação. No entanto, antes de avançar para a renovação dos registadores, deve-se verificar se o seu funcionamento é correcto. Caso os registadores tenham um funcionamento correcto, propõe-se substituir as caixas actuais por umas novas e mais resistentes. Se o funcionamento não for adequado propõe-se actualizar o sistema existente ou substituí-lo por um mais avançado. Em qualquer um dos casos deve-se ter em atenção os erros cometidos no sistema actual e corrigi-los.

Verificação das Máquinas:

Quase todas as máquinas utilizadas no processo de fabrico de rolamentos na fábrica das Caldas da Rainha incorporam um autómato, para controlo do funcionamento da máquina. Graças ao funcionamento através de autómato, é fácil obter a contagem e o tempo de ciclo das máquinas.

As mais recentes têm esta informação disponível no Simatic Paineil instalado na máquina. As mais antigas disponibilizam esta informação através de temporizadores e contadores que recebem sinais do autómato



Figura 28 - Temporizador de tempo de ciclo da máquina



Figura 29 - Contador de peças produzidas pela máquina

Como é de esperar, esta contagem de peças e o tempo de ciclo devem ser correctos. No entanto, para verificar a veracidade dos resultados das máquinas e dos registadores,

realizou-se um estudo muito simples. Para cada máquina foi realizada uma contagem de 100 peças com um contador manual, e depois foi comparado o valor indicado pela máquina e pelo registador com a contagem manual para ver se coincidiam.

Tabela 1 - Comparação de contagem de peças das máquinas com o real

Cont.	P.Máquina		Dif.Máq.	P.Regist.		Dif.Reg.	Res.Máq.	Res.Reg.
100	2854	2954	100	2758	2862	104	Correcto	Superior
100	7890	7990	100	7318	7417	99	Correcto	Inferior
100	3519	3619	100	4640	4738	98	Correcto	Inferior
100	7540	7640	100	7486	7584	98	Correcto	Inferior
100	Contador avariado			1964	2062	98		Inferior
100	1096	1196	100	1079	1176	97	Correcto	Inferior
100	58	158	100	112	208	96	Correcto	Inferior
100	1187	1287	100	1064	1164	100	Correcto	Correcto
100	5174	5274	100	1992	2092	100	Correcto	Correcto
100	Contador avariado			2382	2482	100		Correcto
100	143	243	100	236	336	100	Correcto	Correcto
100	329	379	100	50	148	98	Correcto	Inferior
100	73889	73989	100	339	437	98	Correcto	Inferior
100	789	839	100	2122	2222	100	Correcto	Correcto
100	723	773	100	1466	1566	100	Correcto	Correcto
100	1346	1446	100	1688	1814	126	Correcto	Superior
100	343	443	100	364	476	112	Correcto	Superior
100	474	574	100	464	563	99	Correcto	Inferior
100	2973	3073	100	414	513	99	Correcto	Inferior
100	760	860	100	740	839	99	Correcto	Inferior
100	27900	28000	100	1626	1725	99	Correcto	Inferior
100	110	210	100	108	207	99	Correcto	Inferior
100	181	281	100	172	271	99	Correcto	Inferior
100	1306	1406	100	1342	1441	99	Correcto	Inferior
100	385	485	100	375	474	99	Correcto	Inferior
100	655	755	100	634	733	99	Correcto	Inferior
100	2647	2747	100	2500	2599	99	Correcto	Inferior
100	220	320	100	209	307	98	Correcto	Inferior
100	1255	1355	100	1218	1316	98	Correcto	Inferior
100	1776	1876	100	1747	1845	98	Correcto	Inferior
100	19579	19679	100	2071	2169	98	Correcto	Inferior
100	556	656	100	514	612	98	Correcto	Inferior
100	75	175	100	73	171	98	Correcto	Inferior
100	2301	2401	100	2264	2361	97	Correcto	Inferior
100	194	294	100	187	284	97	Correcto	Inferior
100	1545	1645	100	1430	1527	97	Correcto	Inferior
100	2293	2393	100	2235	2331	96	Correcto	Inferior
100	106	206	100	98	194	96	Correcto	Inferior
100	786	886	100	776	871	95	Correcto	Inferior
100	7754	7854	100	1736	1831	95	Correcto	Inferior
100	1204	1304	100	1127	1221	94	Correcto	Inferior
100	543	643	100	508	600	92	Correcto	Inferior
100	1375	1475	100	1346	1446	100	Correcto	Correcto

100	2905	3005	100	2861	2961	100	Correcto	Correcto
100	323	423	100	275	375	100	Correcto	Correcto
100	775	875	100	766	866	100	Correcto	Correcto
100	636	736	100	621	721	100	Correcto	Correcto
100	1241	1341	100	1216	1316	100	Correcto	Correcto
100	3846	3946	100	3706	3805	99	Correcto	Inferior
100	Sem contador			2346	2446	100		Correcto
100	78	178	100	17	123	106	Correcto	Superior
100	64	164	100	106	208	102	Correcto	Superior
100	270	370	100	15	116	101	Correcto	Superior
100	827	927	100	811	910	99	Correcto	Inferior
100	1081	1181	100	1047	1146	99	Correcto	Inferior
100	1079	1179	100	1073	1171	98	Correcto	Inferior
100	2285	2385	100	2249	2347	98	Correcto	Inferior
100	941	1041	100	908	1005	97	Correcto	Inferior
100	1234	1334	100	1211	1311	100	Correcto	Correcto
100	Sem contador			2044	2144	100		Correcto
100	925	1025	100	712	811	99	Correcto	Inferior
100	36519	36619	100	1521	1620	99	Correcto	Inferior
100	1144	1244	100	1114	1213	99	Correcto	Inferior
100	41	141	100	61	158	97	Correcto	Inferior
100	691	791	100	677	773	96	Correcto	Inferior
100	3770	3870	100	1223	1318	95	Correcto	Inferior
100	1616	1716	100	1579	1674	95	Correcto	Inferior

Na Tabela 1 encontram-se os resultados da comparação da contagem da máquina e do registador com a contagem manual.

Nas últimas colunas da Tabela 1 é indicado se a contagem da máquina é correcta e se a do registador também, se a contagem não for correcta, é apresentado um resultado superior ou inferior. Na Tabela 1 estão também apresentadas máquinas cujo contador era inexistente ou estava avariado.

É possível perceber que os registadores têm poucas contagens correctas, ao contrário das máquinas que estão sempre correctas, como seria esperado.

A Fig. 30 apresenta a representação gráfica dos resultados de modo a facilitar a sua análise.

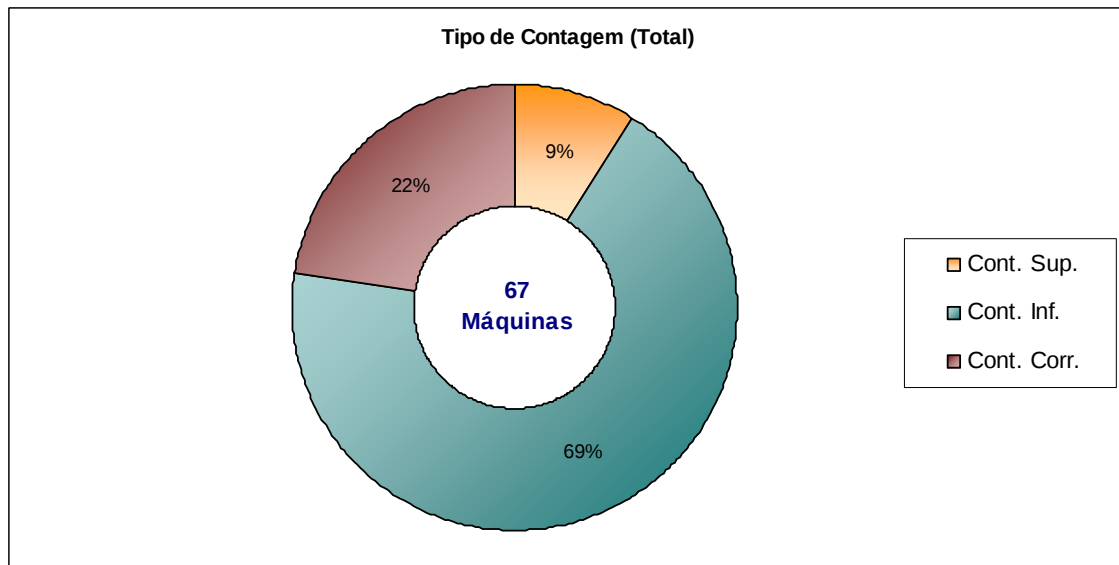


Figura 30 – Gráfico dos tipos de contagem dos registadores

O gráfico da Fig. 30 mostra o total de contagens correctas, superiores e inferiores para o registador. No gráfico é visível que 69% dos registadores apresentou uma contagem inferior à real, quase sempre uma ou duas peças não são contadas (em 100). A contagem superior não ocorre de modo tão sistemático, mas o número de peças contadas a mais pelo registador é muito elevado, chegando às 26 unidades (em 100). Apenas 15 registadores de um total de 67 realizaram uma contagem correcta, não esquecer que não existiu erro nesses registadores para uma contagem de 100 peças, no entanto pode existir um erro que ocorra numa quantidade mais reduzida (por exemplo uma peça em 300).

O estudo foi realizado para um total de 67 máquinas na rectificação. Não foi feito para todas pois algumas encontravam-se em paragens, não estando a ser utilizadas. No caso da montagem não foi realizado o estudo pois o tempo de ciclo é muito reduzido para ser possível tirar valores correctos.

Pelos resultados obtidos é possível perceber que as máquinas têm o valor de contagem sempre correcto, ao contrário dos registadores que só acompanham o funcionamento correctamente em alguns casos.

De modo a perceber o comportamento do erro de contagem ao longo de um turno realizou-se outro estudo nas linhas de fabrico.

Erro de Turno:

Mesmo que a contagem de cem peças tenha dado a perceber que os registadores realizam uma contagem errada, os resultados não permitem perceber quantas perdas existem num turno completo. Para ser possível obter o erro total de um registador por turno, e sabendo que as contagens das máquinas é correcta, realizou-se um acompanhamento completo retirando os valores a cada hora do turno para o registador e para a máquina. Este estudo não foi realizado para todas as máquinas, a opção escolhida foi retirar os valores para as máquinas com um maior nível de produção, incluindo as linhas de montagem.

Para se obter um resultado mais correcto, foi necessário realizar o levantamento de dados para dois dias (dois turnos).

A observação dos gráficos de dois dias (ver Fig. 31 e Fig. 32) para as várias máquinas, permite concluir que a perda de contagem por parte do registador é constante, chegando mesmo a ter um comportamento próximo do linear.

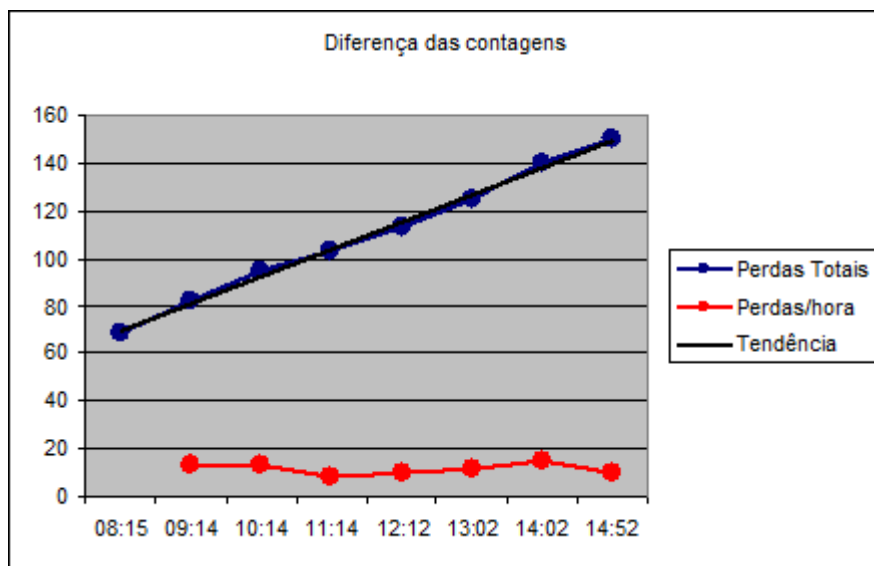


Figura 31 - Quantidade de perdas da primeira máquina (primeiro dia)

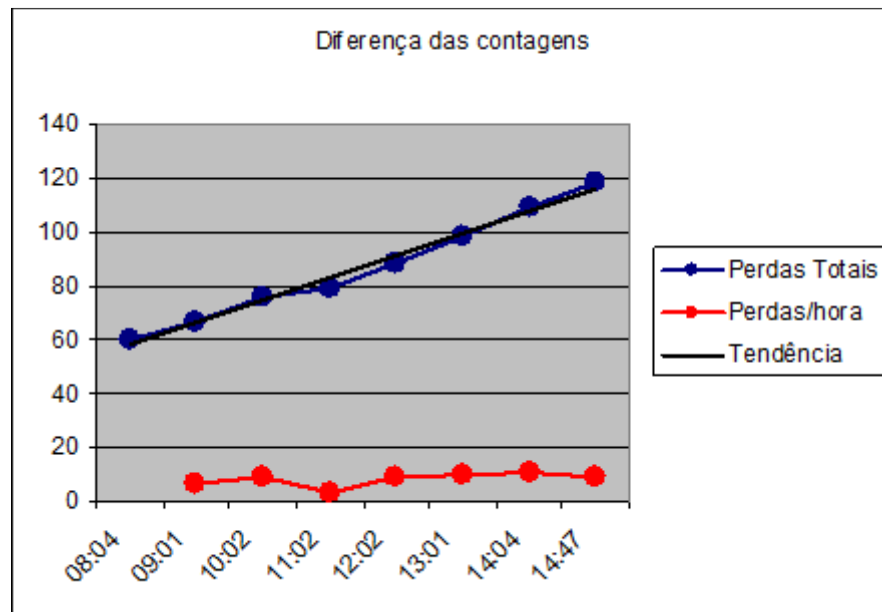


Figura 32 - Quantidade de perdas da primeira máquina (segundo dia)

Os dois gráficos das Fig. 31 e Fig. 32 apresentam os resultados para a mesma máquina. Como é possível perceber, o erro de contagem do registrador para os dois dias foi bastante parecido, e o seu comportamento ao longo do turno foi próximo do linear. O funcionamento dos registradores nas outras máquinas é semelhante ao descrito nesta dissertação, sendo que a diferença encontra-se apenas no número perdido por hora.

Para a situação apresentada, no primeiro dia houve um erro de contagem no turno foi de 150 peças, e no segundo dia, para o mesmo turno, o erro de contagem foi de 120 peças. A diferença não é muito elevada, a razão foi o número de peças produzidas no primeiro dia ter sido superior que no segundo dia.

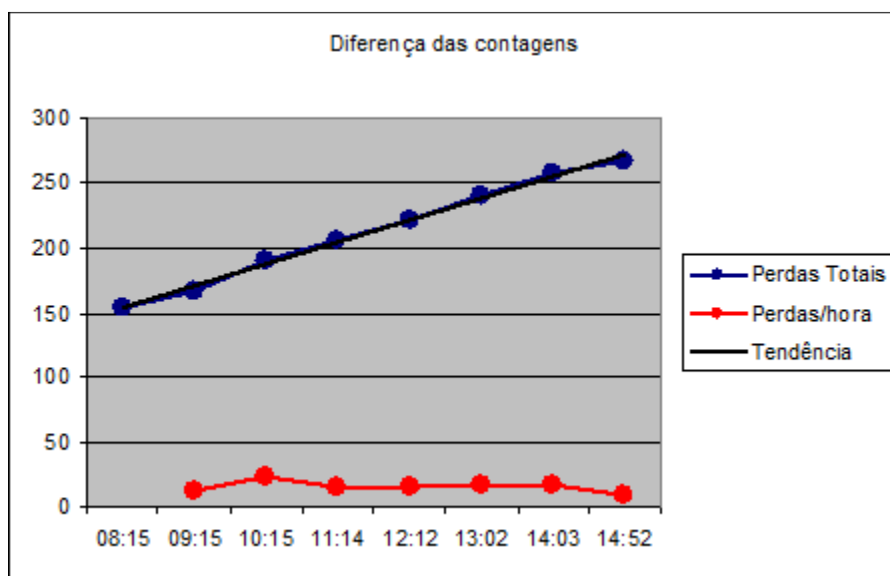


Figura 33 - Quantidade de perdas da segunda máquina (primeiro dia)

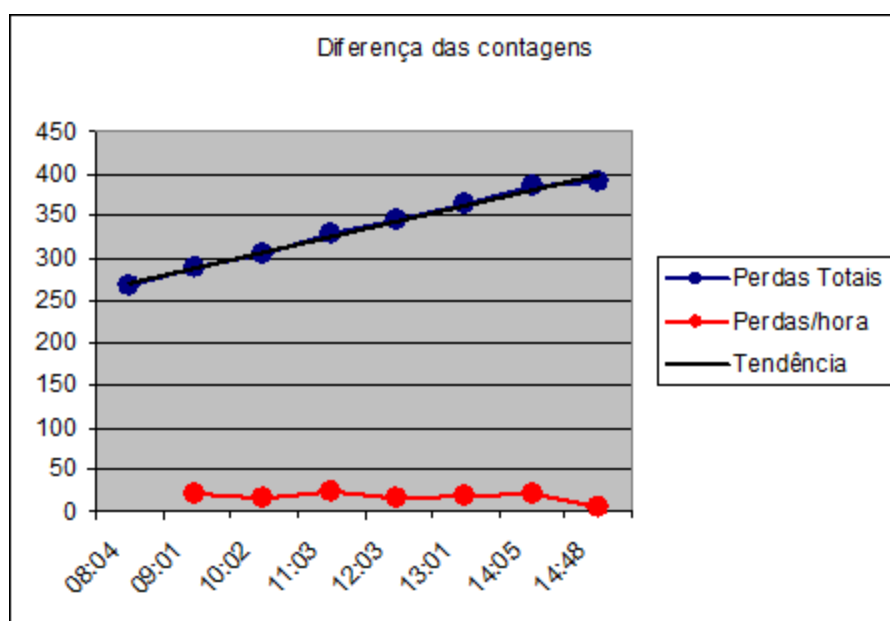


Figura 34 - Quantidade de perdas da segunda máquina (segundo dia)

Nos gráficos das Fig. 33 e Fig. 34 ilustram-se os resultados para a segunda máquina. É possível ver de imediato um erro de contagem linear, como na primeira, no entanto a quantidade perdida é maior, pois a produção da máquina é superior. Mais uma vez, comparando os resultados dos dois dias, observa-se uma quantidade perdida bastante próxima uma da outra.

Houve alguns casos em que os resultados foram muito diferentes, como representado nos gráficos das Fig. 35 e Fig. 36.

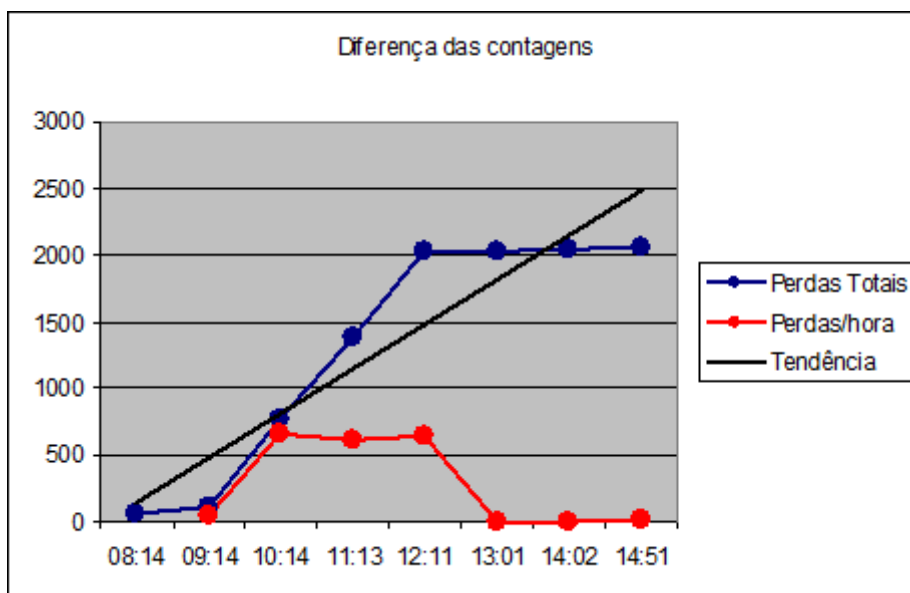


Figura 35 - Quantidade de perdas da terceira máquina (primeiro dia)

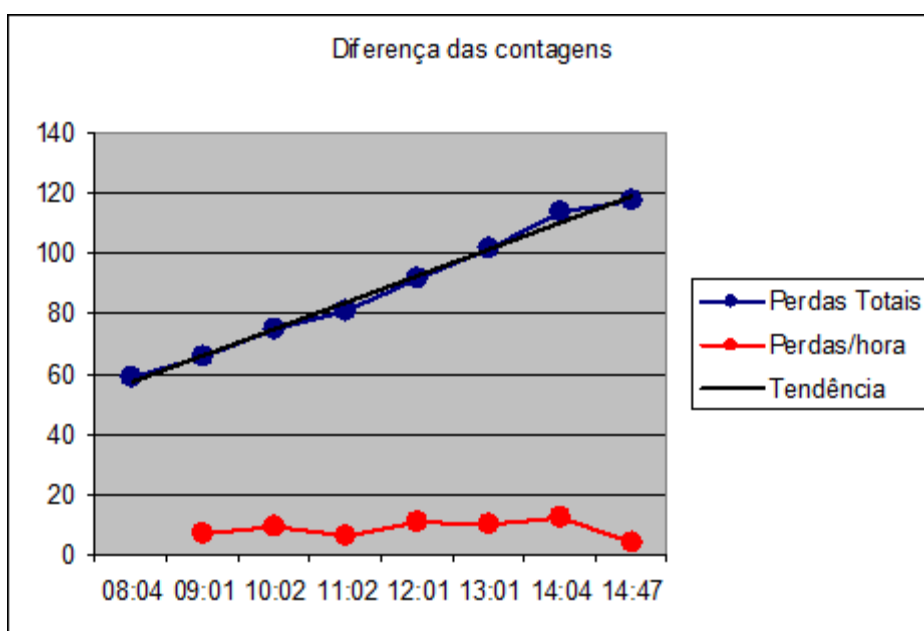


Figura 36 - Quantidade de perdas da terceira máquina (segundo dia)

A razão de haver uma diferença tão elevada entre o gráfico da Fig. 35 e o da Fig. 36 é motivado pelo facto de no primeiro dia a máquina ser sujeita a afinações, e quando isso acontece, o registador é colocado em modo de justificação, o que o impede de realizar

contagem de peças. Quando a máquina está em afinação, estão a ser produzidos anéis, mas estes não são considerados produção. No entanto, a máquina não consegue distinguir esta situação de uma situação normal de produção e inclui estes anéis na contagem final. Por essa razão, a diferença de contagem entre a máquina e o registador cresce muito depressa. No segundo dia a produção da máquina já decorreu normalmente, pelo que o resultado se assemelha muito aos já mostrados anteriormente.

As linhas de montagem para estes dois símbolos (6202 e 6001) têm marcação por LASER, assim como todas as outras linhas de montagem. Estas são as linhas de maior produção da fábrica. O Laser da linha 6202 é mais recente que o da linha 6001, e permite realizar a contagem das peças produzidas para comparar com o resultado do registador. A linha de montagem para o 6001 têm um contador analógico pois o Laser não inclui a contagem de peças produzidas. Este contador analógico era colocado a zero várias vezes no turno, pelo que não foi possível realizar um estudo correcto para a linha de montagem deste símbolo. Das poucas vezes que foi possível retirar a quantidade de peças perdidas por hora, este valor apresentou-se sempre próximo das 30 unidades.

A linha de montagem para o símbolo 6202 é uma das mais recentes da fábrica, e num dia normal produz mais de 15000 rolamentos por turno.

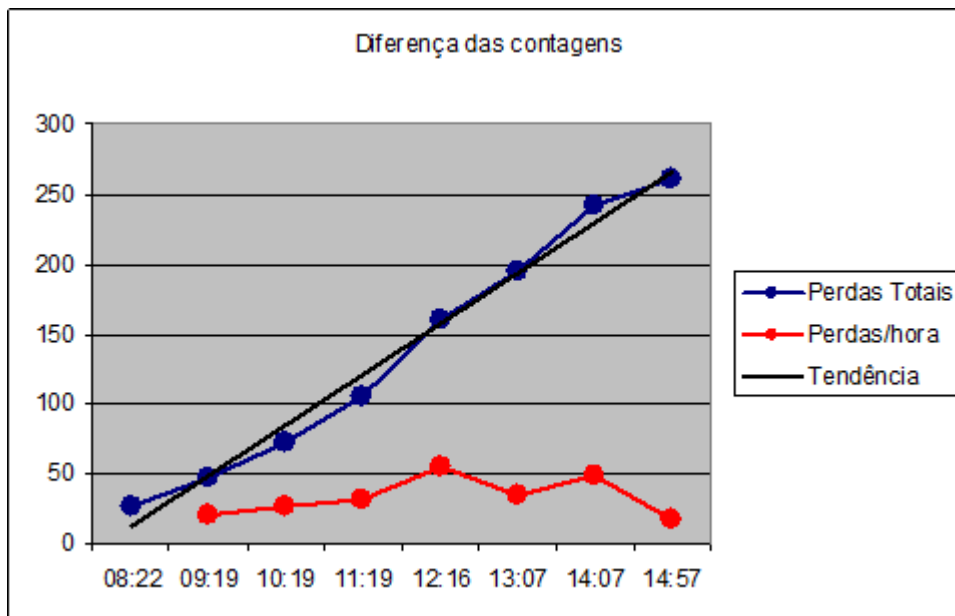


Figura 37 - Quantidade de perdas da linha de montagem 6202 (primeiro dia)

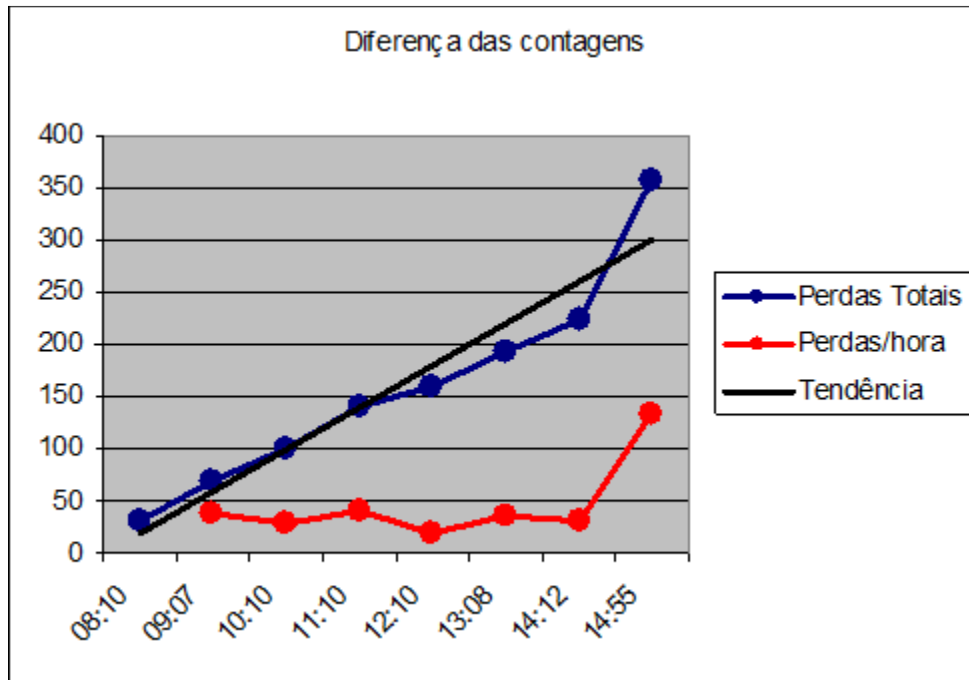


Figura 38 - Quantidade de perdas da linha de montagem 6202 (segundo dia)

Como é possível observar nas Fig. 37 e Fig. 38, para a montagem, o erro de contagem do registador também apresenta alguma linearidade. Como o número de peças produzidas é superior ao das duas primeiras máquinas, o número de peças não contadas também é superior. O erro de contagem nos dois dias foi bastante próximo.

Para uma análise final, os resultados de produção da linha de montagem são mais importantes do que as máquinas de rectificação. Da linha de montagem sai o produto final, e como tal, é necessário ter uma contagem correcta da produção para cumprir com as ordens de compra dos clientes. O produto acabado das máquinas de rectificação ainda está só a meio do processo, e como o processo é contínuo, uma falha no produto é imediatamente compensada por material novo. Estas linhas tiveram um comportamento semelhante nos dois dias, e chegaram a um valor de perda de peças de 1.74% para o símbolo 6202 e de 1.80% para o símbolo 6001 (este valor não é tão fiável como o do 6202). Caso a produção das linhas de montagem em estudo não fosse muito elevada, esta percentagem não indicava uma perda muito elevada. No entanto no caso do símbolo 6202 em que são produzidas mais de 15000 unidades por turno (e num dia de funcionamento a 100% produz 18000 por turno), a percentagem equivale a 260 rolamentos por turno, ou seja, 780 rolamentos não contados por dia, e considerando 5 dias de trabalho semanais,

3915 rolamentos perdidos em contagem. Ao fim de um ano serão mais de 200000 rolamentos que foram montados mas não contabilizados, só para uma linha de montagem. Por se saber que estes resultados não são 100% correctos, os rolamentos entregues no APA são contabilizados manualmente e esse resultado é o utilizado para a realização de relatórios internos. Também nas linhas de produção são utilizados os valores indicados pelas máquinas para realização de relatórios.

Tempo de Ciclo:

O tempo de ciclo consiste no tempo que a máquina demora a produzir cada peça. É uma informação muito importante para os operadores, pois é através desta informação que é possível de imediato perceber se a máquina está a trabalhar bem, e para além disso perceber se a máquina anterior está a fazer um bom produto.

Como as máquinas não trabalham o ano durante um tempo específico, mas sim até o ano ter uma dimensão específica, caso uma máquina apresente tempos de ciclo muito elevados, esta teve de retirar mais material do que o esperado e por isso é possível perceber que a máquina anterior não realizou um trabalho correcto. O contrário também se verifica, se o tempo de ciclo for mais reduzido que o esperado, a máquina anterior desbastou mais do que devia.

Todos estes erros podem levar a defeitos no material e como os tempos de ciclo são reduzidos, quando se perceber que o funcionamento não está conforme os regulamentos, já pode haver várias peças danificadas.

Do mesmo modo que se realizou um estudo para a contagem de peças, também se realizou para o tempo de ciclo. Foi utilizado um cronómetro para contar o tempo de produção de 10 peças, de modo a obter o tempo de ciclo de cada uma, e ao mesmo tempo retirou-se os valores de tempo de ciclo de 5 peças, tanto da máquina como do registador. Como a tabela de Excel é muito grande, apenas se apresenta uma parte dos resultados.

Tabela 2 - Tempos de ciclo para as linhas 1 e 2 (máquinas e registadores vs. real)

Máquina	T.C.Máq.	T.C.Reg.	T.C.Rel.	Dif. M->Real	Dif. R>Real
1	5,814	6	5,75	0,064	0,25
2	8,386	9,6	8,62	0,234	0,98
3	8,794	9,94	8,96	0,166	0,98

4	11,522	12,1	11,12	0,402	0,98
5	6,04	6,7	5,98	0,06	0,72
6	5,2	5,74	5,19	0,01	0,55
7	5,732	6,04	5,75	0,018	0,29
8	6,32	6,7	6,29	0,03	0,41
9	6,3	6,64	6,28	0,02	0,36
10	7,12	7,56	7,15	0,03	0,41
11	5,8	6,18	5,91	0,11	0,27

A Tabela 2 apresenta os resultados para a linha 1 e 2, símbolo 6202, incluindo não só o tempo de ciclo da máquina, do registrador e o real, mas também a diferença entre o tempo de ciclo da máquina e o real e ainda entre o registrador e o real. Graças a este resultado, é possível ver qual o dispositivo (contador da máquina ou registrador) que apresenta um valor mais próximo do real. Para ver estes resultados é melhor criar uma representação gráfica, a qual é ilustrada nas Fig. 39 e Fig. 40.

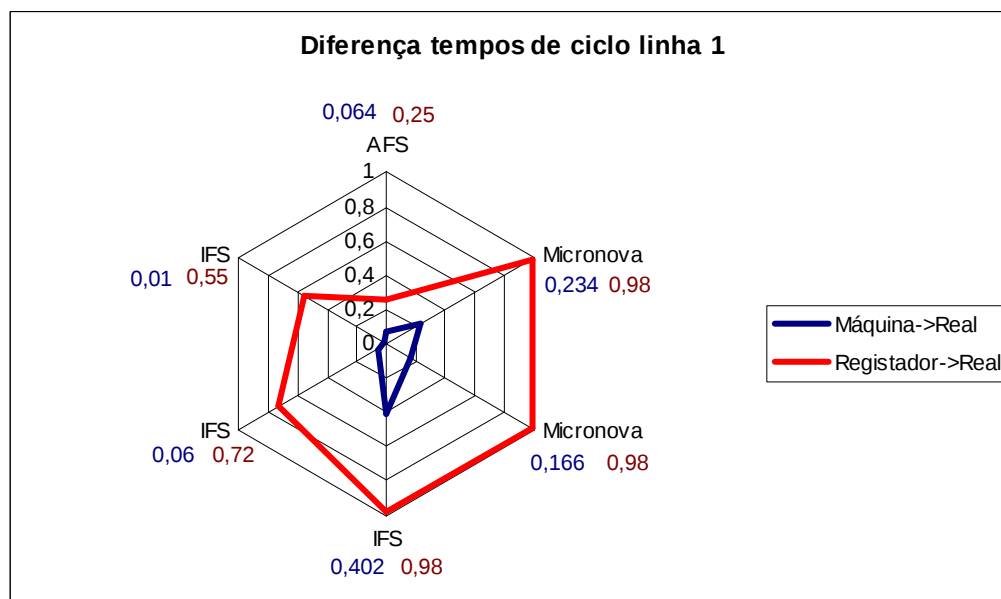


Figura 39 - Diferença de tempos de ciclo das máquinas da linha 1

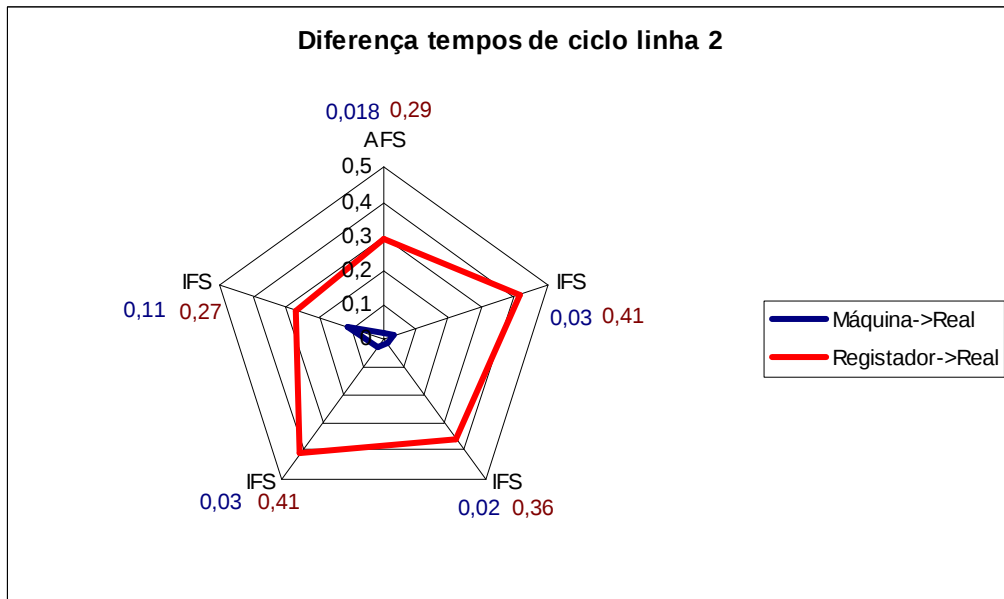


Figura 40 - Diferença de tempos de ciclo das máquinas da linha 2

Em cada um dos gráficos das Fig. 30 e Fig. 40, respectivamente, estão presentes as máquinas que incluem um registador, sendo que o resultado apresentado é a diferença entre o tempo de ciclo da máquina e o real (azul) e a diferença entre o tempo de ciclo do registador e o real (vermelho). No primeiro exemplo é possível ver que todas as máquinas apresentam um tempo de ciclo mais próximo do real do que os registadores, sendo que algumas delas têm uma diferença bastante próxima de zero.

No caso da segunda linha, todas as máquinas apresentaram um tempo de ciclo muito próximo do real. Em nenhum dos casos houve um registador que tenha apresentado um tempo de ciclo mais próximo do real do que a própria máquina.

Este resultado já era esperado, pelo menos no respeitante aos registadores, pois o tempo de ciclo apresentado por eles é calculado a partir da contagem de peças produzidas, que já foi provado que não é muito correcto na maioria dos casos.

Capítulo 3 – Sistema Actual e Possíveis Alterações

Como já foi possível ver nos capítulos anteriores os registadores não se encontram nas melhores condições, e além disso também não apresentam resultados correctos. Por essa razão foi realizado um estudo dos registadores e do sistema utilizado para comunicação de modo a verificar possíveis problemas e identificar soluções futuras mais viáveis.

Ao longo do capítulo serão apresentadas as implementações actuais e possíveis soluções futuras, apresentando sempre os prós e os contras de cada parte do sistema.

Sistema Actual:

As partes do sistema de supervisão vão ser descritas em pormenor individualmente, e depois irá ser realizada uma explicação do conjunto. Primeiro vai ser explicada a constituição do registador presente em cada máquina e explicado o seu funcionamento.

Registador:

O registador utilizado na aquisição de informação da máquina (sinal de contagem) é também responsável pela identificação do operador a trabalhar na máquina, e cálculo do tempo de funcionamento da máquina.

O registador é constituído por um microcontrolador da série Pic 16F da Microchip, o qual tem as funções de contagem de peças produzidas e tempo de ciclo, contagem de tempo de trabalho, e a comunicação com o sistema central.

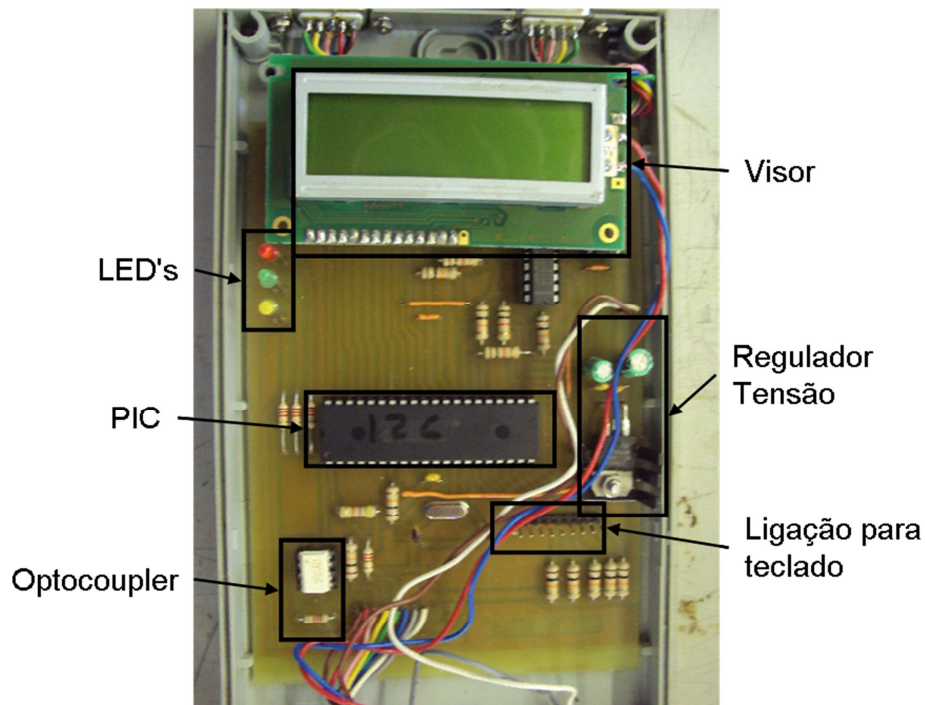


Figura 41 - Interior de um equipamento de registo de produção

O registador tem vários componentes com funções básicas, para além do microcontrolador, como é o exemplo do optoacoplador. Este dispositivo é responsável pelo isolamento galvânico entre o sinal enviado pelo autómato da máquina e o circuito do registador, já que estes não se encontram nos mesmos níveis de tensão. Outro componente importante é o visor, que permite visualizar de imediato os dados de produção da máquina respectiva.

Na imagem anterior não é possível observar os componentes responsáveis pela comunicação com o computador central, pois estes situam-se debaixo do visor.

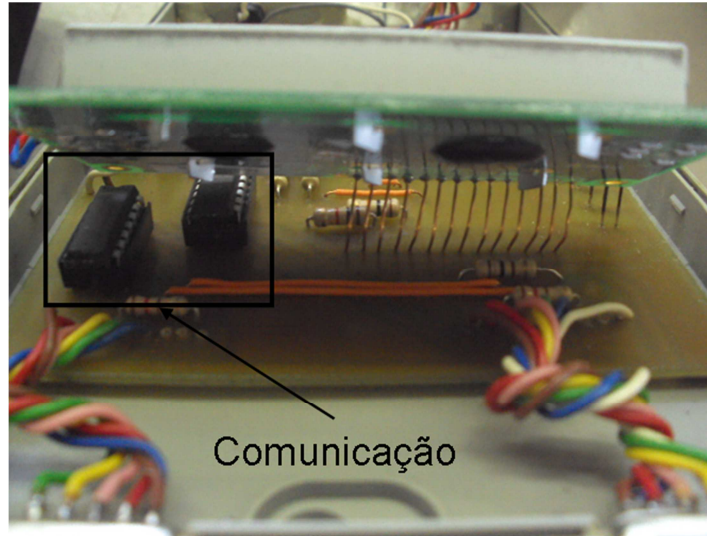


Figura 42 - Pormenor dos integrados responsáveis pela comunicação do registador

Comunicação:

Como o sistema apresenta alguns problemas ao nível das comunicações, foi estudada a estrutura actual e quais as que se adequam mais ao sistema desejado.

Actualmente está instalado um sistema de comunicação do tipo RS-485 bastante caricato. Normalmente é utilizado apenas um *transceiver* para realizar a ligação entre o pic e o barramento, no entanto, neste caso são utilizados dois *transceivers* para cada pic, um para o envio de informação e o outro para a recepção.

A ligação habitual entre dois *transceivers* é muito simples, a porta de envio de um liga à porta de recepção do outro e vice-versa, tal como é ilustrado na Fig. 43.

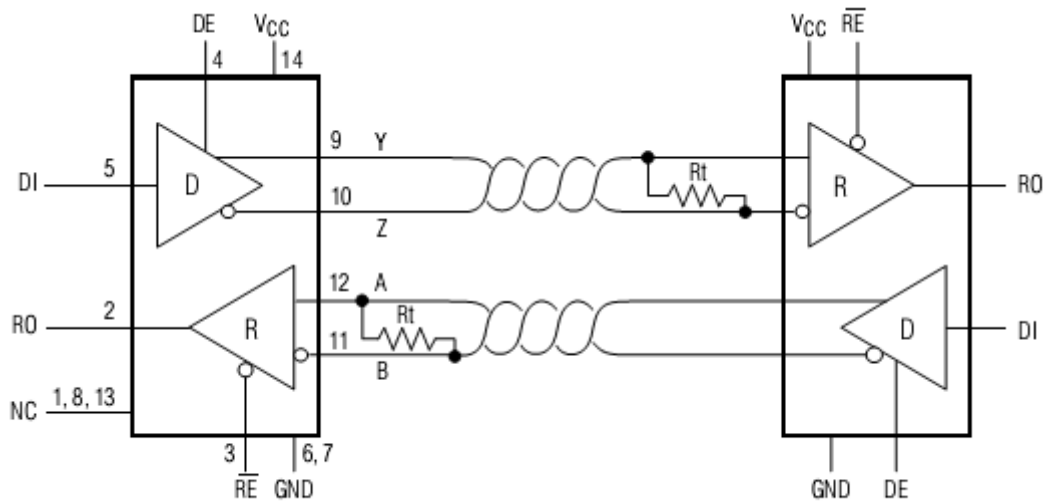


Figura 43 - Ligação RS-485 de dois dispositivos

Casos se queira ligar vários, como é o caso (ver Fig. 44), o equipamento mestre tem a sua porta de envio ligada à porta de recepção de todos os outros dispositivos, e a porta de envio de todos os dispositivos ligadas à porta de recepção do mestre (dispositivo mais à esquerda).

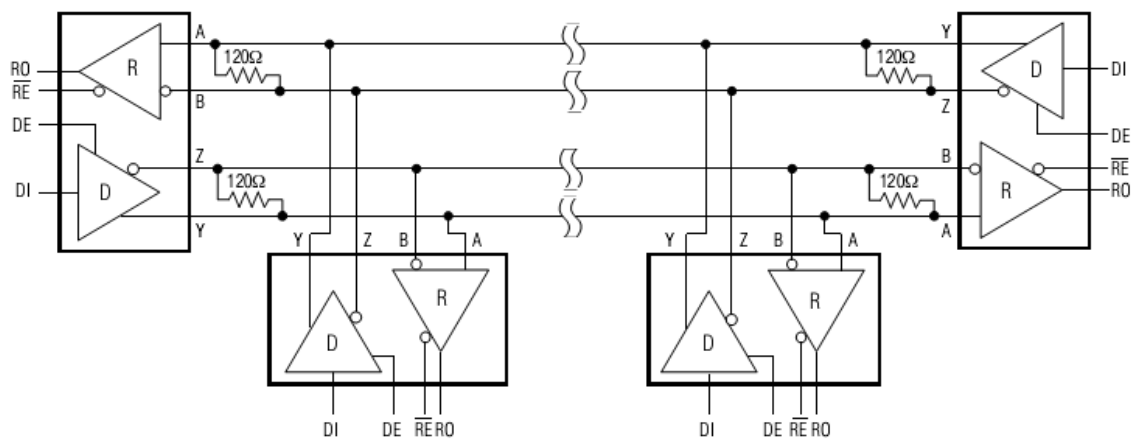


Figura 44 - Ligação RS-485 de múltiplos dispositivos

Um barramento individual pode conter, tipicamente, até 32 dispositivos numa distância máxima de 1200 metros. Como cada máquina na fábrica tem de ter instalado um

registador, e existem perto de 50 máquinas ligadas a cada computador, é necessário utilizar um dispositivo que permita a utilização de mais *transceivers* em cada barramento. Adicionalmente tal também é motivado pelo barramento ter mais de 1200 metros de comprimento. Esse dispositivo tem o nome de *Line Repeater*. A função do repetidor de linha é permitir a ligação de dois barramentos em série, possibilitando a ligação de 64 dispositivos e o dobro da distância de comunicação. O esquema da Fig. 45 mostra como é feita a ligação do repetidor de linha.

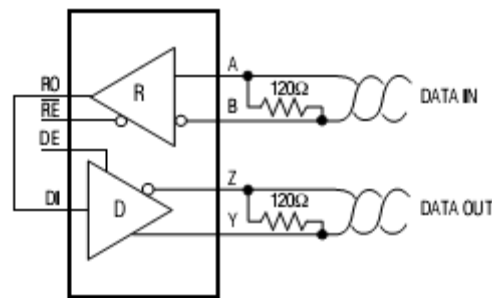


Figura 45 - Repetidor de linha para mais dispositivos e mais distância

Esta é a constituição básica habitual de um barramento de comunicação RS-485, no entanto, com já foi referido anteriormente, cada registador contém dois *transceivers* em vez de apenas um. Após o estudo do interior do registador foi possível perceber que este tem um *transceiver* individual para a recepção de dados e outro para o envio de dados, e ao mesmo tempo, esses dois *transceivers* funcionam como repetidores de linha. A imagem da Fig. 46 mostra essa ligação.

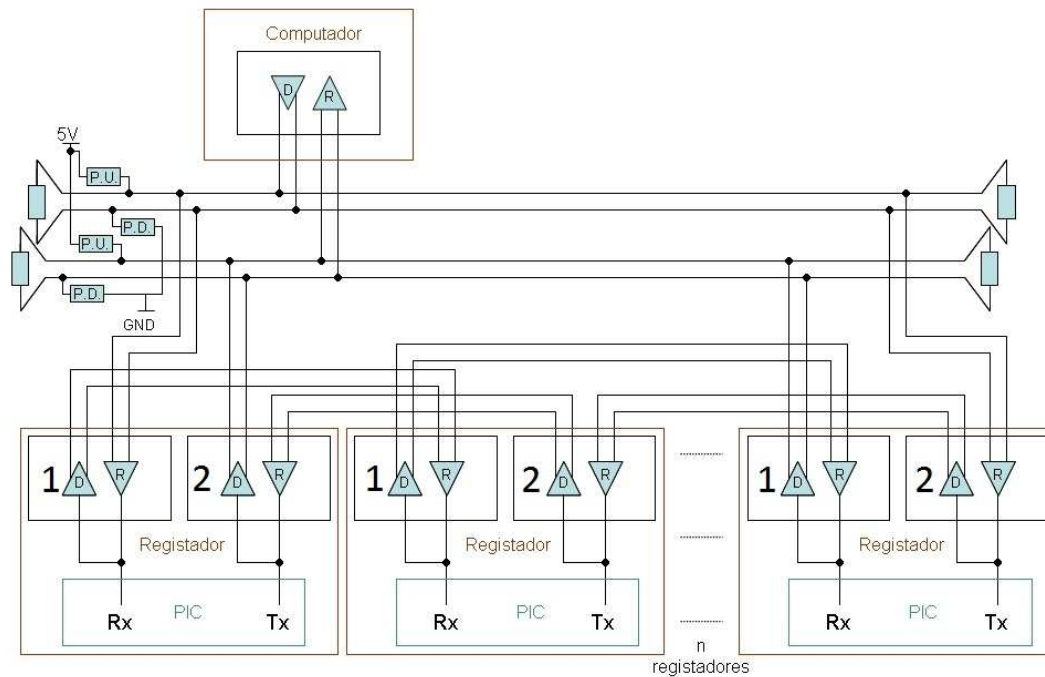


Figura 46 - Esquema de ligação do sistema actual

Em cada registador o primeiro transceiver serve para a recepção de informação e o segundo para o envio.

O sentido de informação no caso de envio do computador é: o computador envia a informação, o primeiro registador recebe essa informação no primeiro *transceiver*, caso a informação seja relativa a esse registador, ele responde de volta através do segundo *transceiver*. Caso a informação não seja para o primeiro registador, o *transceiver* funciona como repetidor de sinal e a informação é enviada para o segundo registador. Se a informação for para o segundo registador, este responde pelo segundo *transceiver*, a informação vai para o primeiro registador e o segundo *transceiver* funciona agora como repetidor de sinal, e então a informação chega finalmente ao computador.

É assim possível perceber que os registadores não estão ligados ao barramento central, mas sim ligados em série, havendo uma amplificação de sinal em cada registador. Teoricamente esta ligação devia funcionar correctamente, no entanto não funciona.

Por alguma razão que não foi possível apurar, quando um registador fica avariado, este deixa de conseguir realizar a amplificação de sinal como repetidor, quebrando assim a

ligação ao sistema central. Por essa razão todos os outros registadores dependentes desta ligação também deixam de realizar a comunicação. Se a avaria for na fonte de alimentação, os *transceivers* deixam de ter energia para funcionar, deixando de poder funcionar como repetidores de sinal. Mas em grande parte dos casos o problema era apenas no microcontrolador e mesmo assim havia problemas com a comunicação dos restantes registadores. Por vezes torna-se difícil perceber qual o registador que está a causar problemas de ligação ao computador (por vezes havia 20 registadores com falhas de comunicação por causa de apenas um registador avariado).

Uma vez encontrado o problema, a solução adoptada é desligar os dois conectores de comunicação do registador e ligar os conectores entre si para restabelecer a ligação do barramento. As imagens das Fig. 47 e Fig. 48 mostram um exemplo.



Figura 47 - Registador desligado da rede de comunicação



Figura 48 - Ligação dos dois conectores de comunicação de um registor

A ligação apresentada na Fig. 48 é possível pois os conectores são um macho e o outro fêmea, ambos do tipo D de 9 pinos.

Após a verificação destes problemas, foi apresentada uma solução à direcção da empresa. A simples substituição do método de comunicação podia solucionar de imediato alguns dos problemas constates no sistema. O objectivo seria manter o método de comunicação RS-485, mas com a configuração mais habitual e não com a existente.

A imagem da Fig. 49 mostra um exemplo dessa ligação.

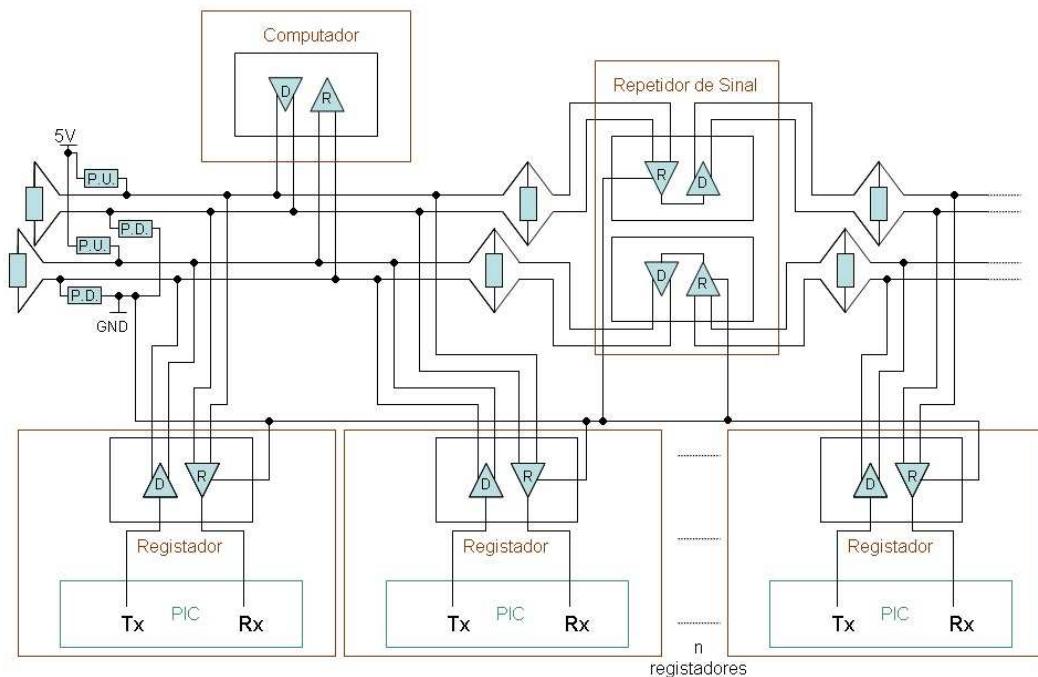


Figura 49 - Alternativa de ligação do sistema de comunicação dos registadores

Além deste método ser mais viável, será também mais fácil identificar a fonte de possíveis problemas. Com este método, caso um registador se avarie não irá influenciar a comunicação dos outros registadores vizinhos, não havendo assim quebras nos dados recebidos pelos computadores (problema habitual). Caso apareçam vários registadores com defeito na comunicação, a razão estará associada a uma das caixas de repetição de sinal, como tal basta identificar qual é a caixa, e trocar por uma de reserva, solucionando assim de imediato o problema. A desvantagem deste novo método de ligação é a necessidade de construir um registador novo para cada máquina, o que torna o investimento um pouco alto. Também haveria a possibilidade de adaptação dos registadores atuais para funcionarem apenas com um *transceiver*, mas essa alteração demoraria muito tempo e seria necessário ter dois barramentos diferentes a funcionarem em simultâneo.

Mas, mesmo assim, a principal razão para não se avançar para este sistema será mesmo a agressividade dos químicos presentes na fábrica para com os cabos e ligações do sistema. Foi possível observar que em toda a fábrica, os cabos estão de algum modo em contacto com vários químicos diferentes, umas vezes só por encosto a reservatórios, e noutras estando em contacto directo com eles. Estes químicos deterioraram os cabos muito

depressa, havendo a necessidade de os trocar com frequência. Além disso, também a constante movimentação de máquinas danifica os cabos, e por vezes são colocadas em zonas onde não há possíveis ligações para o registador.

Estas foram as principais razões que levaram ao pedido da direcção da empresa, que se prendia com a tentativa de encontrar uma wireless para o sistema.

Capítulo 4 – Solução Wireless

Com o aumento da necessidade de comunicações à distância, cresceu a procura de comunicações sem fios. Com o passar dos anos foram sendo criados novos sistemas e novos protocolos sem fios, sendo que nos dias de hoje a escolha já é ampla e de qualidade.

Para a aplicação desejada é preciso um sistema capaz de comunicar a uma distância considerável, e que seja capaz de resistir a interferências eléctricas e electromagnéticas.

Um sistema com estas características seria uma rede Wi-Fi IEEE 802.11, no entanto não é o mais indicado para este tipo de funcionamento, pois não é possível de adaptar ao sistema actual. A utilizar este tipo de sistema seria necessário, obrigatoriamente, actualizar o sistema de registo para um bem mais avançado e dispendioso. Outra possibilidade encontrada no mercado é o sistema ZigBee IEEE 802.15. Este sistema já compreende as necessidades desejadas e além disso tem um preço acessível.

Apresentação do ZigBee:

No mercado das comunicações sem fios era habitual utilizar os módulos RF 315MHz, 492MHz ou outros, no entanto estes módulos não têm um protocolo padrão entre fabricantes e não são indicados para funcionamento em rede.

Por haver uma falta de equipamentos orientados para soluções deste tipo foi criado o sistema ZigBee. Através desta solução é possível comunicar a distâncias elevadas, de 1600 metros ou mais (utilizando roteadores), sendo que é possível desenvolver uma rede de múltiplos dispositivos que comuniquem entre si, ou com uma base central. Essas redes podem englobar desde apenas 2 dispositivos a 100, 500 ou mesmo 65000 dispositivos (podendo utilizar ainda mais alterando o canal de comunicação). Com sistemas deste género já é possível acabar com o “emaranhado” de fios nos diferentes sectores da indústria ou mesmo em residências.

Por ter estas características, este tipo de sistema pode ser utilizado nos mais diversos locais, como é possível ver na imagem da Fig. 50.



Figura 50 - Sectores onde se implementa a tecnologia ZigBee

A solução ZigBee IEEE 802.15.4 é desenvolvida pela *ZigBee Alliance* em cooperação com o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), contando esta associação com mais de 300 parceiros em vários países.

As redes ZigBee, além de oferecerem um funcionamento em rede baseado numa norma aberta e global, são também de baixo consumo energético, baixo custo, seguras e ainda com uma excelente imunidade contra interferências e comunicações robustas, graças ao funcionamento na frequência ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Mesmo com a utilização de tantos dispositivos (mais de 65000), é possível ter velocidades de comunicação entre 20Kbps e 250Kbps.

Por ser utilizada uma norma global, normalizada pelo IEEE, é possível utilizar dispositivos de produtores diferentes na mesma rede ZigBee, como por exemplo, utilizar equipamentos XBee da *Maxstream* numa rede constituída maioritariamente por equipamentos da *Microchip* (ou outros fabricantes).

Topologias de redes ZigBee:

Numa rede ZigBee é possível encontrar um tipo ou dois diferentes de dispositivos. O primeiro tipo é FFD (*Full Function Device*), ou dispositivo de funções completas. Estes dispositivos podem assumir qualquer parte da rede, como coordenador, roteador ou mesmo dispositivo final. Por serem dispositivos mais complexos, necessitam de hardware mais potente para a implantação da pilha de protocolos, e por essa razão consomem mais energia.

O outro tipo de dispositivo é RFD (*Reduced Function Device*), ou dispositivo de funções reduzidas. Estes dispositivos podem apenas adquirir a função de dispositivo final, comunicando apenas com dispositivos FFD. Como são dispositivos mais simples, não precisam de hardware muito avançado, e como não se encontram em funcionamento constante podem ser colocados em modo *sleep* para se reduzir ao máximo o consumo energético.

Os três tipos de dispositivos que se podem encontra numa rede ZigBee são:

- **ZC – ZigBee Coordinator (Coordenador ZigBee)** – Apenas dispositivos do tipo FFD podem assumir esta função. O coordenador, também conhecido por ‘master’, é responsável pela inicialização, distribuição de endereços e manutenção da rede.
- **ZR – ZigBee Router (Roteador ZigBee)** – Esta função também só pode ser realizada por equipamento FFD. A função deste dispositivo é funcionar como amplificador de sinal, possibilitando comunicações mais distantes.
- **ZED – ZigBee End Device (Dispositivo final ZigBee)** – Esta função podem ser implementada ou com dispositivos do tipo FFD ou RFD. Como a função deste equipamento é a ligação a interruptores ou sensores, não precisa de estar sempre ligado, permitindo a implementação do modo *sleep*.

O nome ZigBee foi pensado por analogia com o método utilizado para comunicação semelhante ao modo como as abelhas (**bee**) trabalham. As abelhas que vivem em colmeia voam em **zigzag**, e dessa forma, durante um voo em que procuram néctar para fazer o mel, trocam informação umas com as outras sobre distância, direcção e localização dos alimentos. Uma malha ZigBee dispõe de vários caminhos possíveis entre cada nó da rede para a passagem de informação. Assim, se caminho mais curto estiver a gerar problemas

(mau funcionamento), é possível passar a informação por outro caminho, fazendo esta chegar ao seu destino.

Há três tipologias de comunicação para uma rede ZigBee: *Mesh*, *Cluster Tree* e *Star*.

A tipologia *Mesh* (Malha ou Ponto-a-Ponto) pode ajustar-se automaticamente, tanto na inicialização como na entrada ou saída de dispositivos na rede. A rede reorganiza-se sozinha de modo a optimizar o tráfego de dados. Graças aos vários caminhos de comunicação entre os diferentes nós, é possível abranger uma longa área de acção.

A tipologia *Cluster Tree* (Árvore) é semelhante à anterior, no entanto, tem uma hierarquia muito maior, em que o coordenador assume o papel de mestre da rede para a troca de informação entre os nós *router* e *end device*.

A tipologia mais simples é a *Star* (Estrela), na qual existe um coordenador com diversos terminadores conectados a ele. Este tipo de rede deve ser utilizada em locais com poucos obstáculos, como por exemplo uma sala sem muitas paredes ou no exterior (com linha de visão entre dispositivos).

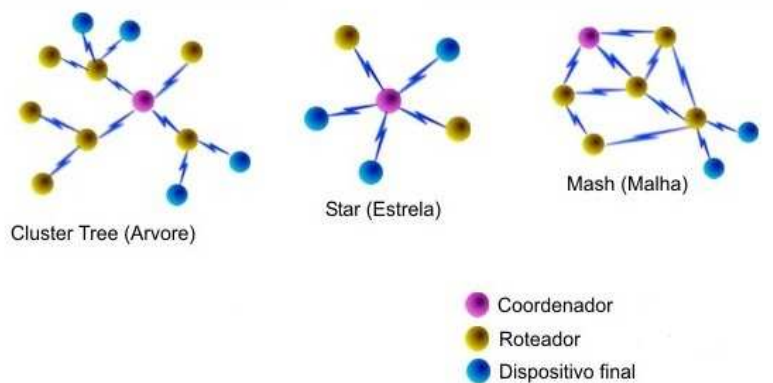


Figura 51 - Tipologias de comunicação ZigBee

Além das tipologias diferentes de rede, também existem dois modos diferentes de operação da rede. No modo *Beaconing* os dispositivos com funções de roteador transmitem uma sinalização para confirmar a sua presença aos outros roteadores da mesma rede. Os outros nós da rede só precisam estar activos no momento da sinalização, permanecendo o resto do tempo em modo *sleep*. Com este tipo de operação é possível reduzir ao máximo o

consumo de energia da rede, e assim os aparelhos que funcionem com modo *sleep* activo podem utilizar pilhas ou baterias como fonte de alimentação.

O outro modo de operação da rede é chamado de *Non-Beaconing*, e neste modo os dispositivos estão sempre preparados para a recepção de dados, nunca entrando em modo *sleep*. Assim o consumo de energia aumenta, e o uso de pilhas ou de baterias como fonte de alimentação deixa de ser viável, sendo preciso alimentar o dispositivo a partir da rede eléctrica.

Módulos XBee:

Dos vários módulos disponibilizados no mercado, por exemplo os da *Microchip*, *Atmel*, *Jennic*, *Texas Instruments*, *STMicroelectronics* ou *Digi International* (antiga *Maxstream*), os que se mostraram mais indicados para o projecto foram os da Digi. Isto porque são os dispositivos mais utilizados no mercado e por isso encontrasse muita informação sobre estes equipamentos. Além disso vêm preparados para serem utilizados em placas de circuito impresso normais, enquanto que a maioria das outras marcas fornece dispositivos do tipo SMD. Por fim, e a principal razão, foi o preço e a facilidade de fornecimento (um dia de entrega após a encomenda).

Os módulos XBee/XBee-PRO da Digi vêm equipados com antenas à escolha, pode ser uma antena SMD que torna o módulo mais compacto, pode ser uma antena pequena (cerca de 2.5 cm) ligada directamente na placa, ou então um conector para ligar uma antena adquirida em separado. Com estes dois últimos tipos de antena, é possível orientar o sentido da comunicação, e melhorar assim a performance da rede.

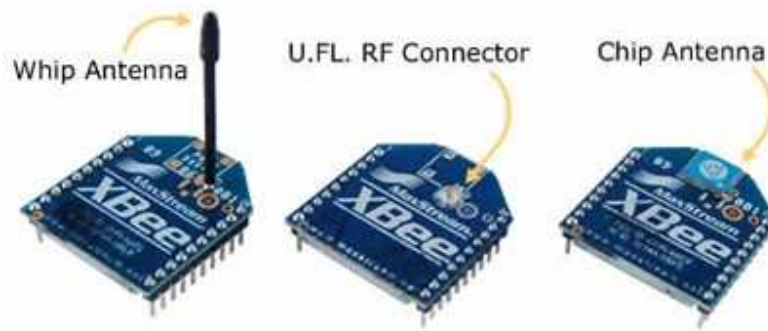


Figura 52 - Tipos de antena dos dispositivos XBee

Para que se possa utilizar um dispositivo adequado à aplicação que se está a desenvolver, a Digi disponibiliza dois tipos de módulos diferentes. O módulo XBee não têm características tão boas como os módulos XBee-PRO, no entanto são mais do que suficientes para aplicações domésticas, e obviamente não são tão dispendiosos. As características principais destes módulos XBee são:

- **Alcance em ambientes internos/zonas urbanas:** 30 metros;
- **Alcance em ambientes externos (linha visível):** 100 metros;
- **Potência de transmissão:** 1mW (0 dBm);
- **Velocidade de transmissão:** 1200 – 115200 bps;
- **Sensibilidade do receptor:** -92 dBm;
- **Tensão de alimentação:** 2.8V – 3.4V;
- **Corrente de transmissão (típica):** 45mA (a 3.3V);
- **Corrente de recepção (típica):** 50mA (a 3.3V);
- **Corrente de Power-down (Sleep):** <10μA;
- **Número de canais de comunicação:** 16.

No caso dos módulos XBee-PRO, as características são em parte semelhantes, havendo alguma diferença em termos de distância de comunicação e de consumo energético, como se pode ver de seguida:

- **Alcance em ambientes internos/zonas urbanas:** 100 metros;
- **Alcance em ambientes externos (linha visível):** 1500 metros;
- **Potência de transmissão:** 60mW (18 dBm) conduzido, 100mW (20 dBm) EIRP;
- **Velocidade de transmissão:** 1200 – 115200 bps;
- **Sensibilidade do receptor:** -100 dBm;
- **Tensão de alimentação:** 2.8V – 3.4V;
- **Corrente de transmissão (típica):** Se comando PL=0 (10dBm), 137mA(a 3.3V) ou 139mA(a3.0V); se comando PL=1 (12dBm), 155mA(a 3.3V) ou 153mA(a 3.0V); se comando PL=2 (14dBm), 170mA(a 3.3V) ou 171mA(a 3.0V); se comando PL=3 (16dBm); 188mA(a 3.3V) ou 195mA(a 3.0V); se comando PL=4 (18dBm); 215mA(a 3.3V) ou 227mA(a 3.0V);
- **Corrente de recepção (típica):** 55mA (a 3.3V);
- **Corrente de Power-down (Sleep):** <10µA;
- **Número de canais de comunicação:** 12.

Estas são as características em que os módulos mais se diferenciam, o que não impede que numa rede se possam ligar módulos diferentes (XBee e XBee-PRO), uma vez que as restantes características são iguais:

- **Frequência de operação:** ISM 2.4GHz (2.4000-2.4835 GHz);
- **Temperatura de operação:** -40 a 85° C (industrial);
- **Opções de antena:** SMD, Fio integrado ou conector U. FL;

- **Topologias de rede suportadas:** Point-to-point, Point-to-multipoint e Peer-to-peer;
- **Opções de endereçamento:** Pan ID, canal e endereços;
- **Número de endereços:** 65000 por cada canal.

Além das características semelhantes entre módulos, eles também são construídos com uma pinagem igual, permitindo que sejam configurados e programados pela mesma placa de desenvolvimento.

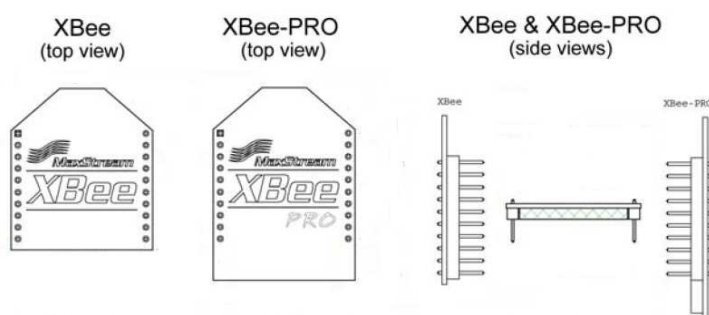


Figura 53 - Comparação dos módulos XBee e XBee-PRO

Assim, para ambos os módulos, a descrição de cada pino é apresentada na Tabela 3:

Tabela 3 - Descrição de cada pino dos módulos XBee

Pino	Nome	Direcção	Descrição
1	VCC	-	Alimentação (2.8V a 3.3V)
2	DOUT	Saída	Saída de dados UART
3	DIN / CONFIG	Entrada	Entrada de dados UART
4	DO8	Saída	Saída digital 8
5	RESET	Entrada	Reset do módulo
6	PWM0 / RSSI	Saída	Saída de PWM / Indicador de força do sinal RF
7	PWM1	Saída	Saída de PWM
8	(Reservado)	-	Sem função (futura implementação)
9	DTR / SLEEP_IRQ / DI8	Entrada	Linha de controlo da função Sleep ou Entrada digital 8
10	GND	-	Terra
11	AD4 / DIO4	Entrada / Saída	Entrada analógica 4 ou I/O 4
12	CTS / DIO7	Entrada / Saída	Controlo de fluxo CTS ou I/O 7
13	ON / SLEEP	Saída	Indicador de estado do módulo
14	VREF	Entrada	Voltagem de referência Entradas A/D
15	Associação / AD5 / DIO5	Entrada / Saída	Indicador de Associação, Entrada analógica 5 ou I/O 5

16	RTS / AD6 / DIO6	Entrada / Saída	Controlo de fluxo RTS, Entrada analógica 6 ou I/O 6
17	AD3 / DIO3	Entrada / Saída	Entrada analógica 3 ou I/O 3
18	AD2 / DIO2	Entrada / Saída	Entrada analógica 2 ou I/O 2
19	AD1 / DIO1	Entrada / Saída	Entrada analógica 1 ou I/O 1
20	AD0 / DIO0	Entrada / Saída	Entrada analógica 0 ou I/O 0

Os módulos vêm preparados de fábrica para serem usados de imediato, sendo apenas necessário alimentar os módulos com uma tensão de 3.3V para ser estabelecida uma ligação de comunicação. A tipologia de rede para a qual os módulos vêm preparados é a ponto-a-ponto, ou seja, em malha.

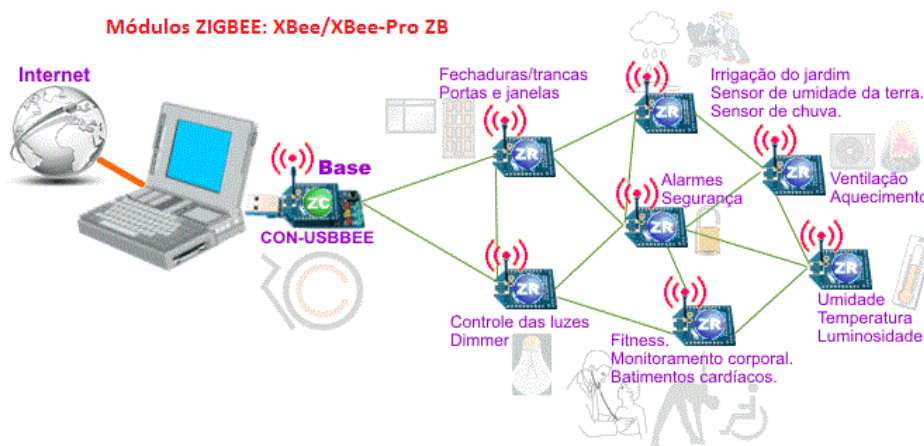


Figura 54 - Ligação de módulos XBee em malha

Esta é a topologia que melhor se adapta ao sistema implementado na fábrica, pois deste modo reduzir-se-á ao máximo as quebras de comunicação, dado que há vários caminhos possíveis para a transmissão de dados. No sistema implementado, nas máquinas estarão os dispositivos roteadores, tal como ilustrado na Fig. 54, e no computador estará o dispositivo coordenador.

Os módulos XBee / XBee-PRO podem trabalhar em dois modos diferentes: modo transparente e modo API (Application Programming Interface).

No modo transparente, os dados recebidos da UART do microcontrolador pelo pino DI (RX) do XBee, são colocados na fila para transmissão via RF. Os dados recebidos por RF são transmitidos pelo pino DO (TX) para a UART do microcontrolador. Neste modo os dados são tratados da mesma forma que numa comunicação série RS-232.

O outro modo, API, é uma alternativa ao modo transparente. Neste modo os dados transmitidos e recebidos estão contidos em *frames*, que definem operações ou eventos dentro do módulo. Através deste modo de operação é possível um determinado módulo enviar o endereço fonte, o endereço destino, nome do nó, o sinal RSSI, o estado, e outros tipos de informação.

Capítulo 5 – Aplicação física

Depois do pedido da empresa para encontrar uma solução sem fios viável para o sistema, e após a investigação de diferentes tipos de sistemas wireless, chegou-se à conclusão que os sistemas ZigBee têm potencial para ser a melhor solução. De qualquer modo é preciso realizar um estudo físico para perceber se realmente se pode optar por esta solução ou não. Este capítulo apresenta o desenvolvimento físico desse sistema.

Equipamento de Registo:

Para começar o projecto de desenvolvimento do hardware foi necessário desenvolver um dispositivo semelhante aos registadores, ou seja, um sistema baseado num microcontrolador PIC da microchip. Para poupar nos custos não se implementou um teclado de introdução de dados nem um ecrã de apresentação de dados. Apenas se incluiu 4 leds para ajudar a perceber se o PIC recebia dados do computador ou não, a parte necessária à comunicação RS-485, um potenciómetro para entrada de sinal analógica variável pelo utilizador e um sensor de temperatura para entrada de sinal analógica variável ao longo do tempo. O estudo inicial foi realizado numa placa de testes, cumprindo o seguinte esquema de ligações apresentado na Fig. 55.

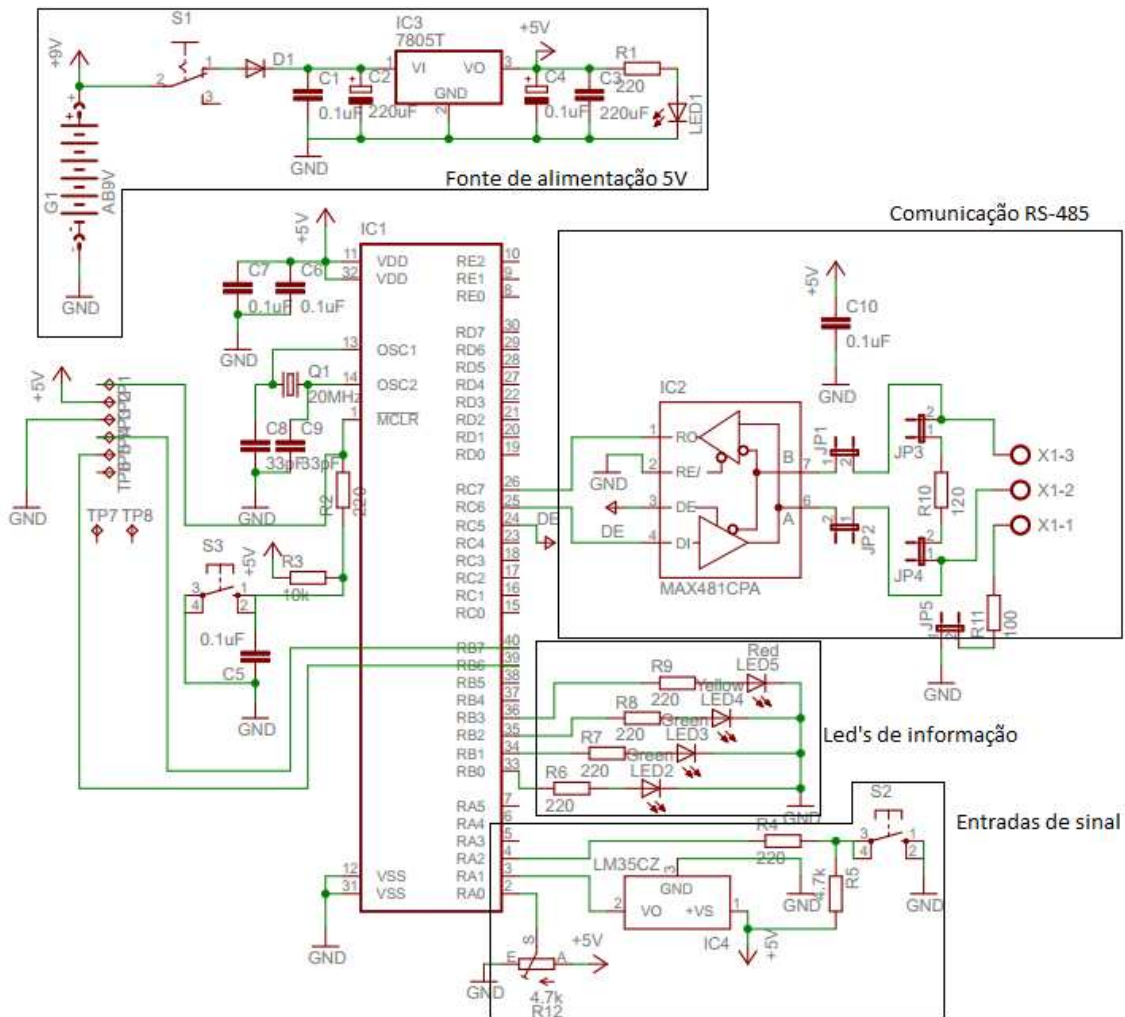


Figura 55 - Esquema de ligação do simulador de registrador

Rande parte do circuito apresentado anteriormente assemelha-se a uma placa “PICDEM 2 Plus” da Microchip, apenas o circuito do transceiver RS-485 não se encontra presenta nessas placas de teste. Depois de montados os componentes na placa de teste segundo o esquema apresentado, obteve-se o circuito de teste apresentado na Fig. 56.

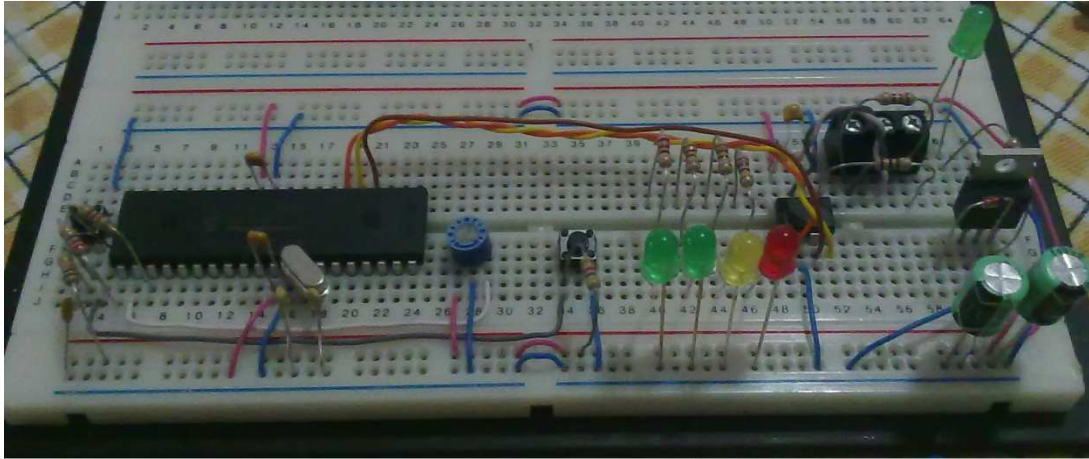


Figura 56 - Montagem em placa de testes do circuito do simulador de registrador

Depois de montado o circuito avançou-se para os testes físicos. Realizou-se a programação do PIC para: acender os leds em sequência, acender os leds em sequência dependendo do valor de entrada do potenciômetro e depois para o sensor de temperatura, por fim testou-se a comunicação RS-485 com o computador.

Para este ultimo teste utilizou-se uma placa de conversão USB para RS-232 juntamente com um *transceiver* RS-485 para a conversão RS-232 para o desejado RS-485. Para os testes iniciais utilizou-se uma placa de conversão existente em laboratório da ESTT/IPT.

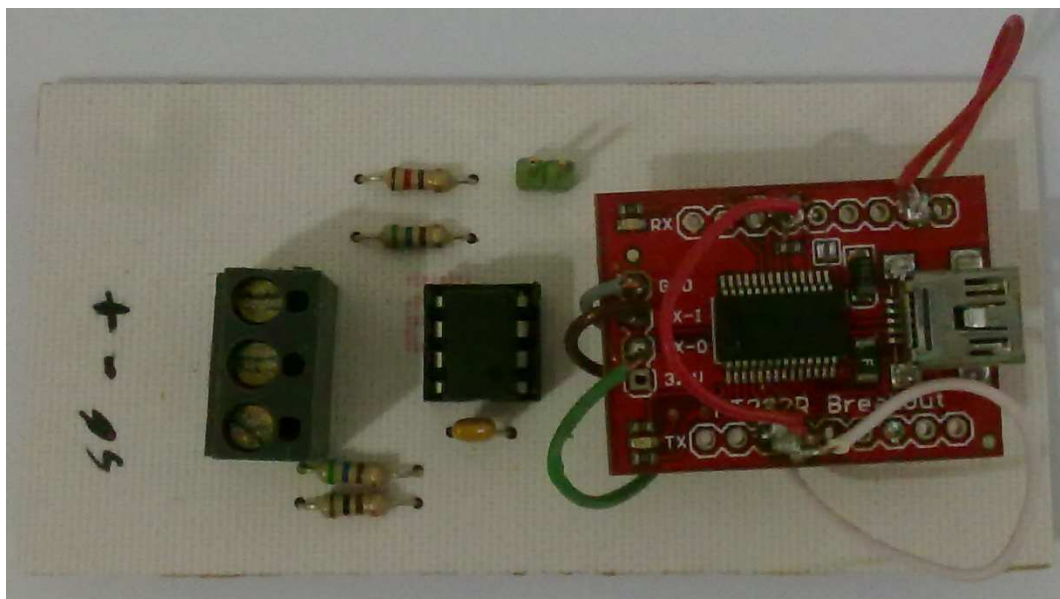


Figura 57 - Placa de conversão USB para RS-485 para testes

Todos os testes mostraram um funcionamento correcto do circuito, pelo que se avançou para a construção da placa de circuito impresso apresentada na Fig. 58.

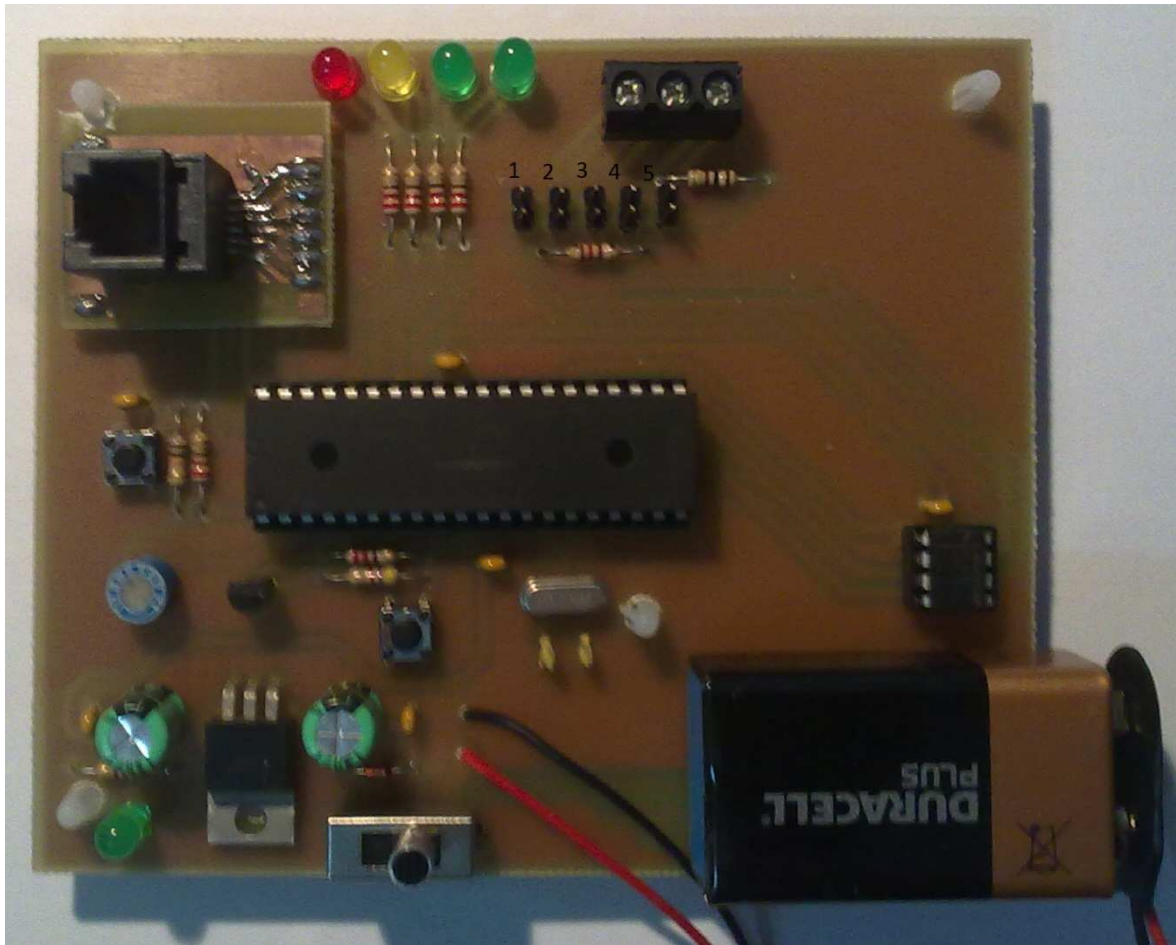


Figura 58 - Placa de simulação de registador

Além dos circuitos mencionados incluídos nesta placa, também é possível visualizar no canto superior esquerdo o circuito de programação do microcontrolador. Deste modo não é necessário retirar o PIC da placa cada vez que se deseja programá-lo.

O circuito integrado responsável pela comunicação RS-485 está afastado do resto dos componentes para facilitar a conversão futura para a comunicação wireless. Este assunto será desenvolvido mais à frente.

Junto do conector de comunicação estão colocados 5 *jumpers* de ligação, estes componentes são responsáveis pela configuração do barramento RS-485. Como se pode ver pela Fig. 44, caso o barramento tenha múltiplos dispositivos, os que estão em cada

ponta final do barramento, têm de incluir uma resistência de 120Ω entre os dois cabos. Se o dispositivo tiver de ser colocado numa ponta do barramento, terá de ter os 5 *jumpers* ligados, caso esse não seja o caso e o dispositivo estiver a meio do barramento, apenas os *jumpers* 1, 3 e 5 terão de estar ligados (ver numeração da Fig. 58).

Com a placa de conversão USB para RS-485 usada para testes foi possível verificar o correcto funcionamento do equipamento. De seguida vai ser colocado um pequeno exemplo de teste ao dispositivo e à comunicação.

Teste ao circuito de comunicação:

Para testar a comunicação entre o dispositivo e o computador, a ligação foi feita como é apresentado na Fig. 59. O microcontrolador foi programado de modo a ler a mensagem recebida. Essa mensagem é um caracter de 1 a 4. O PIC irá acender o led respectivo (led verde mais à direita é o primeiro e o led vermelho mais à esquerda é o quarto). Neste caso é visível que o primeiro led verde está ligado.

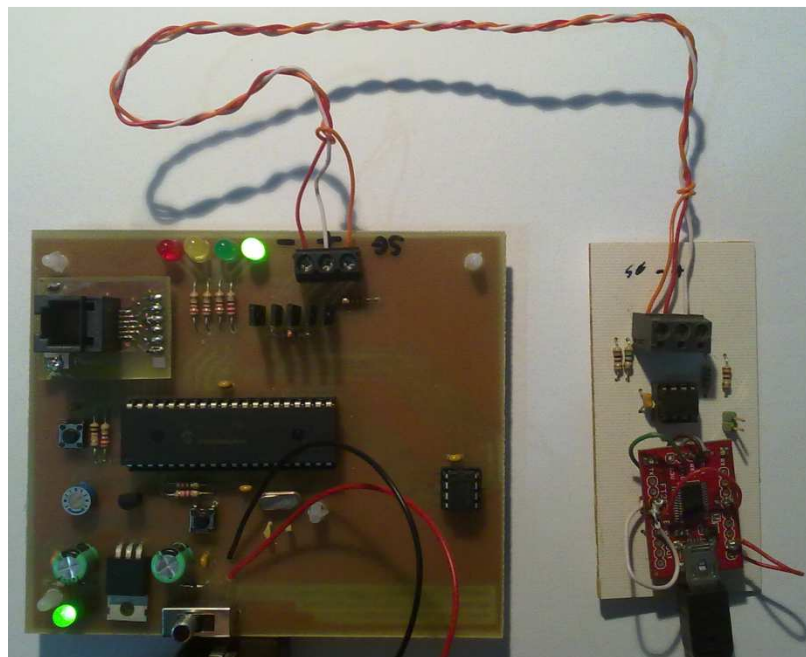


Figura 59 - Ligação do primeiro led do dispositivo após recepção de mensagem

Depois de ser ligado o led relativo à mensagem enviada pelo computador, o PIC devolve uma mensagem a indicar que ligou o led pedido. Neste caso a mensagem enviada pelo microcontrolador é: “Ligado Led 1 do PIC 1”. O programa utilizado no computador é um hipertextual comum (programa fornecido no cd de documentos).

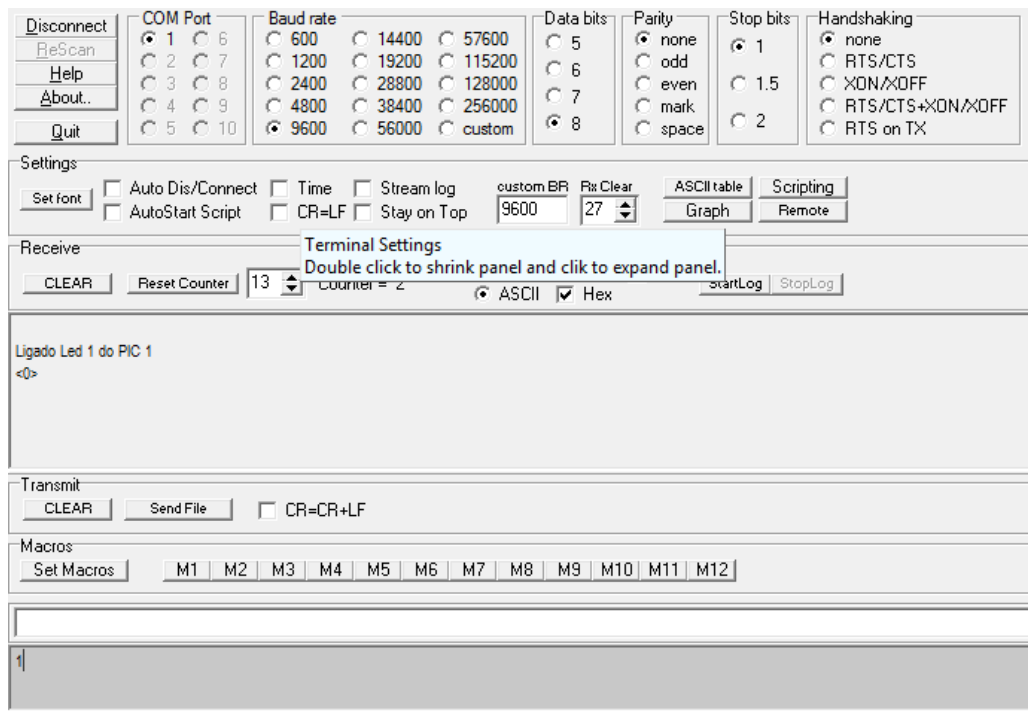


Figura 60 - Mensagem devolvida pelo microcontrolador

Neste segundo exemplo pode-se verificar que o led que se encontra aceso é o número quatro (vermelho) .

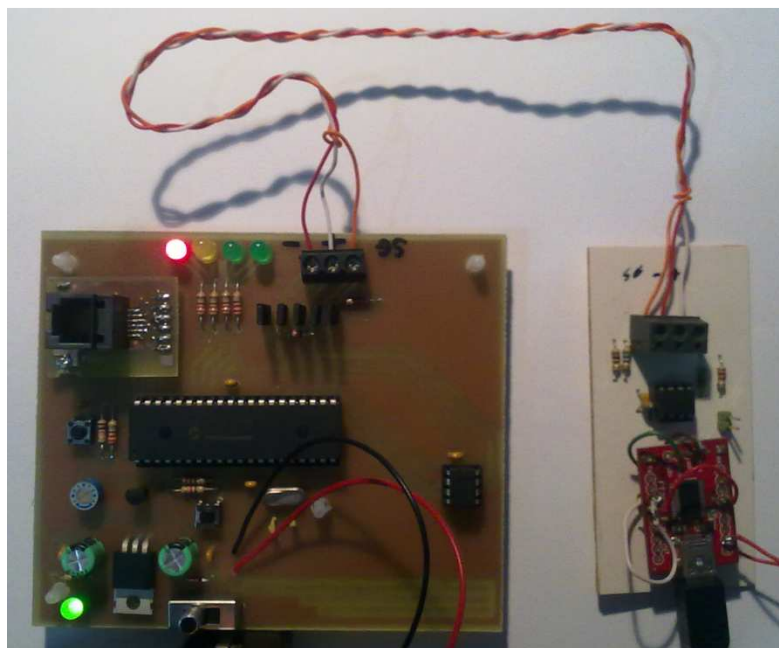


Figura 61 - Ligação do quarto led do dispositivo após recepção de mensagem

Nesta imagem que se segue vesse a mensagem devolvida pelo PIC.

Disconnect ReScan Help About.. Quit	COM Port	Baud rate	Data bits	Parity	Stop bits	Handshaking
	☒ 1 ☐ 6 ☐ 2 ☐ 7 ☐ 3 ☐ 8 ☐ 4 ☐ 9 ☐ 5 ☐ 10	☐ 600 ☐ 14400 ☐ 57600 ☐ 1200 ☐ 19200 ☐ 115200 ☐ 2400 ☐ 28800 ☐ 128000 ☐ 4800 ☐ 38400 ☐ 256000 ☒ 9600 ☐ 56000 ☐ custom	☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☒ 8	☒ none ☐ odd ☐ even ☐ mark ☐ space	☒ 1 ☐ 1.5 ☐ 2	☒ none ☐ RTS/CTS ☐ XON/XOFF ☐ RTS/CTS+XON/XOFF ☐ RTS on TX

Settings	☐ Auto Dis/Connect ☐ Time ☐ Stream log ☐ AutoStart Script ☐ CR=LF ☐ Stay on Top	custom BR 9600 Rx Clear 27	ASCII table Graph	Scripting Remote
----------	--	-------------------------------	----------------------	---------------------

Receive
CLEAR Reset Counter 13 Counter = 4 ☐ HEX ☒ ASCII ☒ Dec ☒ Bin ☒ Hex
Reset ASCII char counter Ligado Led 1 do PIC 1 <0> Ligado Led 4 do PIC 1 <0>

Transmit
CLEAR Send File ☐ CR=CR+LF

Macros
Set Macros M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9 M10 M11 M12

4

Connected	Rx: 52	Tx: 3
-----------	--------	-------

Figura 62 - Mensagem devolvida pelo microcontrolador

O programa carregado no PIC pode ser encontrado na zona dos anexos.

Sistema de comunicação sem fios:

Como se pôde depreender do capítulo em que se explicou o funcionamento do sistema ZigBee, a conversão da comunicação RS-485 para wireless é muito simples, pois as placas XBee têm uma entrada e uma saída de dados idêntica às do circuito integrado RS-485. Além desta simples conversão, as placas já vêm configuradas de fábrica no modo desejado.

Primeiro é necessário criar o circuito onde se vai ligar a placa XBee. Como estes dispositivos funcionam a uma tensão diferente à do simulador de registador (3.3V em vez de 5V) é necessário incluir um regulador de tensão. Será incluído no circuito um led de informação de receção de dados, um led de informação de envio de dados, um botão de reset e três leds de informação de nível de sinal. Através da *Digi International*, produtor dos equipamentos, foi possível obter os esquemas das placas de programação das placas XBee que têm estes circuitos desejados. Como tal, foi necessário entender esses esquemas e utilizá-los na criação das placas de adaptação .

O esquema seguinte representa as ligações da placa de comunicação wireless.

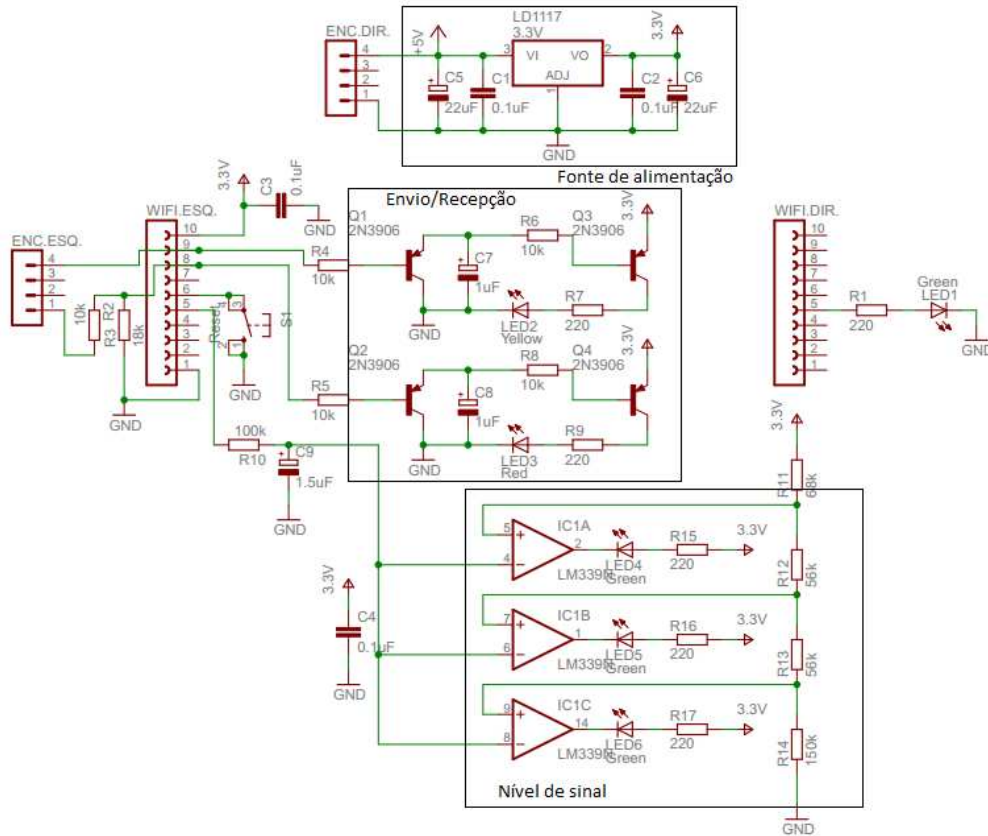


Figura 63 - Esquema de ligações da placa de comunicação wireless

Para facilitar a ligação ao simulador de registrador, aproveitou-se o *socket* onde está ligado o circuito integrado responsável pela comunicação RS-485. Deste modo, para fazer a conversão é apenas necessário tirar o integrado e ligar a placa. Para isso a placa wireless tem um conector feito à dimensão do *socket* da parte de baixo, como se pode ver na Fig. 64.

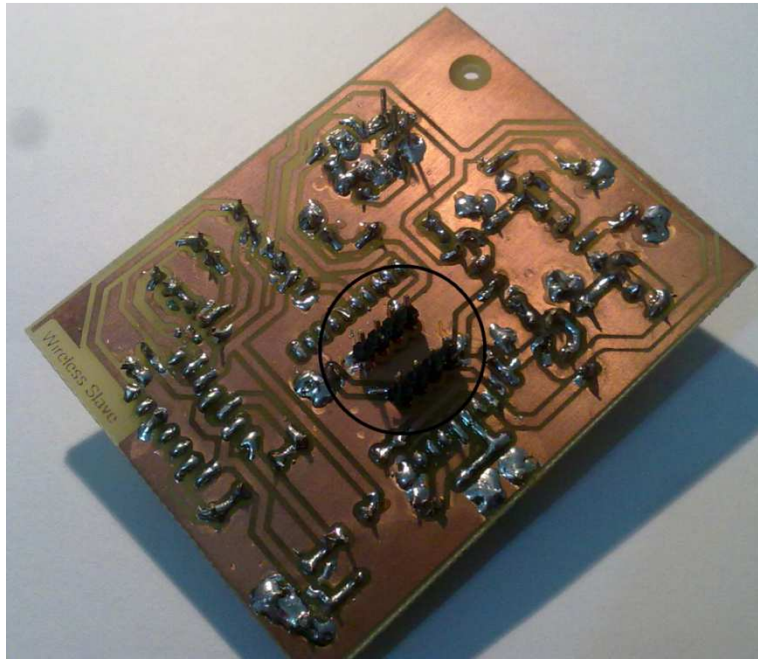


Figura 64 - Pormenor do conector de ligação ao socket

A Fig. 65 apresenta a parte frontal desta mesma placa.

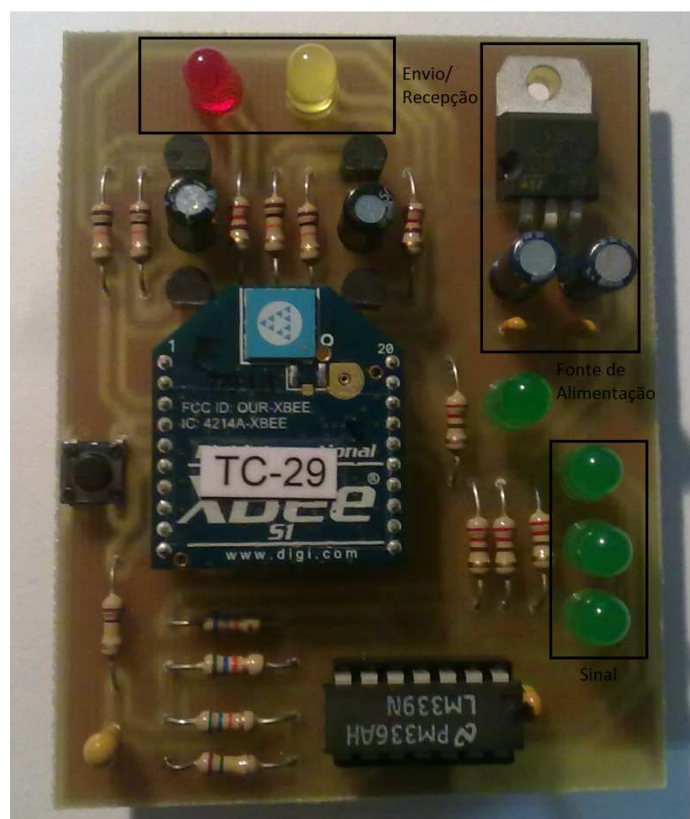


Figura 65 - Placa de comunicação wireless

Na Fig. 65 estão identificados os principais componentes desta placa.

Devido à dimensão desta placa, a placa do simulador de registrador foi feita com medidas específicas, para que não houvesse problemas com a adaptação. Esta é a razão pela qual o *socket* do integrado de comunicação se encontrar distante do resto dos componentes. Na placa de conversão USB para RS-485 isso já não acontece, impossibilitando assim a ligação de uma placa de comunicação sem fios. Para resolver este problema optou-se por fazer uma placa de conversão nova. O esquema eléctrico é igual à já mencionada, sendo necessário alterar a localização dos componentes eléctricos.

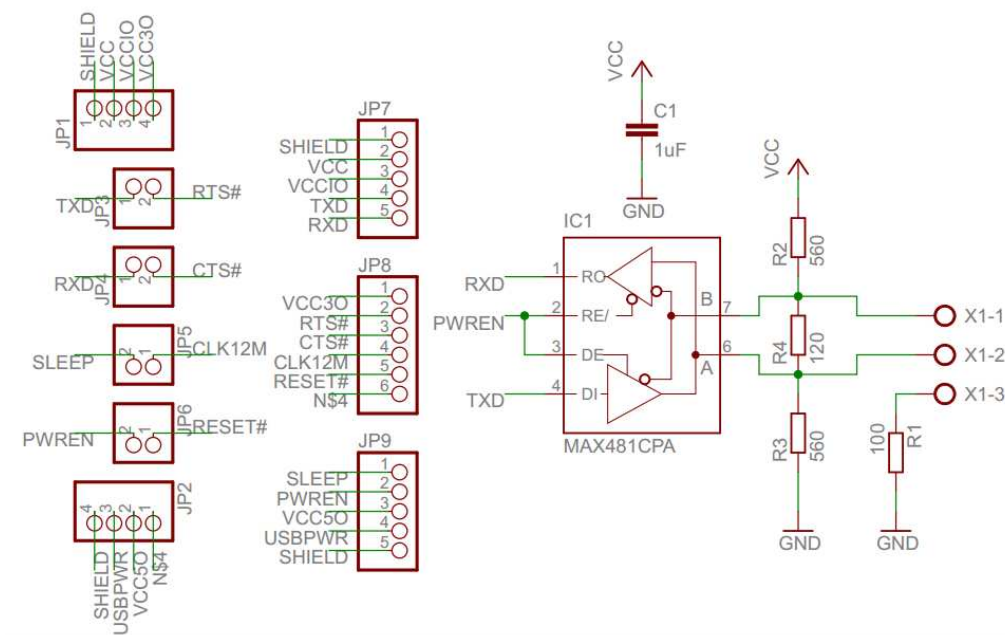


Figura 66 - Esquema de ligação da placa de conversão USB para RS-485

Neste caso a placa de conversão USB para RS-232 é diferente da placa de testes, mas o seu funcionamento é igual. No entanto é necessário utilizar o software MProg para programar o chip FT232RQ da placa de comunicação e colocar o pino PWREN a funcionar como TXDEN (em caso de dúvidas colocar todos os pinos configuráveis como TXDEN). Esta configuração é necessária pois o pino TXDEN é activado quando existe uma transmissão a ser realizada, e como ele está ligado ao pino de activação de transmissão do transceiver, este fica pronto para o envio. Para a recepção o pino não é activado, e logicamente o transceiver fica pronto para a recepção. O programa MProg também é fornecido no CD assim como o manual de utilizador deste.

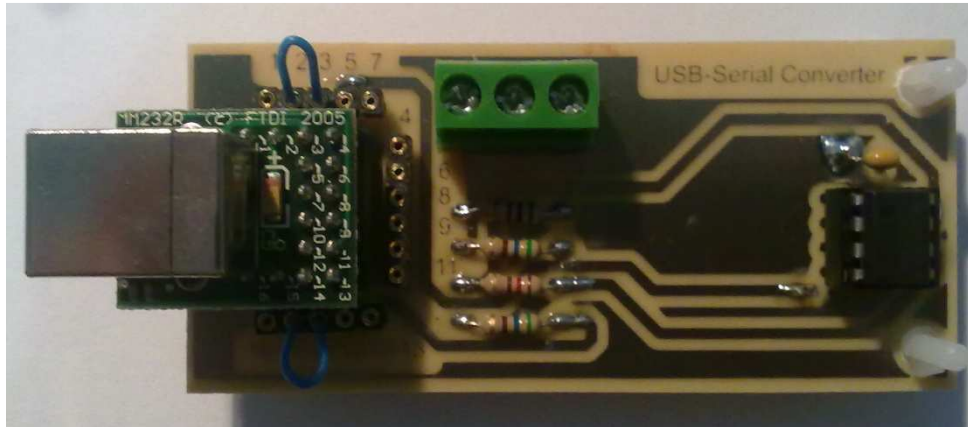


Figura 67 - Placa de conversão USB para RS-485

Esta placa foi construída de modo a permitir flexibilidade em utilizações futuras, ou seja com a configuração que se quiser. Esse é o motivo pelo qual se encontra um conjunto de furos ao lado do conversor, permitindo a ligação de cabos como se desejar. Por esta razão é necessário incluir dois cabos de alimentação visíveis na imagem da Fig. 67, o cabo na parte de cima liga o pino 2 ao pino 3 e serve para alimentar o resto do circuito da placa com 5V; o cabo da parte de baixo liga o pino 14 ao pino 15 e esta ligação serve para alimentar o chip FT232RL da placa de comunicação.

Após retirar o circuito integrado do *socket*, pode-se ligar a placa wireless à placa de conversão, ficando esta tal como é apresentado na Fig. 68.

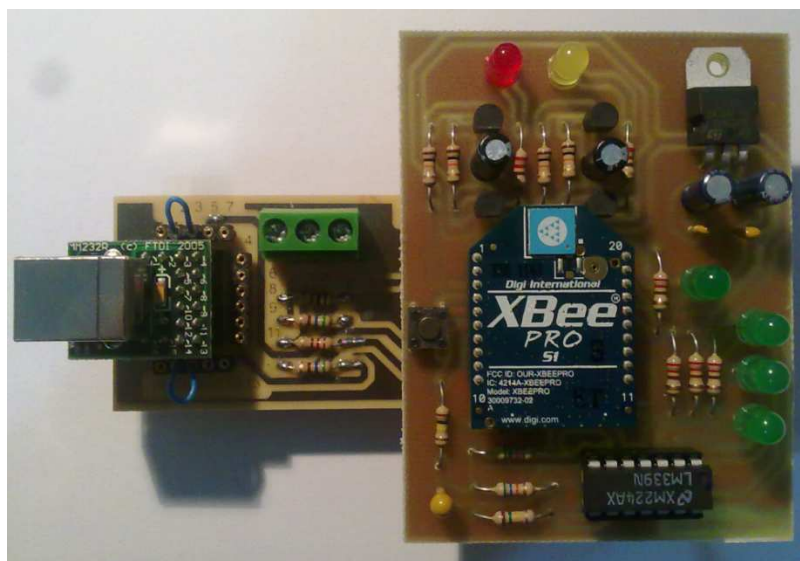


Figura 68 - Placa de conversão USB para Wireless

É preciso ter em atenção que a placa de conversão USB para wireless age como equipamento mestre no sistema de comunicação, pelo que é necessário utilizar uma placa XBee-PRO, para poder interagir com vários registadores em simultâneo. Os registadores já podem utilizar uma placa XBee normal para realizar as comunicações.

Teste à comunicação wireless:

Segundo o que foi investigado, para realizar a comunicação entre o computador e o registador bastará substituir os integrados de comunicação pelas placas de comunicação sem fios. A placa de conversão USB-Wireless já foi apresentada, de seguida é mostrada o registador juntamente com a placa wireless.

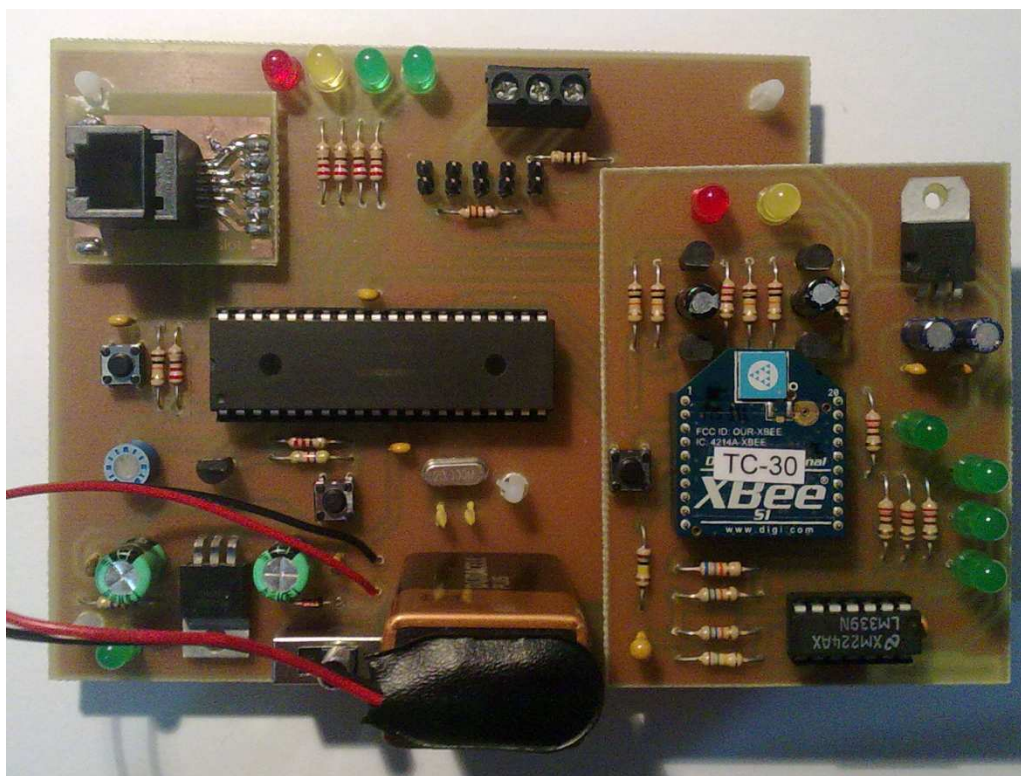


Figura 69 - Simulados de registador com placa de comunicação wireless

Agora que já estão as duas placas de comunicação equipadas com o sistema XBee, pode-se iniciar o teste e ver se é possível receber e enviar informação. Sem realizar alterações ao programa do PIC, ligou-se as duas placas e o programa terminal no computador para iniciar o teste. No programa introduziu-se o valor 1 para ser enviado, de modo a que o microcontrolador ligue o primeiro led e devolva a mensagem ao computador.



Figura 70 - Comunicação sem fios entre os dois dispositivos

Como se pode observar na imagem, na placa do registador, o primeiro led está ligado o que indica que recebeu a mensagem, ao mesmo tempo é possível visualizar os três leds de sinal na placa de comunicação ligados, o que quer dizer que o nível de sinal na comunicação foi máximo.

A placa de comunicação sem fios da placa master também apresenta os três leds de sinal de transmissão ligados, o que indica que esta recebeu informação (estes leds só ligam após mensagem recebida), e como se pode ver na Fig. 71, a mensagem foi recebida com êxito.

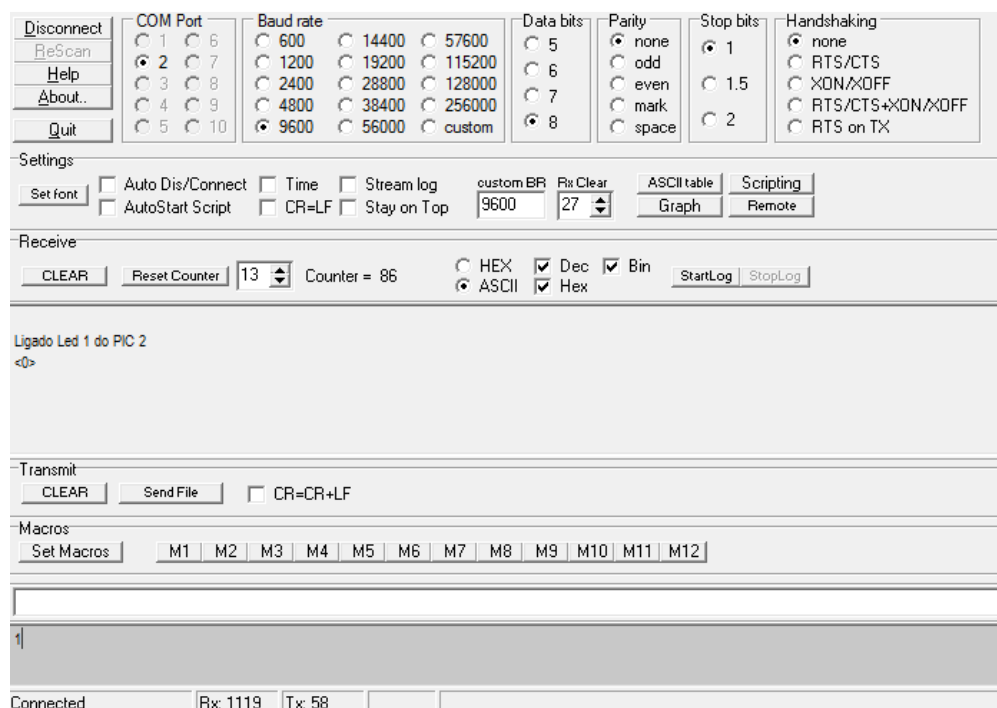


Figura 71 - Resposta enviada pelo microcontrolador para o computador

Num segundo teste aumentou-se a distancia de comunicação, e desta vez com obstáculos pelo meio (paredes). A distância ainda não foi muito elevada (cerca de 5 metros). No entanto ambas as placas indicaram que o sinal de transmissão já era mínimo, mesmo assim a mensagem foi recebida com eficácia dos dois lados. Os leds que estão envolvidos pelo rectângulo preto na Fig. 72 indicam o nível do sinal, se os três tiveram acesos após a recepção de informação, o sinal é máximo. Caso apenas um led esteja aceso, o sinal é reduzido, ou mesmo mínimo.



Figura 72 - Sinal de recepção da placa mestre no segundo teste

Num terceiro teste, a uma distância entre os 8 e 10 metros e com 3 paredes pelo meio, já só foi possível ao microcontrolador receber a mensagem do computador. No entanto foi impossível receber de volta a informação.

Há várias razões possíveis para isto suceder, uma delas é a fonte de alimentação não conseguir debitar corrente suficiente para este sistema, o que mostra a necessidade de ligar o equipamento à rede eléctrica; outra possibilidade pode estar relacionada com a utilização de dois dispositivos diferentes, um XBee e outro XBee-PRO, levando a que as capacidades de distâncias de comunicação do XBee-PRO sejam reduzidas em relação às capacidades do XBee. Mesmo assim, se esse for o caso, ainda devia ser possível comunicar à distância do terceiro teste, pois ainda está no intervalo de alcance apresentado pelo fornecedor.

Conclusão

Após o pedido da empresa para estudar um método de conversão do sistema de comunicação do sistema actual de supervisão de produção das linhas para um sistema wireless, optou-se por estudar os dispositivos XBee da *Digi International*. Estes equipamentos apresentaram características que se mostravam capazes de superar os problemas encontrados como distâncias de comunicação, numero de dispositivos em rede entre outros. O estudo mostra que a conversão de comunicação de RS-485 para o sistema ZigBee é directa, tendo mesmo nos testes utilizado o mesmo *socket* para o integrado responsável para a comunicação com fios e para a placa de comunicação wireless. No entanto, esta ligação não se mostrou muito viável, pois a placa de comunicação sem fios não ficava bem fixa, e com um ligeiro toque esta podia interromper a sua ligação com a placa do registador. No entanto a comunicação foi viável, apesar de ter funcionado apenas a distância reduzida.

Assim sendo, a conversão do sistema actual presente na fábrica, aproveitando os registadores actuais, não é uma boa opção. Deve-se sim construir um registador completamente novo e que inclua já a ligação para a placa de comunicação sem fios XBee. O equipamento a utilizar para todos os registadores será XBee-PRO e não apenas o XBee, deste modo garante-se o máximo de distância de comunicação, e ainda possibilita a utilização de todos os registadores para roteamento.

Os novos registadores deverão utilizar microcontroladores preparados para funcionar a 3.3V como o dispositivo de comunicação sem fios. Além do PIC, também os outros componentes deverão ser de alimentação de 3.3V, de modo a que todo o registador funcione com o mesmo potencial.

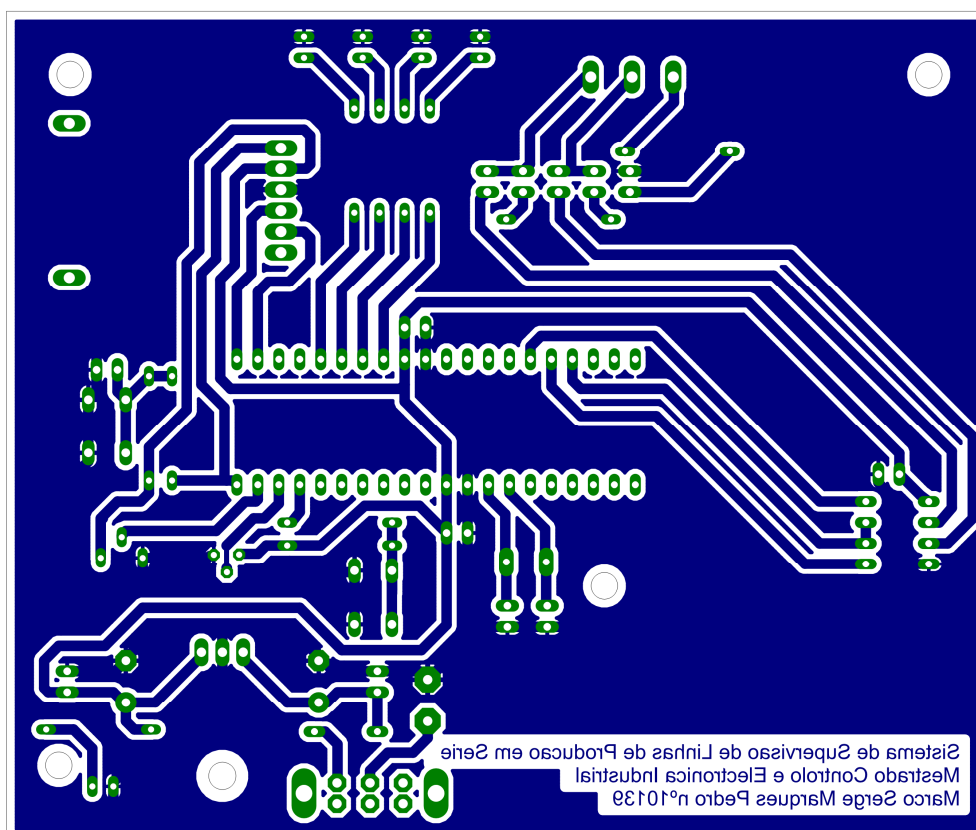
Antes de realizar a substituição do sistema é melhor instalar registadores novos em algumas máquinas menos fulcrais para a produção de modo a verificar o correcto funcionamento do sistema. Caso se prove o correcto funcionamento deste, então poder-se-á avançar para a actualização do sistema da fábrica.

Referências bibliográficas

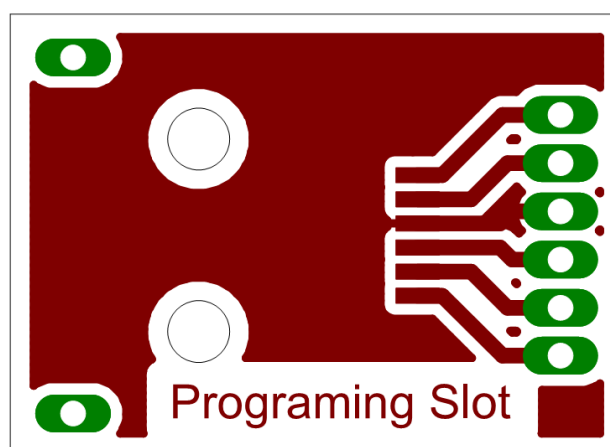
- [1] – AXELSON, Jan, **Designing RS-485 circuits**, em Circuit Cellar Ink., Junho 1999;
- [2] – FT232R USB UART I.C. Datasheet, Future Technology Devices International Ltd., 2005;
- [3] – hades.mech.northwestern.edu/index.php/XBee_radio_communication_between_PICs
- [4] – IBRAHIM, Dogan, **Advanced PIC Microcontroller Projects in C**, Oxford: Elsevier Ltd., 2008, ISBN 978-0-7506-8611-2;
- [5] – Maxim RS-485 Datasheet, Maxim Integrated Products, 2003;
- [6] – MM232R Mini USB-Serial UART Development Module, Future Technology Devices International Ltd., 2005;
- [7] – MPLAB C18 C Compiler, Microchip Technology Inc., 2004;
- [8] – MPROG 3.0 Manual, Future Technology Devices International Limited, 2006;
- [9] – msdn.microsoft.com;
- [10] – PARDUE, Joe, **C Programming for Microcontrollers**, Knoxville: Smiley Micros, 2005, ISBN 0-9766822-0-6;
- [11] – PIC 18FXX8 Datasheet, Microchip Technology Incorporated, 2004;
- [12] – PICDEM 2 Plus User's Guide, Microchip Technology Incorporated, 2004;
- [13] – pt.wikipedia.org/wiki/ZigBee;
- [14] – SENA, António Sérgio, **Microcontroladores PIC**;
- [15] – www.mcexamples.com/PIC-serial-communication.php;
- [16] – www.microchip.com;
- [17] – www.pyroelectro.com/tutorials/xbec_wireless_interface/index.html;
- [18] – www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm;

- [19] – Xbee/XBee-PRO Code Development, MaxStream, 2006;
- [20] – Xbee/XBee-PRO OEM RF Modules, MaxStream, 2006.

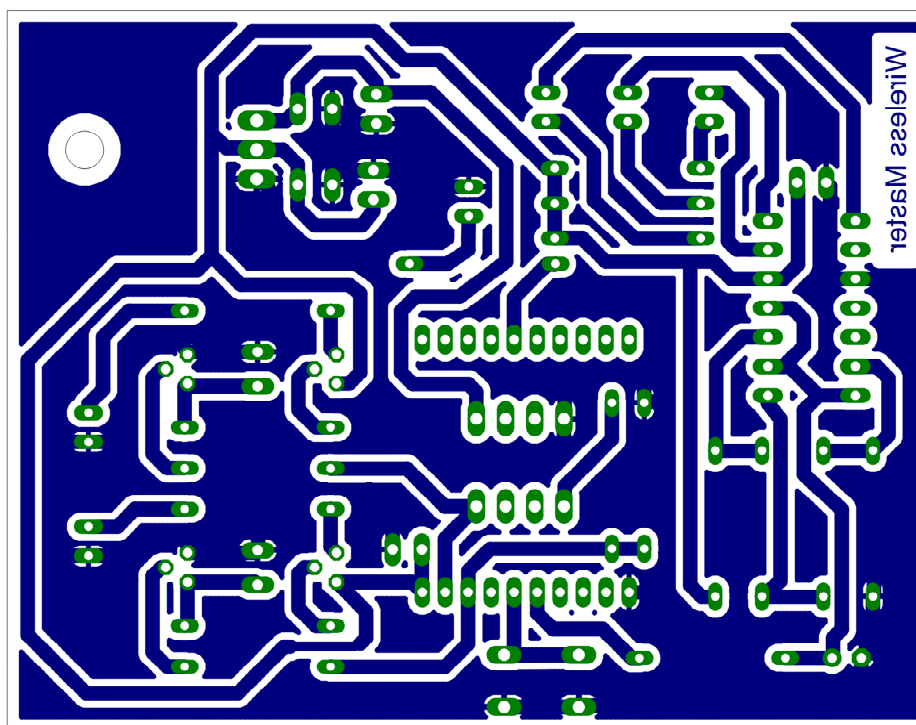
Anexos



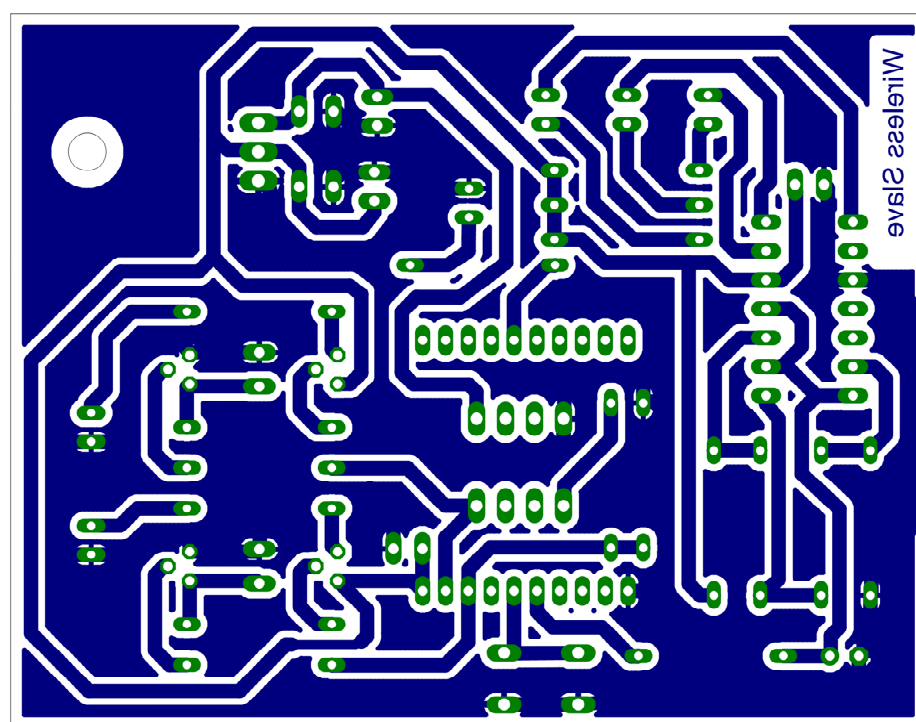
Anexo 1 – Desenho da placa de circuito impresso para o microcontrolador



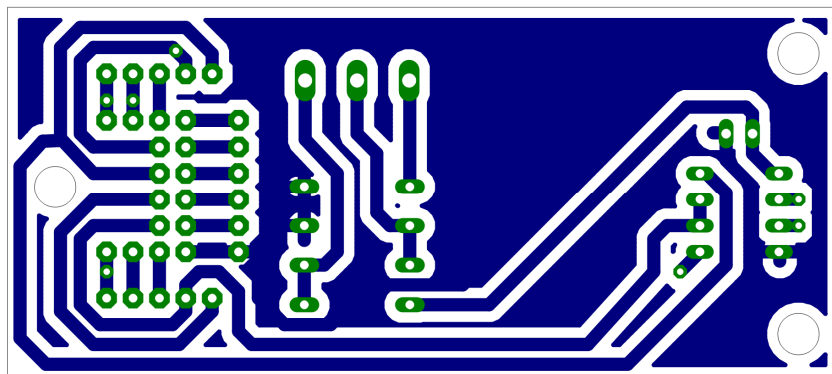
Anexo 2 - Desenho da placa de circuito impresso de programação do PIC



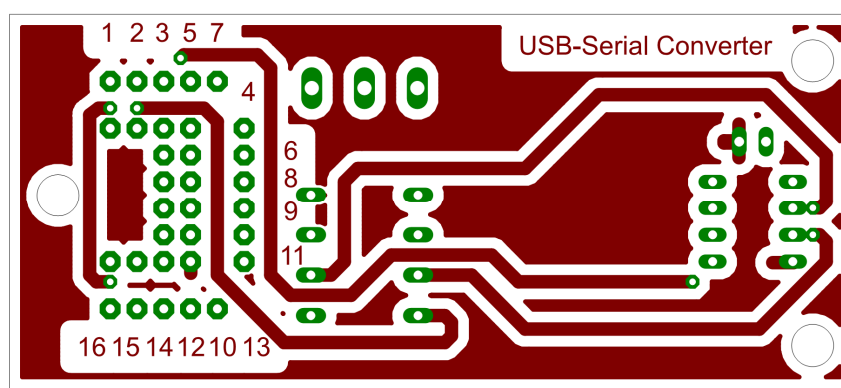
Anexo 3 - Desenho da placa de circuito impresso de comunicação sem fios (Master)



Anexo 4 - Desenho da placa de circuito impresso de comunicação sem fios (Slave)



Anexo 5 - Desenho da placa de circuito impresso de conversão USB para RS-485 (parte inferior)



Anexo 6 - Desenho da placa de circuito impresso de conversão USB para RS-485 (parte superior)

Anexo 7 – Código de programação para o microcontrolador

```

#include <p18f458.h>
#include <usart.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <adc.h>
#include <delays.h>
#include <string.h>
#include <delays.h>

#pragma config OSC=HS //Coloca oscilador em alta velocidade
#pragma config WDT=OFF //Desactiva o Watchdog Timer
#pragma config LVP=OFF //Desactiva Low Voltage Program

unsigned char c; //Inicialização de variável

void rx_handler (void);

#pragma code rx_interrupt = 0x8

void rx_int (void)
{
    _asm goto rx_handler _endasm
}

#pragma code
#pragma interrupt rx_handler

void rx_handler (void)
{
    if (DataRdyUSART( )) //Verifica se há dados de no buffer de leitura
    {
        c=ReadUSART(); //Realiza a leitura do caracter no buffer e atribui à variável c
        while(BusyUSART()); //Espera enquanto a porta USART está ocupada
        if (c=='1') //Se o caracter na variável c for '1' entra no ciclo
        {
            PORTBbits.RB0=1; //
            PORTBbits.RB1=0; //
            PORTBbits.RB2=0; // Acender o 1º led verde
            PORTBbits.RB3=0; //

            PORTCbits.RC5=1; // activar o transceiver para envio

            putsUSART ((const far rom char *)"\r\nLigado Led 1 do PIC 1\n\r"); //Enviar a
mensagem de para o
            while(BusyUSART()); //Esperar enquanto porta USART activa

            PORTCbits.RC5=0; //Activar o transceiver para recepção
        }
        if (c=='2') //Se o caracter na variável c for '2' entra no ciclo
        {
            PORTBbits.RB0=0; //
            PORTBbits.RB1=1; //
            PORTBbits.RB2=0; //Acender o 2º led verde
            PORTBbits.RB3=0; //
            PORTCbits.RC5=1;

```

```

        putsUSART ((const far rom char *)"\r\nLigado Led 2 do PIC 1\r\n");
        while(BusyUSART());

        PORTCbits.RC5=0;
    }
    if (c=='3') //Se o caracter na variável c for '3' entra no ciclo
    {
        PORTBbits.RB0=0; //
        PORTBbits.RB1=0; //
        PORTBbits.RB2=1; // Acender o led amarelo
        PORTBbits.RB3=0; //

        PORTCbits.RC5=1;

        putsUSART ((const far rom char *)"\r\nLigado Led 3 do PIC 1\r\n");
        while(BusyUSART());

        PORTCbits.RC5=0;
    }
    if (c=='4') //Se o caracter na variável c for '4' entra no ciclo
    {
        PORTBbits.RB0=0; //
        PORTBbits.RB1=0; //
        PORTBbits.RB2=0; // Acender o led vermelho
        PORTBbits.RB3=1; //

        PORTCbits.RC5=1;

        putsUSART ((const far rom char *)"\r\nLigado Led 4 do PIC 1\r\n");
        while(BusyUSART());

        PORTCbits.RC5=0;
    }
    PIR1bits.RCIF = 0;
}

}

void main (void)
{
    TRISB = 0; //Defenir portas do porto B como Saídas
    PORTB = 0; //Colocar portas do porto B a 0
    TRISC = 0b10000000; //Defenir a porta RC7 como entrada e restantes comosaida
    PORTC = 0; //Colocar portas do porto C a 0
    TRISA=0b00000011; //Defenir a porta RA0 e RA1 como entrada analógica e restantes como saída
    PORTA=0; //Colocar portas do porto A a 0
    INTCONbits.GIE=1; //Activa globalmente as interrupções
    RCONbits.IPEN = 1; //Activa prioridade de interrupção
    IPR1bits.RCIP = 1; //Interrupção de recepção com prioridade elevada
    INTCONbits.GIEH = 1; // Activa todas as interrupções de elevada prioridade
    OpenUSART (USART_TX_INT_OFF & //
               USART_RX_INT_ON & //
               USART_ASYNC_MODE & // Definição e abertura da porta USART
               USART_EIGHT_BIT & //
               USART_CONT_RX & //
               USART_BRGH_HIGH, 129); // 9600 (20MHz)

    while(1);
}

```

