



Bruno Matos da Silva

**Desenvolvimento de Sistemas Automáticos para
Distribuição de Alimentos**

**Development of Automated Systems for Food
Distribution**



Bruno Matos da Silva

**Desenvolvimento de Sistemas Automáticos para
Distribuição de Alimentos**

**Development of Automated Systems for Food
Distribution**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Automação Industrial, realizada sob a orientação científica do Doutor José Alberto Gouveia Fonseca, Professor Associado do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e do Engenheiro Rui Rebelo, auxiliar convidado da empresa MicroIO sediada em Aveiro.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor Alfredo Manuel Balacó de Morais
Professor associado da Universidade de Aveiro

Vogais / Examiners committee

Prof. Doutor José Alberto Gouveia Fonseca
Professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José Boaventura Ribeiro da Cunha
Professor associado c/agregação da Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro

Agradecimentos / Acknowledgements

Em primeiro lugar gostaria de agradecer às duas pessoas mais importantes da minha vida, o meu pai (Augusto Silva) e à minha mãe (Eduarda Matos). Agradeço-vos por todo o carinho e pela motivação e força que sempre me transmitiram para a concretização deste objetivo. Ao Prof. Dr. José Alberto Fonseca, meu orientador, ao qual lhe agradeço e admiro todas as competências científicas e profissionalismo demonstrado no decorrer da dissertação. Ao Eng. Rui Rebelo da empresa MicroIO, meu co-orientador, agradeço o apoio transmitido e também à empresa MicroIO pela disponibilização de algum material e motivação através dos projetos inovadores que integra. Por último não podia deixar de agradecer aos meus amigos, aos que me acompanharam na licenciatura, aos que desenvolveram projetos comigo no mestrado, aos meus amigos do laboratório de redes do IT e a todos os outros que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão do meu trabalho.

Palavras Chave

Máquinas de venda automática; tecnologia máquina para máquina; telemetria; gravidade; modularidade; refrigeração; microcontroladores; sem numérico; barramento série.

Resumo

A presente dissertação propõe o desenvolvimento de um novo conceito de máquina de vending. Os crescentes custos de mão de obra têm promovido a proliferação de máquinas de distribuição de alimentos, que se incluem no conceito das designadas máquinas de vending.

Consta-se que, nos dias correntes, estas máquinas são, com muito poucas exceções, grandes, de tamanho fixo e desagradável. Pretende-se desenvolver uma máquina focada no aproveitamento de fenómenos naturais, na capacidade de adaptabilidade e na redução de consumos de energia bem como de fabrico, não esquecendo a importância do design.

O presente trabalho consistiu, numa primeira fase, no estudo das soluções existentes no mercado por forma a conceber e obter um modelo com as características enunciadas.

O modelo desenvolvido teve em consideração os seguintes aspetos: a flexibilidade e agilidade com que a máquina pode ser adaptada de acordo com o meio onde esta vai ser inserida, permite ter disponível uma oferta de produtos adequada a um grupo de consumidores; o conceito de gravidade foi visto como uma forma de aproveitamento de um fenómeno natural, aquando da disposição e extração do produto; procurou-se melhorar o design, tornando-o esteticamente agradável; a interação com o utilizador constitui-se como uma estratégia de marketing influente no mercado do vending, sendo o pagamento efetuado por intermédio de uma tecnologia contactless e a seleção do produto através de um ecrã sensível ao toque, onde é apresentado ao utilizador a gama de produtos disponíveis.

No que diz respeito à refrigeração foi efetuado um estudo incidindo em dois sistemas, o sistema atual por compressão e a refrigeração termoelétrica (Peltier).

Em relação às comunicações foram estudados protocolos de comunicação (1-Wire, I2C e CAN) por forma a selecionar um que mais se adequa às necessidades da máquina.

Keywords

Vending Machine; M2M; telemetry; gravity; modularity; refrigeration; micro-controllers; cashless; serial bus.

Abstract

The present work proposes the development of a new concept of vending machine. The rising labor cost demands for the installation of food distribution machines both in public and private spots.

However, most of today's machines are space consuming, inflexible in terms of adding more cabinets and are unpleasant in looks. The development of a vending machine is proposed, focused on the use of natural phenomena, adaptable, with low power consumption and without despise their design.

The project initially consisted in the study of existing solutions in the market in order to develop and obtain a model with the desired characteristics.

The developed model takes into account the following aspects: The flexibility and agility of the machine taking into consideration the environment characteristics, allowing several different products to be available to specific groups of consumers; The natural phenomenon of gravity is availed to process the path and the extraction of the product in the machine; Because the design shouldn't be ignored, the idea is to have a solution aesthetically pleasing. The appealing interaction with the user appears as an influential marketing strategy, with a contact-less technology to process the payments, and an touchscreen to present the available products to the user.

Concerning the refrigeration, a study was performed focusing on two different refrigeration systems, i.e., the compression system, which is commonly used these days and the thermoelectric system (Peltier).

Relative to communications, several protocols (1-Wire, I2C and CAN) were studied to choose the best for the purpose of this machine.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Glossário	vii
1 Introdução	1
1.1 Estrutura da dissertação	3
2 Estado da Arte	5
2.1 Um pouco de história das máquinas de <i>vending</i>	5
2.2 Motivação das máquinas de <i>vending</i>	6
2.3 Tecnologias de interface com o utilizador	7
2.3.1 GSM	8
2.3.2 Wi-Fi	8
2.3.3 RFID/NFC	8
2.3.4 <i>Bluetooth Low Energy</i>	9
2.3.5 <i>ZigBee</i>	9
2.4 Comunicações internas nas máquinas	11
2.4.1 <i>Executive</i>	11
2.4.2 DEX	11
2.4.3 MDB	11
2.5 Métodos de pagamento e tecnologias associadas	12
2.6 Sistemas de refrigeração	14
2.6.1 Compressão de vapor para refrigeração	15
2.6.2 Refrigeração termoelétrica	15
3 Máquina de <i>vending</i> - Novo conceito	17
3.1 Processo de armazenamento e extração	18
3.2 Justaposição de módulos e carregamento	20
3.3 Usabilidade e interface com utilizador	21

3.4	Refrigeração	22
3.5	Subsistemas de suporte	23
4	Implementação e validação do conceito	25
4.1	Disposição e extração de produto	25
4.2	Avaliação do sistema de refrigeração	28
4.3	Modelo geral desenvolvido	29
4.3.1	Módulo da interface e gestão	30
4.3.2	Módulo dispensador de produtos	30
4.4	Comunicações entre módulos	31
4.4.1	Análise e seleção de protocolos: 1-Wire, I2C e CAN	32
4.4.2	Requisito de comunicação	34
4.4.3	Implementação com CAN	36
5	Testes e análise de resultados	39
5.1	Deteção de produto	39
5.2	Força exercida no trinco	40
5.3	Testes de refrigeração	41
5.4	Resultados da comunicação CAN	44
6	Conclusões e trabalho futuro	47
6.1	Trabalho futuro	48
	Referências	51
A	Circuito para leitura de temperatura e atuação dos trincos	55
B	Circuito da comunicação CAN entre dois módulos	57
C	Circuito para deteção de lata	59

Lista de Figuras

2.1	Primeira máquina de <i>vending</i> com moedeiro	6
2.2	Demonstração de um pagamento através da tecnologia NFC[10]	9
2.3	Aplicações de um sistema <i>ZigBee</i> [30]	10
2.4	Interface MDB-PC	12
2.5	Esquema de pagamento <i>RollPay</i> [29]	13
2.6	Quiosque SIGE3 com leitor RFID[17]	13
2.7	Máquina de café Nespresso <i>Corporate</i> [7]	14
2.8	Ciclo de refrigeração[6]	15
2.9	Módulo de <i>Peltier</i> [33]	16
3.1	Processo de armazenamento	18
3.2	Vista lateral do mecanismo extrator de latas em diferentes fases	19
3.3	Modelo da máquina modular	20
3.4	Fluxograma de interação utilizador-máquina	22
3.5	Fluxograma da máquina modular e do sistema de suporte	24
4.1	Forças a que as latas estão sujeitas no cartucho	26
4.2	Modelo desenvolvido para testes e demonstração	27
4.3	Modelo inicial (à esq.) e final (à dir.)	27
4.4	Sistema de refrigeração de <i>Peltier</i>	28
4.5	Modelo da máquina de <i>vending</i>	29
4.6	Módulo da interface e gestão	30
4.7	Cartucho do módulo dispensador de produtos	31
4.8	Mecanismo de recolha de produto	31
4.9	Possíveis aplicações da comunicação <i>1-Wire</i> [1]	32
4.10	Esquema de uma comunicação <i>1-Wire</i>	32
4.11	Esquema típico de uma comunicação <i>I²C</i>	33
4.12	Diagrama de um barramento CAN[14]	34
4.13	Trocas de informação entre os módulos	35
4.14	Formato da trama de dados CAN 2.0B[9]	36
4.15	Estrutura de uma mensagem enviada a partir de um MD	36
4.16	Estrutura de mensagens trocadas entre os módulos	37

LISTA DE FIGURAS

5.1	Sensor ótico para detecção de produto	40
5.2	Mini frigorífico	42
5.3	Variação da temperatura ao longo do tempo	42
5.4	Comunicação entre o MD e o MI	45
C.1	Circuito para detecção de produto	59

Lista de Tabelas

4.1	Requisitos mínimos de comunicação	35
5.1	Consumos aproximados de uma máquina de venda de alimentos	41
5.2	Temperaturas no início e fim do teste de refrigeração	43

Glossário

- ASCII** American Standard Code for Information Interchange, página 11
- BTN** Baixa Tensão Normal, página 41
- CAN** Controller Area Network, páginas 3, 32-34, 36, 39, 44, 45, 48
- DEX** Data EXchange, página 11
- EAN** European Article Number, páginas 23, 45
- EEPROM** Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory, página 33
- EID** Extended IDentifier bits, página 36
- GPRS** General Packet Radio Service, páginas 7, 14
- GSM** Global System for Mobile, páginas 7, 8, 33
- I2C** Inter-Integrated Circuit, páginas 32, 33
- ID** IDentification, página 36
- IEE** Institution of Electrical Engineers, página 8
- LED** Light Emit Diode, páginas 22, 30, 35, 39, 43
- M2M** Machine to Machine, páginas 3, 7, 10, 47
- MD** Módulo Dispensador, páginas 31, 33-37, 39, 44, 45
- MDB** Multi Drop Bus, páginas 11, 12, 14
- MI** Módulo da Interface, páginas 30, 31, 33, 34, 36, 37, 39
- NAMA** National Automatic Merchandising Association, página 11
- NFC** Near Field Communication, páginas 7-9, 12, 47
- PIC** Programmable Interface Controllers, páginas 32, 33, 42, 44
- PTN** Pressão e Temperatura Normais, página 40

PUR	Poli URetano, página 29
RFID	Radio Frequency IDentication, páginas 7, 8, 13, 14, 21, 22, 30, 37, 47
SCL	Serial CLock, página 33
SDA	Serial DAta, página 33
SID	Standard IDentifier bits, página 36
SIG	Special Interest Group, página 9
SIGE	Sistema Integrado de Gestão de Escolas, página 13
SMS	Short Message Service, páginas 8, 14
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol, página 8
UC	Unidade de Controlo, página 30
VMC	Vending Machine Controllers, página 11
XPS	Poliestireno Extrudido, páginas 28, 29

Capítulo 1

Introdução

Com a crescente integração de novas tecnologias inovadoras, torna-se necessário apostar ao nível da conceção e desenvolvimento de soluções adequadas à satisfação das mais diversas exigências dos consumidores. Inúmeros são os avanços tecnológicos realizados no setor do *vending*¹, seja nas formas de pagamento, na segurança, seja ao nível da interatividade, conectividade, entre outros.

Sem dúvida que a estratégia do *vending* passa por atrair, chamar a atenção do cliente. Efetuar um pagamento interagindo com um *display touchscreen* torna as compras mais atrativas e acaba por ser mais divertido, embora que não prioritário. A *Nayax*, uma das pioneiras em telemetria e sistemas *cashless* para o *vending*, publicou na revista *HostelVending* (Fev/Mai/ 2014) um texto que diz que: “70% das vendas das máquinas de *vending* nos países escandinavos com a solução *Nayax* já são feitas por *cashless*, através de cartão bancário, por comparação aos apenas 30% realizados por moedas. Esta evolução nas vendas *cashless* chegará ao resto da Europa muito em breve” [5].

O conceito “*on the go*” é o termo que melhor define o consumidor atual, uma vez que todos os dias nos deslocamos de um sítio para o outro a um ritmo acelerado, sem tempo a perder. As pessoas são cada vez mais exigentes e a difusão de informação mais facilitada, o que exige um mercado atento às necessidades do cliente.

O presente trabalho visa o desenvolvimento de uma nova prova de conceito, relativamente a uma máquina de distribuição automática de alimentos. Em síntese, centrada no aproveitamento de fenómenos naturais, numa forma atrativa de interagir com o utilizador, na enorme capacidade de adaptabilidade a um meio e na redução de consumos de energia bem como de fabrico.

A máquina desenvolvida apresenta-se como um modelo totalmente escalável, de rápido abastecimento e de ágil e rápida substituição. Com uma interface *touchscreen* e um método de pagamento *cashless*, utiliza a gravidade para a disposição e extração dos produtos. O uso da gravidade permite atingir níveis de eficiência superiores aos existentes hoje em dia, no desempenho das mesmas funções.

¹Deriva do latim “vendere”, e significa “vender”

1. INTRODUÇÃO

No decorrer da dissertação serão abordadas áreas como a termodinâmica, a física, a mecânica, o *design* e a eletrônica (*software* e *hardware*).

1.1 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por seis capítulos (incluindo o atual - Introdução) e três anexos com os esquemas elétricos desenvolvidos. Encontra-se estruturada da seguinte forma:

Capítulo 2 - Estado da arte: Contém uma pesquisa acerca de como surgiram as primeiras máquinas, as motivações que levaram à sua propagação por todo o mundo e o desenvolvimento do conceito M2M (*Machine-to-Machine*). Também são apresentados os protocolos mais conhecidos e utilizados nas comunicações internas da máquina, bem como a interface com o utilizador no que diz respeito aos sistemas de pagamento. Por último são apresentados dois sistemas de refrigeração, com enfoque para o seu funcionamento.

Capítulo 3 - Máquina de *vending*, novo conceito: Este capítulo, tal como o título indica, apresenta um novo conceito de uma máquina de distribuição de alimentos. Neste destaca-se o mecanismo de extração com uma solução inovadora. São discutidos os benefícios da justaposição dos módulos e a usabilidade e interface com o utilizador. Contém ainda a temática da refrigeração e todo o sistema de suporte que proporcionará uma enorme integridade de toda a máquina.

Capítulo 4 - Implementação e validação do conceito: O presente capítulo tem como principal objetivo validar o novo conceito apresentado. Aqui pode-se encontrar uma análise detalhada das forças existentes ao longo do módulo de acordo com a solução apresentada, bem como o modelo construído para testes e demonstrações. Também estão presentes todas as alterações que tiveram de ser realizadas face a uma primeira abordagem e o que levou a fazer essas alterações. É apresentado um esboço do modelo geral idealizado bem como dos módulos que o constituem. No que diz respeito às comunicações, estando na presença de uma máquina modular será selecionado o protocolo de comunicação mais adequado aos requisitos de comunicação, bem como uma possível implementação.

Capítulo 5 - Testes e análise de resultados: Neste capítulo será explicado como foi realizada a deteção de nível de produtos dentro do cartucho e como foi calculada a força exercida no trinco. É também apresentada a descrição e análise dos testes realizados relativamente aos dois sistemas de refrigeração estudados bem como os testes que demonstram uma possível comunicação CAN entre módulos da máquina.

Capítulo 6 - Conclusões e trabalho futuro: Por fim apresenta-se um resumo de todo o trabalho desenvolvido, toda a fundamentação do modelo projetado e para terminar, uma possível continuidade do trabalho e alguns melhoramentos a realizar no modelo atual.

Capítulo 2

Estado da Arte

Nos últimos anos os crescentes custos de mão de obra têm promovido a proliferação de máquinas de distribuição de bebidas e alimentos que se incluem no conceito das designadas máquinas de *vending*.

O *vending* é um setor com o qual convivemos diariamente, seja numa escola, num hospital, numa fábrica ou num centro comercial, onde é comum encontrar máquinas de distribuição automática. Para estudar este conceito é importante conhecer a evolução desde os primórdios, as motivações que levaram a apostar neste setor e a evolução tecnológica a que esteve sujeito.

2.1 Um pouco de história das máquinas de *vending*

No início da década de 1880 surgia a primeira máquina de *vending* que utilizava moedas como meio de pagamento. Esta máquina, introduzida em Londres por *Richard Carlisle*, teve como propósito a venda de livros. No entanto já existiam máquinas mais antigas mas eram utilizadas para dispensar postais. Nos finais da década de 90 do século XIX, a *Thomas Gum Company* apresentou a primeira máquina nos EUA para comercializar gomas nas estações de comboio [13], Figura 2.1.



Figura 2.1: Primeira máquina de *vending* com moedeiro

Depois disso, a partir do século XX, começaram a surgir máquinas de venda de cigarros, postais, selos, de diferentes gostos e feitios. As máquinas de café surgiram nos anos 40, e foram elas que deram origem ao termo *coffee break*, atualmente bastante comum. Sem dúvida que o maior sucesso das máquinas de *vending* deve-se à comercialização de café, devido à enorme utilidade em escritórios, faculdades, escolas e empresas [15]. Está-se perante uma nova forma de pagamento, a interface homem-máquina, que até então era totalmente desconhecida e à qual as pessoas se foram adaptando.

Hoje em dia a indústria das máquinas de *vending* está em constante transformação e desenvolvimento e estende-se a quase todos os domínios. O *vending* está incluído num setor que dia-após-dia sofre modernizações, o que obriga a operadores de *vending* muito interventivos e imaginativos para poderem acompanhar o desenvolvimento do mercado e obviamente satisfazer o cliente.

2.2 Motivação das máquinas de *vending*

Para além do que foi referido anteriormente, este setor, com o qual lidamos frequentemente, apresenta inúmeras vantagens económicas face aos estabelecimentos de restauração. Redução dos custos de mão de obra ou de exploração de um estabelecimento, preços inferiores e o aumento do nível de satisfação dos clientes, por exemplo, ao poderem adquirir produtos alimentares a qualquer hora no seu local de trabalho, são algumas das principais vantagens.

Além destes, eis alguns dos principais benefícios destas máquinas [28]:

- Velocidade de resposta;
- Disponibilidade 24h/dia;
- Variedade na escolha do produto;
- Várias formas de pagamento (nem todas);

- Qualidade higiénica, segurança, e bom controlo de temperatura dos produtos;
- Prática (no caso de café, é fornecido um copo, limpo);
- Opções de colocação flexíveis (venda, aluguer ou arrendamento);
- Ajustável às necessidades do cliente (escolas, empresas, hospitais,...).

Segundo a revista *Hostel Vending* os analistas da *TechNavio* estimam que este mercado irá ter uma taxa composta anual de crescimento¹ de 52.7% entre 2014 e 2018. Considerando o mercado norte-americano, o relatório refere que o mesmo irá ter uma taxa composta anual de crescimento de 54.3 de 2014 a 2018. Segundo a pesquisa efetuada, os EUA lideram o mercado global de máquinas de *vending* inteligentes, devido à disponibilidade de opções de pagamento *cashless* seguras e fáceis de usar nas lojas do país. O continente americano contribuiu com mais de 49% do total das receitas do mercado, seguindo-se a região EMEA², onde a Alemanha e o Reino Unido foram os principais países a contribuir para as receitas [11].

2.3 Tecnologias de interface com o utilizador

É importante definir desde já o conceito de utilizador, uma vez que num sistema de *vending* tem-se presente diferentes atores. Entre eles podem-se incluir o produtor, o distribuidor, o dono e o consumidor.

A interação com o consumidor constitui-se como uma estratégia de *marketing* influente no mercado do *vending*. O consumidor seleciona o produto, procede ao pagamento, e usufrui do mesmo. Atualmente, para selecionar o produto, já existem várias tecnologias de comunicação que resultam de um desenvolvimento do conceito M2M. A tecnologia M2M permite a comunicação entre máquinas, estando a informação que essas máquinas produzem ou armazenam disponível ao utilizador a qualquer hora, em qualquer lugar.

Nos últimos anos, o custo das redes públicas de dados sem fios tem vindo a decrescer, contrariamente ao contínuo crescimento dessas mesmas redes.

A utilização de redes sem fios permite o transporte e a troca de vários tipos de informação entre utilizadores e sistemas. O Wi-Fi, por exemplo, necessita de uma infraestrutura, enquanto que os serviços GPRS (*General Packet Radio Service*) ou GSM (*Global System for Mobile communications*) têm esta tarefa mais facilitada, sendo este último assegurado, garantindo apenas que exista cobertura de rede GSM. No caso de uma máquina de *vending* é possível gerir e acompanhar a atividade da máquina em tempo real, gerir *stocks* de forma automática e claro, a redução de custos associados à mão de obra e ao abastecimento [35].

Tecnologias como GSM, GPRS, 3G, 4G, transmissões por satélite, Wi-Fi, *Bluetooth*, *Zigbee*, RFID (*Radio-Frequency IDentification*), NFC (*Near Field Communication*), entre outras,

¹Taxa de crescimento média durante diversos anos

²Europa, Médio Oriente e África

podem ser aplicadas para o utilizador comunicar com a máquina por intermédio de um sistema *contactless/cashless*, um dos mais importantes aliados do *vending*.

De seguida serão abordadas em maior detalhe algumas tecnologias de interface com o utilizador.

2.3.1 GSM

Os serviços GSM surgiram com um objetivo muito definido, desenvolver uma comunicação *standard* na indústria das comunicações móveis [36].

A possibilidade de os seus utilizadores se moverem sem restrições entre redes GSM de diferentes operadoras e em diferentes países (*Roaming*), a qualidade de voz relativamente à das redes analógicas, a segurança e o número de serviços disponíveis constituem as principais facilidades provenientes do GSM.

Os serviços GSM garantem o envio remoto de alertas ou estados de produção para o encarregado de produção. Veja-se o seguinte exemplo: um determinado equipamento em funcionamento detectou uma anomalia no funcionamento da máquina pelo que transmite a informação à Central de Processamento de Dados. Esta por sua vez avalia o grau de alerta da anomalia e, caso seja necessário, efetua o alerta através de SMS, notificando remotamente o encarregado da máquina acerca do tipo de alerta ocorrido.

2.3.2 Wi-Fi

O protocolo IEE 802.11, também conhecido por Wi-Fi ou *Wireless*, está inserido na camada de rede, primeira camada do protocolo TCP/IP. Este protocolo pode ser definido como o conjunto de protocolos de comunicação para o envio e receção de dados através da Internet.

Com o aparecimento desta tecnologia foi possível a comunicação de dados sem o uso de ligações cabladas. Contudo o uso desta tecnologia nem sempre se apresentou como a solução mais viável, o que levou ao desenvolvimento de novas tecnologias, tais como *Bluetooth* e *ZigBee* [32].

2.3.3 RFID/NFC

A tecnologia NFC baseia-se na tecnologia RFID e tem como objetivo revolucionar as formas de pagamento que até agora são garantidas pela banda magnética ou pela tecnologia *smart card*. Além de os leitores e as *tags* RFID apresentarem custos relativamente elevados, a evolução tecnológica progride para uma maior aceitação e procura industrial [34].

Aplicações como o *Google Wallet* permitem realizar pagamentos através de um *smart-phone* que possua esta tecnologia, uma vez que a aplicação permite conter informação relativa aos cartões de pagamento do utilizador [12].

Na Figura 2.2 é apresentada a demonstração de um pagamento através de NFC, usando o *Google Wallet*.

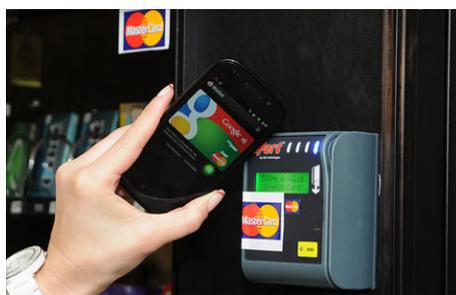


Figura 2.2: Demonstração de um pagamento através da tecnologia NFC[10]

Uma das grandes vantagens do NFC reside na facilidade e rapidez com que são realizados pagamentos sem contacto físico, para não falar que evita o utilizador de andar com moedas e vários cartões de pagamento no bolso.

Além desta nova forma de pagamento virtual de forma simples e rápida usando NFC, também é possível a comunicação entre dispositivos móveis. Atualmente os *smartphones* dispõem da tecnologia *Bluetooth*. O NFC pode ser uma alternativa a esta tecnologia, embora as transferências de dados e alcances sejam bastante inferiores às que o *Bluetooth* apresenta atualmente. Contudo não deixa de ser uma comunicação entre dois dispositivos com menor alcance de transmissão, mas fácil de ser estabelecida e com segurança de dados, uma vez que contém um sistema de encriptação.

2.3.4 *Bluetooth Low Energy*

Introduzida em 2011 com a designação de *Bluetooth v4.0* e comercializado como *Bluetooth Smart*, esta tecnologia sem fios e de baixo consumo desenvolvida pela *Bluetooth SIG (Special Interest Group)* visa o desenvolvimento de novas aplicações na área da saúde, *fitness*, segurança e entretenimento [3].

Comparativamente à *Bluetooth Classic* esta apresenta vantagens mas também desvantagens, tudo depende da aplicação em questão, daí não se poder afirmar que esta nova tecnologia veio substituir a *Bluetooth Classic*. *Low energy* atinge consumos 10-20 vezes menor que a versão *Classic* e consegue transmitir dados 50 vezes mais rápido. É suportado em telemóveis com sistema operativo *Android* e *iOS* e em computadores com OS X, *Windows 8* e *Linux*.

2.3.5 *ZigBee*

O protocolo *ZigBee* surge com um objetivo bem definido: desenvolver uma linguagem sem fios que permita a comunicação entre a maioria dos dispositivos que nos acompanham no dia-a-dia [31]. Hoje em dia surge incluído no controlo de dispositivos de consumo e gestão de energia, cuidados de saúde, telecomunicações e automação industrial (Figura 2.3).

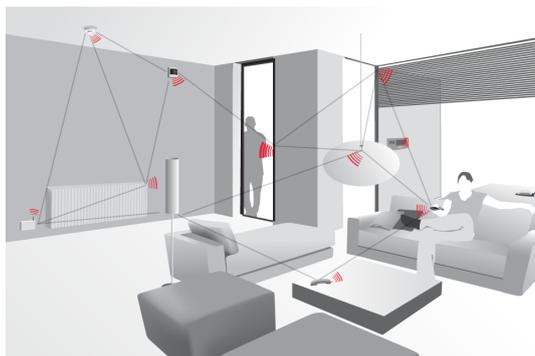


Figura 2.3: Aplicações de um sistema *ZigBee*[30]

Serviços que usam *ZigBee* com tecnologia sem fio, como os dispositivos móveis, requerem que estes sejam de baixo custo, com bateria de longa duração, alta segurança e máxima precisão local, pelo que os dispositivos *ZigBee* têm de apresentar determinadas características:

- *Sleep mode* quando não há comunicação;
- Uso de tecnologias de rádio com o bloqueio de características específicas e destinadas a reduzir sinais de rádio indesejados;
- Operação numa rede segura, permitindo a entrada e saída de dispositivos. Cada um desses dispositivos *ZigBee* opera apenas com um outro dispositivo de segurança na rede;
- Os roteadores *ZigBee* transmitem dados, permitindo um pequeno número de dispositivos para atingir maior alcance.

Emerge assim uma panóplia de dispositivos M2M que oferecem novas oportunidades de negócio, obrigam a novas normas e regulamentos mas também colocam em causa a segurança dos operadores de telecomunicações.

Atualmente, considerando a área do *vending* é possível construir um sistema que permite supervisionar e controlar remotamente valores como:

- Nível de *stock*;
- Detecção de avaria;
- Temperatura interna;
- Volume de facturação;
- ...

De acordo com estas funcionalidades evita-se principalmente o gasto desnecessário de mão de obra, da viatura e de combustível.

2.4 Comunicações internas nas máquinas

A troca de dados interna numa máquina de *vending* pode ser efetuada através de uma interface série ou eletromecânica. Na eletromecânica, não existindo microprocessadores nesta altura, toda a interface era efetuada a tensões elevadas, obrigando a cuidados maiores no seu manuseamento bem como a utilização de material mais potente e diversificado. Na interface série, usada por exemplo para enviar mensagens entre os componentes da máquina, os níveis de tensão são mais baixos.

Os protocolos conhecidos são o *Executive*, DEX (*Data EXchange*) e MDB (*Multi Drop Bus*) [18, 20].

2.4.1 *Executive*

Desenvolvido pela *Mars Electronics International* em 1980 e também conhecido como “*Exe*” ou “*Protocol-A*”, consiste num padrão de comunicação *standard* desenvolvido para máquinas de venda automática, para a comunicação com sistemas de pagamento. A venda é controlada pelo moedeiro, e os preços podem ser estabelecidos na máquina ou no moedeiro. A interface tem evoluído ao longo dos anos para permitir adicionar produtos sem que seja necessário o uso de moedas no sistema.

2.4.2 DEX

Este protocolo define que um conjunto de dados ASCII pode ser lido da máquina utilizando um computador portátil ou um dispositivo de comunicação remota. Estes dados dizem respeito a medidores internos que monitorizam as operações realizadas. Este conjunto de dados pode ser criado pelo VMC (*Vending Machine Controllers*) que consiste no cérebro da máquina ou por um mecanismo DEX instalado em máquinas mecânicas de chaves selectoras, este último nas máquinas mais antigas. Com os dados obtidos, ou de um dispositivo portátil ou de um sistema de monitorização, coloca-se a possibilidade de criação de relatórios que fornecem um estudo mais pormenorizado e comparativo.

2.4.3 MDB

Desenvolvido pela *CoinCo* no início de 1990 para a Coca-Cola, teve como intuito o desenvolvimento de um sistema de moedeiro simples e de baixo custo, cujo processamento de dados e instruções caberia à eletrónica da máquina. Mais tarde este protocolo foi adotado pela NAMA (Associação Nacional de Mercado Automático) e suporta moedeiro, validador de notas e está preparado para incorporar um sistema de telemetria, por exemplo para o controlo de falhas da máquina. O objetivo deste protocolo foi estabelecer uma interface entre todos os dispositivos eletrónicos e assim permitir a interação através de um barramento para o controlador da máquina. O tipo de diálogo estabelecido é *master-slave*, em que os *slaves* só

respondem quando é solicitado um pedido do *master*. Na Figura 2.4 é apresentada a interface do protocolo MDB, sendo para este caso o controlador da máquina um computador.

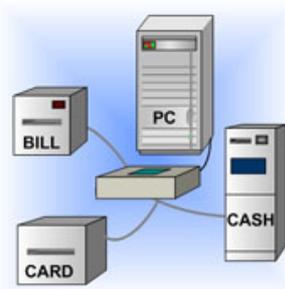


Figura 2.4: Interface MDB-PC

Não foram referenciadas outras comunicações, todavia serão introduzidas mais à frente.

2.5 Métodos de pagamento e tecnologias associadas

A sociedade atual lida com o dia-a-dia a um ritmo frenético, sem tempo a perder. Este ritmo faz com que o consumidor procure um serviço cómodo e de fácil utilização.

Como já foi apresentado anteriormente, a interação com o utilizador tem associada um sistema de pagamento. Este sistema é normalmente composto por um moedeiro e um leitor de notas. Já se conhecem atualmente sistemas como leitor de cartões de crédito e débito Visa, AMEX, *Discover* e *MasterCard*. Para além disso já há máquinas que também aceitam pagamentos através de aplicações, tais como a *Google Wallet* anteriormente referida, que permite conter informação relativa aos vários cartões de pagamento do utilizador e efetuar pagamentos através de um *smartphone* compatível com NFC, apesar de ainda só ser compatível com dispositivos de última geração [16]. Novas soluções deste tipo são também a *MEO Wallet*, lançada no mês de junho, e o serviço de pagamentos e carregamentos PAGAQUI.

A *Rollcomm Worldwide Corporation* lançou recentemente uma solução de pagamento móvel compatível com *Bluetooth Low Energy*, a *RollPay*. Fácil, rápida, segura e gratuita para clientes, esta solução fornece ao utilizador a possibilidade de efetuar um pagamento sem o uso de moedas/notas (*cashless*). Na Figura 2.5 é apresentado um esquema representativo de como pode ser efetuado um pagamento com recurso, por exemplo, a um *smartphone*.

A venda é automaticamente cobrada na conta do utilizador, que pode ser criada em operadoras móveis ou instituições bancárias. Para começar a utilizar apenas é necessário fazer o *download* do aplicativo *RollPay* para o *smartphone*.

Outro sistema de pagamento conhecido consiste em *bitcoins*, moedas virtuais digitais. Este sistema, embora tenha sido bastante popular, foi proibido pelo banco central da China e por outras quatro agências governamentais que regulam o financiamento e tecnologia. Foi

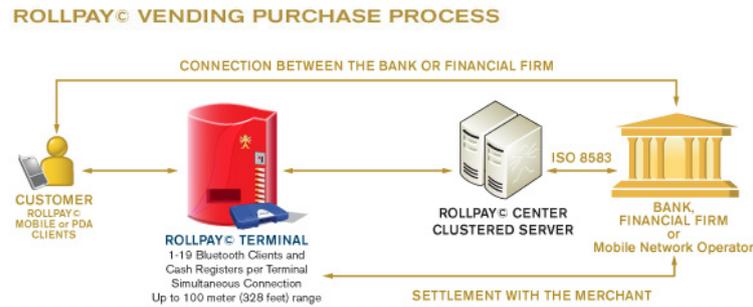


Figura 2.5: Esquema de pagamento *RollPay*[29]

emitido um comunicado conjunto que proíbe as instituições financeiras chinesas de negociação de moeda virtual para “salvaguardar os interesses e direitos de propriedade do público, proteger a posição legal do *renminbi*³, tomar precauções contra o risco de lavagem de dinheiro e manter a estabilidade financeira.” Está-se na presença de taxas relativamente baixas de transação comparativamente a *cashless systems* [2].

Outro método de pagamento atualmente implementado por RFID diz respeito ao cartão SIGE (Sistema Integrado de Gestão de Escolas). O sistema é baseado na atribuição a cada utilizador de um cartão multifunções que serve para a sua identificação, para promover o acesso a um recinto e a áreas interiores para as quais detém autorização, necessitando apenas de um leitor para interpretar a informação relativa a cada cartão (Figura 2.6). Este cartão é usado como meio de pagamento, por exemplo, dentro de escolas, eliminando assim a circulação de numerário. O versão SIGE3 é utilizada em mais de 700 escolas no Continente, Açores e Madeira, abrangendo atualmente um total de mais de 700.000 utilizadores diretos [17].



Figura 2.6: Quiosque SIGE3 com leitor RFID[17]

Além do utilizador interagir com a máquina por RFID, a Micro I/O está atualmente a desenvolver soluções na área do *vending*, que permitem aceder a uma máquina, utilizando outras tecnologias.

Um dos exemplos é a máquina de café da Nespresso, a Nespresso *Corporate* (Figura 2.7).

³Moeda da República Popular da China



Figura 2.7: Máquina de café Nespresso *Corporate*[7]

Inicialmente a máquina não possuía nenhum mecanismo de pagamento, no entanto, uma vez que incorpora MDB, existe uma série de periféricos compatíveis que podem ser utilizados no barramento para esse fim.

Esta máquina foi sujeita a um conjunto de alterações, tais como:

- Adição de *sniffer* de barramento de utilizador/erros;
- Adição de controlador com MDB *cashless module*;
- Adição de leitor RFID *Mifare*;
- Adição de conectividade *full duplex* via GPRS;
- Implementação de serviço de comunicação máquinas;
- Implementação de serviço de comunicação SMS de operadora;
- Implementação de BD;
- Implementação de API REST;
- Implementação de *backoffice web* e *frontoffice web*.

Opcionalmente foi também incorporado um validador de moedas que permitia ou pagar um café, ou carregar o cartão RFID do utilizador.

2.6 Sistemas de refrigeração

As máquinas de *vending* são constituídas por um sistema de refrigeração. A refrigeração pode ser definida como o processo responsável pelo bombeamento da energia sob a forma de

calor, para fora de uma câmara de isolamento. Este processo pode ser realizado recorrendo a diversos processos de refrigeração, no entanto serão abordados o sistema de refrigeração por compressor e a refrigeração termoelétrica [21].

2.6.1 Compressão de vapor para refrigeração

Tipicamente encontra-se a utilização de um compressor, por exemplo, no caso dos frigoríficos e das arcas, em que o arrefecimento é conseguido por vaporização de um fluido refrigerante no seu interior. O calor é absorvido pelo fluido refrigerante, através do princípio do calor latente de vaporização, e lançado para fora do sistema de refrigeração, onde o vapor é condensado e comprimido num líquido novamente. Este processo tem como base o ciclo de refrigeração da Figura 2.8.

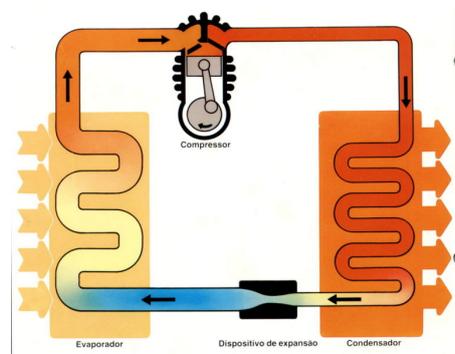
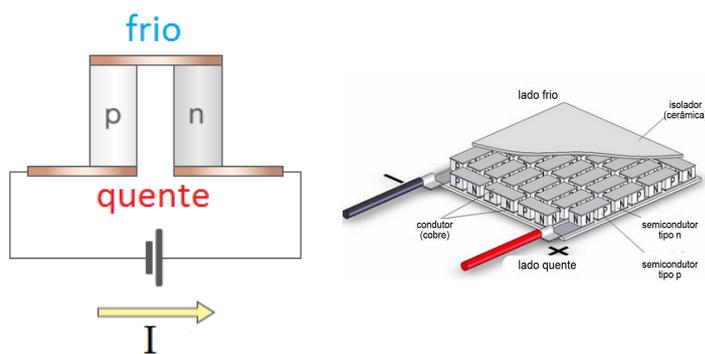


Figura 2.8: Ciclo de refrigeração[6]

2.6.2 Refrigeração termoelétrica

A refrigeração termoelétrica utiliza um princípio designado por *Peltier*. Apresentado em 1834 por *Jean Peltier*, o físico francês observou que quando uma corrente elétrica é aplicada através da junção de dois metais diferentes, o calor é removido de um dos metais e transferido para o outro, como pode ser observado na Figura 2.9. No entanto, em 1821 já *Tomas Johann Seebeck* tinha descoberto que, ao aquecer dois metais diferentes se produzia uma corrente elétrica, suficientemente forte para provocar o desvio de uma agulha magnética. Esta é a base de refrigeração termoelétrica [24][19].

Figura 2.9: Módulo de *Peltier*[33]

Este módulo termoelétrico necessita de uma fonte de alimentação capaz de fornecer a potência necessária para produzir o efeito pretendido. Tipicamente os módulos *Peltier* apresentam 4 – 6mm de espessura e entre 15 – 40mm de comprimento de lado. Em média, a diferença dos valores de temperatura entre o lado quente e o lado frio pode atingir os 70°C.

Atualmente pode-se encontrar este sistema em refrigeradores portáteis de pequenas dimensões para o transporte de alimentos, em dispensadores de água e ainda na refrigeração de *motherboards* de *desktops*.

Capítulo 3

Máquina de *vending* - Novo conceito

Nos dias correntes as máquinas de *vending* são, com muito poucas exceções, de tamanho fixo, grandes e em consequência com aspeto desagradável. Além disso, apresentam mecanismos complexos tais como espirais motorizados e sistemas de transporte dos bens a disponibilizar, que obrigam a um custo de venda mais elevado.

Neste capítulo será abordado um novo conceito de máquina de *vending*, que dá origem a uma máquina mais simples comparativamente às atuais, vocacionada para latas ou invólucros cilíndricos e que utiliza mecanismos de extração de produtos com base na gravidade. Trata-se de um sistema de baixo consumo, escalável, de pequenas dimensões e que pode eventualmente ser pendurado na parede.

Está-se na presença de uma máquina modular, constituída por módulos compactos que são montáveis em quantidade variável e que permitem uma boa distribuição do frio.

A interface com o utilizador é prática, sendo o produto apresentado num ecrã sensível ao toque através da imagem que o identifica, tornando-a adequada a qualquer utilizador com capacidades de visão. Embora se tenha incidido numa interface para pessoas sem deficiências visuais, facilmente é adicionável uma interface por voz para invisuais. A máquina está pensada para integrar já um sistema de pagamento *cashless* (embora pudesse levar um dispositivo para aceitação de moedas - moedeiro), dispondo de comunicações a um servidor, onde poderá ser consultada toda a informação e efetuadas outras operações de gestão.

O abastecimento é simples e rápido devido à utilização de um processo de carga com base em cartuchos que se auto identificam quando são colocados/substituídos na máquina.

A máquina pode ainda ser ou não dotada de refrigeração, dependendo do público alvo a que se destina. Em Espanha, por exemplo, muitos bares/cafés servem as bebidas à temperatura ambiente mas acompanhadas por um copo de gelo. No caso das máquinas de *vending* esta poderia ser uma alternativa à existência de um sistema de refrigeração na máquina desenvolvida, que acabaria por traduzir-se numa diminuição acentuada do custo de produção e de utilização.

3.1 Processo de armazenamento e extração

O conceito de gravidade aparece descrito em várias leis da física. Segundo reza a lenda, um dia *Newton* estava sentado sob uma macieira e uma maçã caiu sobre a sua cabeça e veio ao seu pensamento que esta maçã teria de ter uma razão para cair. Esse motivo seria que alguém estaria como que “puxando-a”, e este alguém seria a Terra. A essa força deu o nome de força gravítica. Este conceito de gravidade foi mais tarde estudado por vários físicos, como *Einstein*, que possibilitou a reformulação da teoria da relatividade [23].

No âmbito da dissertação este conceito foi visto como uma forma de aproveitamento de um fenómeno natural, aquando da disposição e extração do produto. Para tal, os produtos que apresentem uma forma cilíndrica, como as latas de refrigerantes, estariam sujeitos a uma força gravítica numa configuração sobre um plano ligeiramente inclinado.

Atualmente os mecanismos de extração existentes são complexos, sendo baseados ou numa mola que empurra o produto a ser extraído, ou num mecanismo teleguiado que se dirige ao produto e de seguida dispõe-o ao utilizador.

O sistema de extração desenvolvido assemelha-se a uma cruz, sendo a rotação efetuada devido à contribuição da força gravítica a que a lata se encontra sujeita. Essa rotação é controlada por um trinco elétrico, capaz de suportar o peso dos produtos existentes no módulo. A estrutura do módulo permite que as forças se distribuam ao longo do mesmo, o que faz com que o trinco esteja sujeito a maior esforço com o menor número de latas no módulo.

O facto de apenas se apresentar uma solução para produtos de forma cilíndrica não impede que outro tipo de produtos possam também ser comercializados, por exemplo, ao serem colocados dentro de uma embalagem plástica de forma cilíndrica.

Na Figura 3.1 está representado o processo de armazenamento.

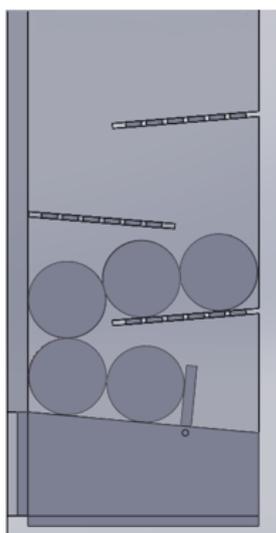


Figura 3.1: Processo de armazenamento

A configuração apresentada na Figura 3.1 corresponde a uma situação de repouso. As latas estão suportadas por prateleiras ligeiramente inclinadas, as quais suportam, em conjunto com as paredes do invólucro (adiante designado por cartucho por ser amovível) a pressão exercida sobre a pilha de latas. Tal organização permite que a pressão exercida sobre o mecanismo de extração seja no máximo equivalente à pressão de uma só lata, como se mostra no capítulo seguinte.

No conceito proposto as prateleiras pretendem-se perfuradas para facilitar o fluxo de ar frio proveniente de um sistema de refrigeração montado no topo da máquina.

O mecanismo de extração é constituído por um sistema rotativo em forma de cruz com 4 braços com a mesma dimensão. A sua rotação dá-se no sentido contrário à rotação das latas vindas da pilha armazenada no invólucro. O dispositivo está normalmente travado. Quando é destravado, a pressão exercida pela lata por efeito gravítico faz rodar o mecanismo, o que permite passar esta lata para o compartimento onde pode ser retirada. O braço da cruz imediatamente seguinte ao braço que suporta a lata no sentido retrógrado durante a rotação do braço anterior impede que a lata seguinte caia no compartimento de extração. Uma vez posicionado esse braço próximo da posição onde se encontrava o anterior, a lata seguinte da pilha dá entrada para cima desse braço, ficando posicionada para ser a próxima a ser extraída. É evidente que existe um mecanismo de travagem que foi desativado para permitir a rotação que permitiu a rotação da lata anterior e que é travado para que esta fique na posição.

Na Figura 3.2 mostram-se os 3 estados do mecanismo de extração: Repouso (a), Disponibilização (b) e Pré-repouso (c).

Inicialmente no estado de repouso (a), a lata **1** está pronta para ser extraída. Quando é introduzida uma ordem pelo consumidor para a disponibilização do produto, o trinco elétrico é acionado (recua) e permite a rotação do mecanismo. Isto acontece porque inicialmente o trinco se encontra na sua posição avançada, ou seja, a evitar que o mecanismo rode, trancando-o. Acionado o trinco este recua e por efeito da gravidade o sistema roda, tal como indica no Figura 3.2b, fazendo avançar a lata **1** para o compartimento de recolha de produto. Na Figura 3.2c observa-se o estado de pré-repouso no qual a lata **2**, por um lado é impedida de acompanhar a lata **1** e por outro está prestes a posicionar-se no mecanismo na posição da extração. Durante o estado b, após uma curta temporização é feito de novo o encravamento permitindo assim que a lata **2** fique na posição de repouso.

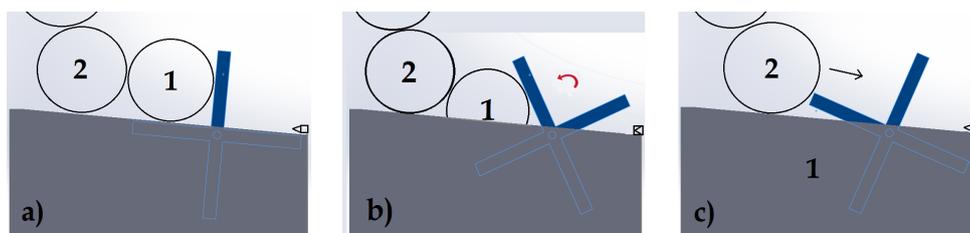


Figura 3.2: Vista lateral do mecanismo extrator de latas em diferentes fases

Pode ser observado na Figura o trinco elétrico no lado direito da imagem de cada estado,

que é o elemento que permite a rotação do mecanismo e consecutiva disponibilização de produto.

Note-se que este mecanismo é altamente eficiente já que apenas necessita da energia necessária para atuar o trinco, o qual por sua vez está sujeito a um esforço reduzido.

3.2 Justaposição de módulos e carregamento

Atualmente, o abastecimento das máquinas é realizado pela pessoa que transporta os produtos, sendo eles transportados dentro de frigoríficos ou arcas térmicas por forma a conservá-los. No contexto da dissertação este tópico foi abordado e surgiram novas ideias. Uma vez que os produtos são transportados, então coloca-se a possibilidade de estes serem colocados dentro de cartuchos. Assim, o operador chega ao local do abastecimento e apenas troca o cartucho correspondente, evitando a perda de tempo no abastecimento um a um. Na Figura 3.3 é apresentado o modelo 3D da máquina modular desenvolvido no *software SolidWorks*, na qual estão presentes dois módulos dispensadores de produtos completos. O módulo de interface não se encontra representado.

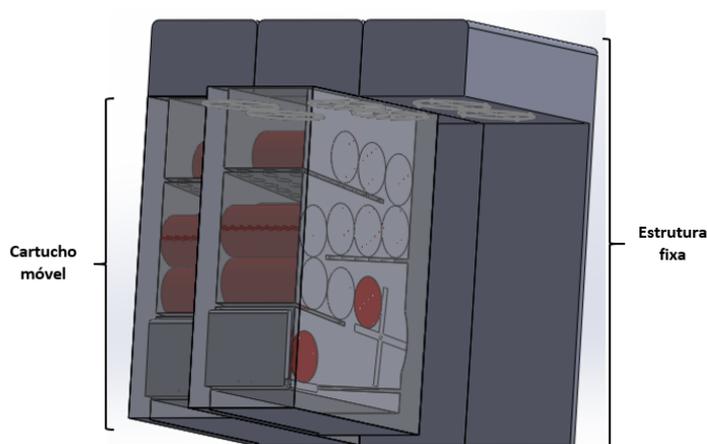


Figura 3.3: Modelo da máquina modular

Cada módulo dispensador de produtos é constituído por uma parte fixa, que contém a refrigeração (parte superior da Figura 3.3) e uma parte móvel. Esta é constituída pelo cartucho, onde se encontram os produtos previamente carregados pelo distribuidor. A configuração da Figura 3.3 simula uma situação de instalação de uma máquina, na qual está a ser introduzido o segundo cartucho, seguindo-se o terceiro (não representado).

Na montagem e no abastecimento da máquina a informação de que um módulo com um respetivo produto foi instalado é assegurada através de um mecanismo eletrónico. Esse mecanismo, ao ser acionado (cartucho encaixado), transmite à unidade de controlo informações do módulo, nomeadamente o tipo de produto que foi instalado e informações acerca

da sua localização. Além disso vai ainda ativar o sistema de refrigeração referente ao cartucho. Com esta metodologia adota-se um conceito prático, rápido e eficiente, que pode ser caracterido pela expressão “*plug & play*”.

Está-se na presença de uma abordagem semelhante à das impressoras comuns, nomeadamente a troca de cartucho que, através de mecanismos de encaixe e guiamento, permite substituir o cartucho de forma rápida e simples. No Capítulo 4 é explicado como é realizada a interligação do(s) módulo(s) e os elementos que o(s) vão constituir.

A flexibilidade e agilidade com que uma máquina pode ser adaptada de acordo com o meio onde esta vai ser integrada configura-a como um sistema escalável. Isto permite a construção de um modelo de tamanho variável, podendo deter um número indeterminado de elementos de distribuição de produtos, que poderá ser aumentado ou diminuído sem alteração do controlo e da interface com o utilizador.

3.3 Usabilidade e interface com utilizador

Em relação ao ambiente de interação com o utilizador, o procedimento a ser efetuado para adquirir um produto pode ser descrito pelo fluxograma presente na Figura 3.4.

Inicialmente o utilizador deve identificar-se e consoante o seu saldo só aparecerão os produtos com um custo inferior ao valor disponível. A identificação do utilizador é útil na medida em que só poderão interagir com a máquina utilizadores devidamente autorizados. Na Figura pressupõe-se que o utilizador se identifica perante a máquina com um cartão RFID, embora qualquer outro dos mecanismos referidos no estado de arte podessem ser utilizados.

Independentemente da dimensão da máquina o ecrã é único. Ao serem ligados novos módulos, a apresentação visual do produto é unicamente realizada com base nos produtos que a máquina coloca disponíveis. Está-se perante uma interação fácil, estando os produtos acessíveis com um simples toque.



Figura 3.4: Fluxograma de interação utilizador-máquina

O utilizador seleciona a bebida pretendida através do ecrã, que disponibilizará informação a indicar a bebida que está a ser selecionada. Após selecionada a bebida pretendida no ecrã e efetuado o pagamento através de uma tecnologia *contactless* (RFID por exemplo) o módulo da bebida respetiva irá ser sinalizado por exemplo por uma barra de LED, que informa o utilizador onde vai ser extraído o produto.

Em caso de falha na disponibilização de produto o sistema deverá devolver o dinheiro ao utilizador na presença de um sistema de pagamento por numerário, ou depositado novamente no cartão o valor do produto na presença de um sistema de pagamento por cartão. A informação de falha deverá ser transmitida ao utilizador através de uma notificação apresentada no ecrã. Por forma a garantir ao utilizador que ocorreu uma falha da máquina é necessário controlar com algum detalhe o movimento dos produtos ao longo da pilha, para que possa ser identificado um possível encravamento ou outro problema que impeça a disponibilização de produto.

3.4 Refrigeração

Atualmente, o sistema de refrigeração mais utilizado baseia-se no ciclo de refrigeração por compressão de vapor. Este sistema encontra-se na parte inferior traseira da máquina. Sendo o ar frio mais denso, os produtos mais frios são os que se encontram mais no fundo da máquina. Posto isto, é fácil perceber que os produtos são disponibilizados ao utilizador a temperaturas que dependem do seu posicionamento na máquina e que, para o mesmo nível de posição, o produto mais fresco se encontra na parte traseira da máquina. Isso implica que

por exemplo numa máquina de espiras o produto a disponibilizar seja o que está menos frio, que é o que está na parte mais da frente.

Em relação ao abastecimento, após essa operação a máquina necessita de algum tempo em funcionamento, para os produtos atingirem um valor de temperatura que satisfaça o cliente. Isto porque durante o abastecimento a máquina está aberta, perdendo o frio do seu interior o que afeta a temperatura dos produtos mesmo que estes venham previamente refrigerados.

No sistema concebido esta realidade não se verifica. O sistema de refrigeração é colocado na parte superior da máquina e o produto a ser disponibilizado encontra-se sempre na parte inferior. Do ponto de vista térmico isto possibilita uma circulação de ar no módulo, capaz de refrigerar os produtos. Considerando ainda a hipótese de o cartucho vir refrigerado do armazém, após o abastecimento, a máquina está pronta a servir e satisfazer o cliente.

3.5 Subsistemas de suporte

A interface com o utilizador apresenta-se como o elemento mais influente para o sucesso do *vending*.

Considerando que o operador da máquina vai instalar um equipamento, é colocado o módulo de interface seguido dos restantes módulos dispensadores. Ao serem colocados os módulos dispensadores, de acordo com a bebida existente no módulo, através do respetivo código de barras o cartucho auto identifica-se e é enviada uma mensagem ao sistema de gestão de dados a pedir informação relativamente ao produto. Neste caso, a informação pretendida consiste na imagem do produto instalado, no preço e outros dados a serem apresentados ao utilizador no ecrã.

Existem diferentes tipos de códigos de barras que podem ser numéricos, alfa-numéricos, com caracteres lineares ou 2D.

Os códigos de barras referentes a produtos alimentares baseiam-se no padrão EAN-13 (13 dígitos numéricos). Consiste numa codificação linear que contém quatro campos de informação, sendo eles: informação relativa ao país de origem, empresa fabricante, produto produzido e um dígito verificador. Os últimos 6 dígitos correspondem ao código de produto, sendo o último o dígito de verificação [25]. Neste caso, para codificar os 13 dígitos do código de barras do produto serão necessários 6 *bytes* nas mensagens trocadas entre o módulo dispensador e o módulo de interface.

Em relação ao pagamento, por intermédio de sistema de pagamento *cashless*, com comunicações a um servidor, poderá ser consultada toda a informação da máquina.

Na Figura 3.5 apresenta-se um fluxograma da máquina e do sistema de suporte que se pretende desenvolver.

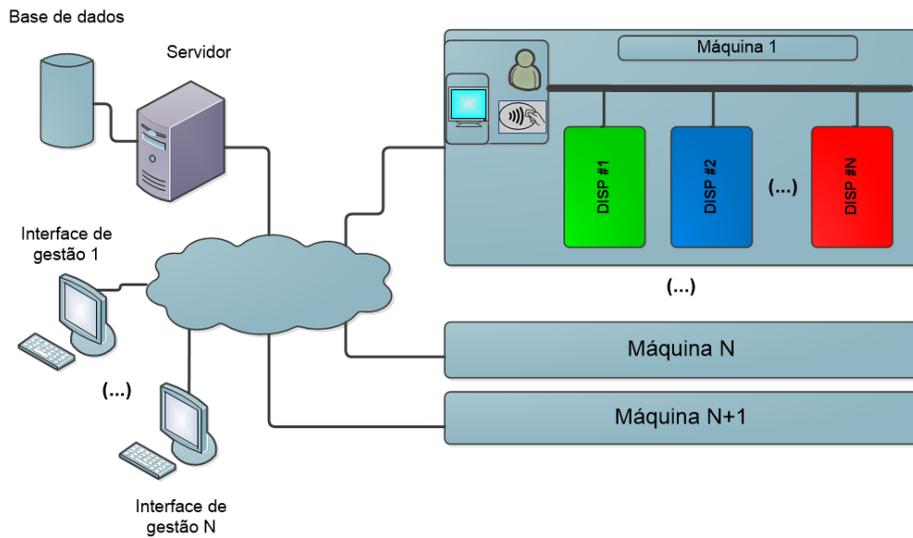


Figura 3.5: Fluxograma da máquina modular e do sistema de suporte

Sendo o produto apresentado ao utilizador através da imagem que o identifica, torna-se abrangente a todo o utilizador universal. O pagamento recorrendo a um sistema *cashless* possibilita uma interface prática com o utilizador.

Capítulo 4

Implementação e validação do conceito

O presente capítulo pretende descrever os procedimentos realizados com a finalidade de validar este novo conceito de máquina de *vending*. O foco principal baseia-se na capacidade de desenvolver um sistema com uma tecnologia viável e económica, incidido numa estrutura totalmente modular escalável, de estética agradável, podendo até ser um elemento decorativo num determinado espaço.

4.1 Disposição e extração de produto

A Figura 4.1, idêntica à Figura 3.1 , mostra um módulo com uma capacidade previamente estabelecida por prateleira de 3 latas num cartucho com uma altura de $500mm$, o que confere uma capacidade máxima de 11 latas no total¹.

¹Características da lata: $\emptyset = 67mm$, *comprimento* = $120mm$ e *massa* = $0,375Kg$

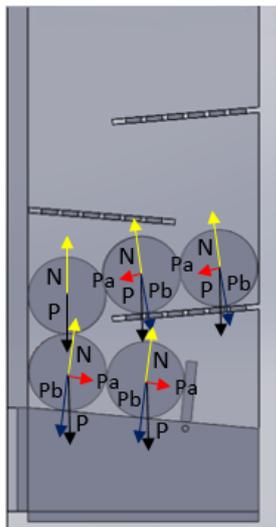


Figura 4.1: Forças a que as latas estão sujeitas no cartucho

A configuração apresentada na Figura 4.1 corresponde a uma situação de repouso. A reação efetuada pela prateleira que impede a lata de cair, está representada pela força N . A inclinação das prateleiras apresentada corresponde a cerca de $5,2^\circ$.

Existem duas forças, Pa e Pb , que correspondem à decomposição da força resultante P que o corpo está sujeito na vertical. Esta força é calculada pela seguinte fórmula:

$$P = m \times g \iff P = 0,375 \times 9,8 = 3,68N \quad (4.1)$$

Daqui resulta que, para $5,2^\circ$:

$$Pa = P \times \sin(5,2) = 0,33N \quad (4.2)$$

$$Pb = P \times \cos(5,2) = 3,66N \quad (4.3)$$

Estando em vista o desenvolvimento de um novo conceito de máquina de *vending*, como prova de conceito foi construído um cartucho semelhante ao modelo 2D da Figura 4.1, que também serviu de suporte à realização dos testes com o trinco (Figura 4.2). De notar que o cartucho construído não é o modelo final projetado.

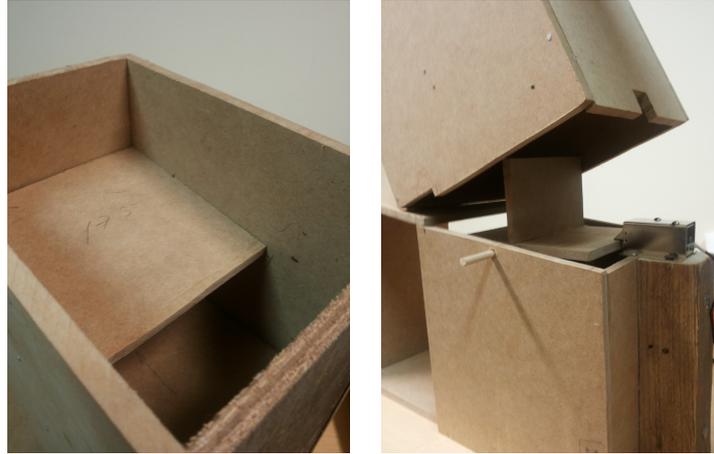


Figura 4.2: Modelo desenvolvido para testes e demonstração

O trinco vai estar sujeito a uma força perpendicular ao seu movimento, a qual terá de ser vencida para que ele possa recuar. Essa força necessitou de ser calculada para dimensionar o trinco e pode ser obtida usando um método artesanal, apresentado no Capítulo 5.

A situação mais desfavorável ocorre quando apenas se encontra uma lata no cartucho, em que a força exercida no trinco apresenta o valor do peso da lata, ou seja, 3,66N.

Por forma a validar o conceito desenvolvido foram realizadas alterações no cartucho. Na Figura 4.3 pode ser observado o modelo inicial (à esquerda) e o modelo final obtido (à direita) do cartucho de produtos.

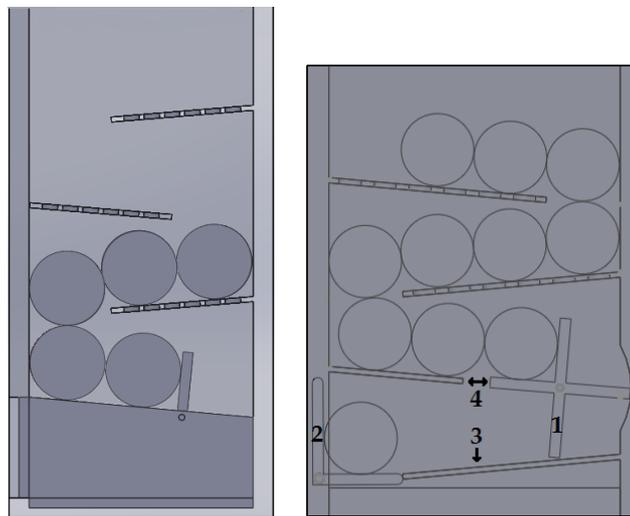


Figura 4.3: Modelo inicial (à esq.) e final (à dir.)

Uma das alterações realizadas diz respeito ao número de elementos de cada cartucho. Colocou-se a possibilidade de aumentar o número de produtos por prateleira de 3 para 4 sem colocar em causa o funcionamento da máquina. Com esta alteração poder-se-á aumentar o número de módulos da máquina, uma vez que diminui-se a altura previamente estipulada

(500mm), mantendo o mesmo número (11 produtos). Ao mesmo tempo consegue-se garantir a segurança da máquina, visto que o mecanismo de extração (nº1 da Figura 4.3) se encontrará mais recuado do mecanismo de recolha de produto (2), possuindo o módulo maior profundidade (aproximadamente 310mm).

O modelo final apresentado na Figura 4.3 encontra-se numa configuração na qual foi submetida uma ordem de extração de produto, em que o mesmo ficou disponível para o utilizador (canto inferior esquerdo). Face ao modelo inicial, o módulo dispensador de produtos contém o mecanismo de recolha de produto (2), bem como uma prateleira com inclinação (3) para garantir que fica acessível ao utilizador. O espaço existente entre a prateleira e o mecanismo de extração (4) tem como objetivo assegurar que, quando é disponibilizado um produto, este tem espaço suficiente para se movimentar aquando a rotação de 1.

4.2 Avaliação do sistema de refrigeração

A refrigeração está alocada na parte fixa do módulo dispensador de produtos e pode conter refrigeração baseada em *Peltier* ou num sistema por compressão de vapor. O sistema de refrigeração mais utilizado hoje em dia foi considerado, visto que já existem blocos de refrigeração de pequeno tamanho que utilizam esse princípio.

O tipo de refrigeração testado tem por base o sistema de *Peltier* estudado. Se um cartucho for substituído ou até mesmo removido, o sistema de refrigeração desligar-se-á automaticamente para evitar o gasto desnecessário de energia. O facto da refrigeração ser colocada por cima deve-se principalmente ao facto de o ar frio ser mais denso que o ar quente, pelo que tem tendência a descer. Na Figura 4.4 é apresentada a imagem de um teste com o sistema de refrigeração de *Peltier*, realizada em poliestireno extrudido (XPS), mas cujo isolamento não permitiu obter leituras de temperatura desejadas. O elemento *Peltier* encontra-se no interior da tampa, contendo um dissipador de calor no lado quente e outro para o lado frio (interior). Para melhorar a circulação de ar no interior pode também ser utilizada uma pequena ventoinha.



Figura 4.4: Sistema de refrigeração de *Peltier*

Através da Figura 4.4 fica-se com uma noção do pouco espaço que este sistema ocupa e o seu posicionamento em cada módulo dispensador de produtos, sendo esse o objetivo.

O preço dos módulos termoelétricos *Peltier* variam em média entre 10 e 20€, com capacidade para fornecer potências até 10 e 90W, respetivamente. De acordo com o local onde a máquina será instalada é necessário efetuar o controlo da temperatura, por forma a minimizar os consumos energéticos. Esse controlo depende das condições climáticas a que o sistema vai estar submetido.

Atualmente é frequente encontrar, em sistemas de refrigeração, materiais como espuma de poliuretano (PUR) ou XPS, que são no fundo materiais bons isolantes, com uma condutibilidade térmica baixa $k = 0,027W/m^{\circ}C$ no caso do poliuretano e $k = 0,032W/m^{\circ}C$ no caso do poliestireno, valores para a mesma densidade [4]. Ainda no interior, para o ar circular deve-se optar por materiais bons condutores como o cobre ou o alumínio para permitir trocas de calor por condução.

4.3 Modelo geral desenvolvido

O esquisso do modelo final projetado da máquina de *vending* é semelhante ao apresentado na Figura 4.5. A parte fixa do módulo de produtos não foi desenhada embora esteja presente, como anteriormente referido. Como é possível observar, estão apresentados 5 cartuchos de produtos e 1 módulo que engloba a interface com o utilizador e a gestão do equipamento (central). É fornecida ao utilizador uma oferta de 5 variedades de produtos.

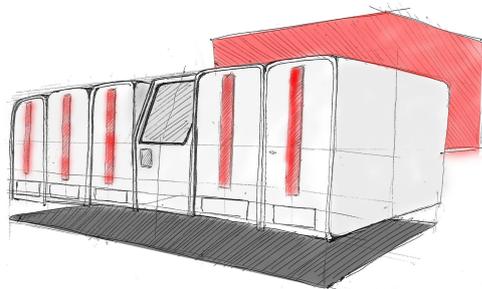


Figura 4.5: Modelo da máquina de *vending*

Apesar de não estar demonstrado, o número de cartuchos que constituem a máquina pode ser aumentado ou diminuído de acordo com o meio no qual esta vai ser colocada, isto é, dependendo do local onde o equipamento vai ser instalado e do tipo de utilizadores, a diversidade de produtos pode variar. No caso da Figura apresentada podem ser colocados cartuchos em cima, em baixo, ou mais à esquerda ou direita, fica ao critério do operador da máquina e das necessidades dos clientes.

4.3.1 Módulo da interface e gestão

Na Figura 4.6 é apresentado um esquisso do módulo da interface (MI) com o utilizador, a unidade de controlo (UC) da máquina. Este é composto no seu exterior por um ecrã e por um leitor RFID, contendo no interior toda a distribuição de energia para os restantes módulos e as ligações necessárias ao sistema de gestão e comunicação da máquina.

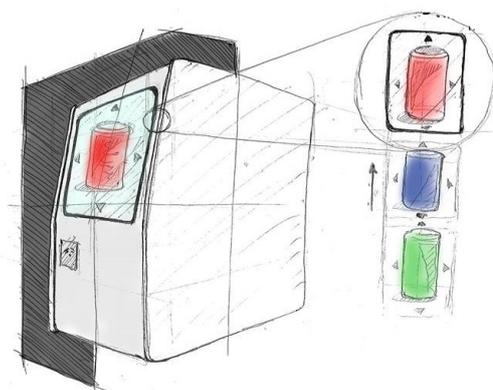


Figura 4.6: Módulo da interface e gestão

Este módulo engloba também um detetor de presença que permite o ecrã “adormecer” quando não se encontra ninguém na proximidade e “acordar” quando um utilizador se aproxima da máquina, economizando energia.

4.3.2 Módulo dispensador de produtos

Na Figura 4.7 é apresentado um esquisso do cartucho do módulo dispensador de produtos (MD). Este cartucho, além de conter os produtos, contém o mecanismo de extração anteriormente descrito, dois sensores de temperatura (não ilustrados), três sensores de nível/*stock* (não ilustrados) e uma barra de LED sinalizadora. Sabe-se atualmente que produtos como as latas de refrigerantes têm tamanhos diferentes, no entanto não é um obstáculo uma vez que os cartuchos não têm de ser necessariamente todos iguais, podendo até o mesmo cartucho conter diferentes modelos de lata para o mesmo produto. Apesar de na Figura 4.7 se observar o interior do cartucho, numa situação real o utilizador apenas vê o seu exterior.

Os dois sensores de temperatura, um na parte superior do cartucho e outro na parte inferior (próximo do mecanismo extrator) têm finalidades diferentes. O que se encontra na parte superior do cartucho não está diretamente associado ao utilizador, uma vez que serve para informar a UC da máquina que, caso o sistema de refrigeração falhe, a diminuição de temperatura sentir-se-á mais rapidamente neste sensor. Caso isto se verifique, o cartucho ficará indisponível, através de uma mensagem enviada do cartucho em causa para a UC.

Relativamente à barra de LED permite informar o utilizador em que módulo vai ser extraído o produto selecionado, piscando por forma a sinalizar o módulo.

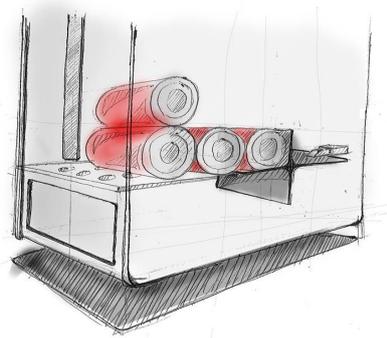


Figura 4.7: Cartucho do módulo dispensador de produtos

Na Figura 4.8 está presente o mecanismo de recolha de produto.

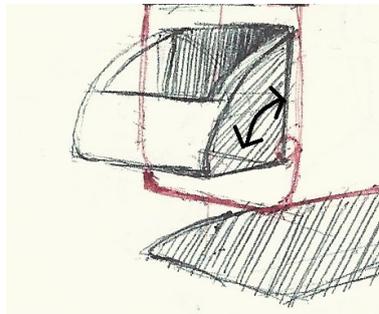


Figura 4.8: Mecanismo de recolha de produto

Inicialmente este encontra-se recolhido, e quando o utilizador recebe o sinal a indicar o módulo no qual vai ser extraído um produto, este força a rotação da gaveta e retira o produto (configuração da Figura 4.8). Este sistema funciona por mola e é puramente mecânico, sem consumo de energia e que acima de tudo garante a segurança do módulo e da respetiva máquina.

4.4 Comunicações entre módulos

Estando na presença de uma máquina modular, neste tópico serão referidas as comunicações internas entre os módulos, propostas pelo autor. Será também abordado o protocolo de comunicação mais adequado aos requisitos de comunicação, bem como uma possível implementação do mesmo. As comunicações entre os módulos e o sistema de pagamento não serão abordadas.

Relativamente às comunicações entre os subsistemas da máquina modular é objetivo usar o menor número de fios para reduzir ao máximo os custos. Por outro lado, é também importante garantir que os MDs são independentes do MI, ou seja, o operador sempre que abastece a máquina não deve ter de efetuar nenhuma alteração no MI.

4.4.1 Análise e seleção de protocolos: 1-Wire, I2C e CAN

4.4.1.1 1-Wire

No que diz respeito às comunicações entre os elementos da máquina existem vários protocolos que podem ser utilizados no barramento da máquina. Um dos protocolos atualmente conhecido, designa-se por *1-Wire*.

Propriedade da *Maxim* e projetado pela *Dallas Semiconductor*, este protocolo permite transmitir dados a baixa velocidade mas com maior alcance, quando comparado por exemplo com o *I²C*.

A *Maxim* disponibiliza um tutorial *1-Wire* que contém alguma informação acerca deste sistema de barramento [26]. Medições de temperatura, controlo de acessos, identificação de dispositivos, monitorização de sistemas, entre outros, poderão ser as aplicações mais comuns.

Na Figura 4.9 pode-se observar um esquema de possíveis aplicações *1-Wire*.

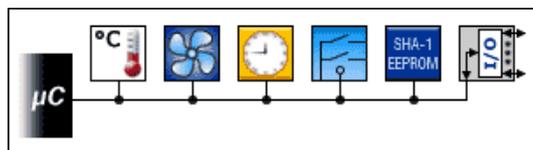


Figura 4.9: Possíveis aplicações da comunicação *1-Wire*[1]

Com uma velocidade *standard* de comunicação de cerca de 15.4kbps, cada dispositivo *1-Wire* contém um ID único e inalterável e é ligado ao *master* por apenas uma linha de dados e a massa (Figura 4.10), sendo o *master* quem inicia e controla a comunicação.

A comunicação *1-Wire* é *half-duplex* e permite um dispositivo *master* controlar um ou mais *slaves*.

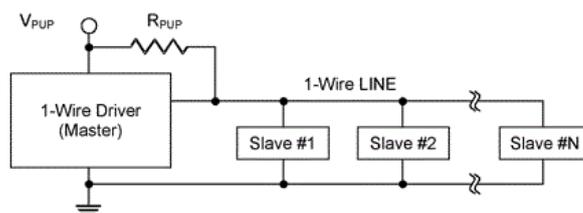


Figura 4.10: Esquema de uma comunicação *1-Wire*

No caso do *1-Wire*, tendo em conta que cada *slave* contém um identificador, isto pode ser visto como uma forma automática de indicar ao *master* que foi ligado um novo cartucho e que, a partir desse momento o *master* pode enviar informação ao respetivo *slave*.

Existem integrados com vários canais endereçáveis como o DS2408 da *Maxim*, capazes de comunicar diretamente com um *master* por barramento *1-Wire*. No entanto, no caso do *master* ser um PIC, este deve conter um pino compatível com esta tecnologia, o que não se

verifica com o PIC inicialmente usado, PIC16f877a da *Microchip*. Todavia, existem integrados que fazem a ponte I^2C para *1-Wire*, como o DS2482 também da *Maxim*, sendo o controlo efetuado por este integrado, contribuindo para um maior leque de possibilidades de ligação com dispositivos *1-Wire*.

4.4.1.2 I^2C

Outro protocolo existente é o I^2C , proposto pela *Philips Electronics* para permitir a troca de dados entre os seus integrados. Pode-se encontrar este protocolo de comunicação nas EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*), em sensores de temperatura, LCD, uC, módulos GSM e muitos outros.

Enquanto que o *1-Wire* comunica através de um único fio, o I^2C utiliza dois condutores, o sinal de relógio (SCL) e a linha de dados (SDA), como pode ser observado na Figura 4.11.

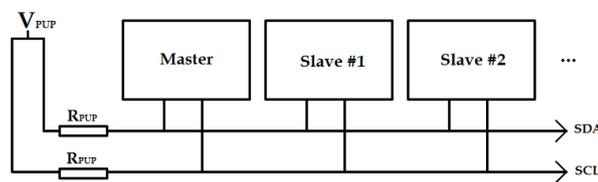


Figura 4.11: Esquema típico de uma comunicação I^2C

Enquanto a comunicação estiver inactiva, os dois condutores, SDA e SCL, apresentam uma tensão positiva e igual a V_{pup} . Quando um dispositivo quiser enviar um bit, tem de forçar a tensão da linha SDA a zero durante um determinado período de tempo ou, em alternativa, deixar a linha permanecer com uma tensão positiva durante esse mesmo período de tempo. Se na linha de dados ocorrer uma transição e se o sinal de clock tiver uma tensão positiva, pode ser interpretado como um sinal de paragem ou condição de início, uma causa típica de uma mensagem corrompida [27].

4.4.1.3 Interface de comunicação interna utilizando CAN

O objetivo de estudo das comunicações é permitir encontrar um protocolo de comunicação com poucos fios e que aquando a substituição de um cartucho não seja necessário alterar as configurações do MI, recebendo informação dos MDs automaticamente. Os dois protocolos apresentados apresentam algumas limitações, sendo o *1-Wire* suscetível ao ruído e apresenta uma velocidade de comunicação inferior ao ao I^2C . Este por sua vez, ainda que mais lento que o CAN, é recomendado pelo fabricante para utilizações de curtas distâncias e de preferência no mesmo integrado, o que pode causar alguma inviabilidade na utilização pretendida.

O barramento de campo série estudado e testado foi o CAN, escolhido devido à sua grande implantação no mercado. Desenvolvido pela *Bosch* e com foco na indústria automóvel, também é utilizado em máquinas industriais. Todas as mensagens tem um ID que define o

conteúdo e a prioridade da mensagem, importante quando várias estações tendem a acessar o barramento ao mesmo tempo. Quanto à camada física da rede CAN utiliza dois fios com uma rede de comunicação de tensão diferencial e os valores estimados matematicamente para as transmissões são de 500 kbit/s para cerca de 100 m e podem ser aumentados para 500 m com uma taxa de bits de 125 Kbit/s [14].

A comunicação CAN proporciona uma configuração *event triggered*, que significa que os nós podem transmitir apenas quando ocorre um evento, o que pode ser perigoso quando não ocorrem eventos e não se sabe o estado do(s) nós. Para tal é importante a transmissão periódica de uma mensagem do género “*I’m alive*” para sinalizar que o módulo se encontra ativo.

A ligação CAN a um meio físico é implementada através de um transceptor (foi utilizado o MCP2551 da *Microchip*), um dispositivo que é ligado às linhas do barramento pelos seus dois terminais CANH (CAN-High) e CANL (CAN-Low), que proporcionam ao sistema a capacidade de receber e transmitir dados no modo diferencial, conforme apresentado na Figura 4.12. Como os sinais são diferenciais permite um barramento imune ao ruído e tolerante a falhas, sendo a impedância nominal (R_L) recomendada para a resistência de terminação de 120Ω , para evitar reflexões de sinal.

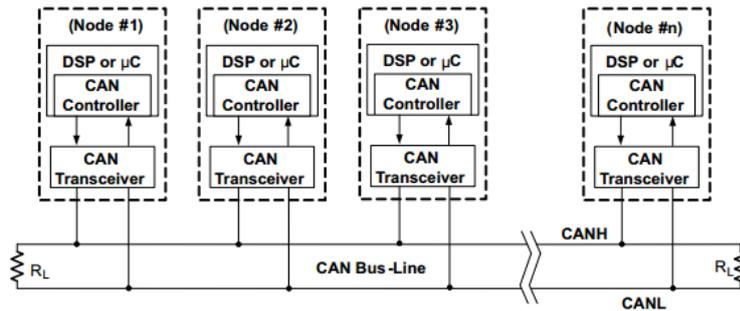


Figura 4.12: Diagrama de um barramento CAN[14]

Na Figura 4.12 cada nó corresponde a um cartucho de produtos diferente e segundo as especificações do padrão de alta velocidade (ISO 11898) a comunicação apresenta uma taxa máxima de transmissão de 1 Mbps , com um comprimento de barramento de 40 m e para um máximo de 30 nós, o que supera alargamente o objetivo pretendido.

4.4.2 Requisito de comunicação

As trocas de informação realizadas entre os módulos necessitam de ser estudadas, por forma a seleccionar o protocolo que mais se adequa às necessidades de comunicação.

Na Figura 4.13 é possível observar dois diagramas de mensagens trocadas entre os módulos, o de interface (MI) e o dispensador (MD).

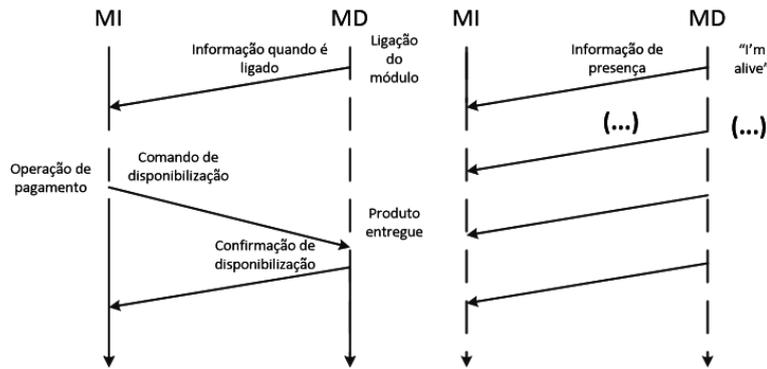


Figura 4.13: Trocas de informação entre os módulos

No diagrama da esquerda, ao ser ligado o módulo dispensador a informação a ser enviada consiste no código de barras do produto presente no cartucho, bem como o estado de um LED de sinalização de módulo. Quando em operação, o módulo de interface necessita de receber informação da temperatura no interior do cartucho, bem como do seu nível de *stock*.

No diagrama da direita pode-se observar o envio periódico do estado do LED (ligado ou não ligado) do módulo correspondente, que informa ao módulo de interface os módulos que estão disponíveis ao utilizador.

Assim, por forma a estabelecer os requisitos de comunicação entre módulos foi elaborada a Tabela 4.1 onde é apresentado o tamanho da informação referente ao conteúdo que necessita de ser trocado entre os módulos.

Conteúdo	Nº <i>bits</i>
Cód. barras	48
Sensor temp. 1	6
Sensor temp. 2	6
Sensor nível 1	1
Sensor nível 2	1
Sensor nível 3	1
LED do MD	1
Total:	64 <i>bits</i> = 8 <i>bytes</i>

Tabela 4.1: Requisitos mínimos de comunicação

De acordo com o que está apresentado na Tabela 4.1 é importante referir que são necessários 6 *bytes*, capazes de endereçar os 13 dígitos referentes ao código de barras. Para registos de temperatura, com 6 *bits* podem ser lidos valores cuja variação de temperatura pode atingir os 31°C com uma resolução de 0,5 grau. Para os restantes parâmetros apenas é necessário 1 *bit*. Então, com um total de 8 *bytes* consegue-se fazer o mapeamento da informação necessária a ser transmitida.

4.4.3 Implementação com CAN

Em relação ao formato de dados em CAN, a norma define dois tipos de tramas, *Standard Data Frame* e *Extended Data Frame*. A diferença entre estes dois tipos de tramas é o comprimento do identificador sendo que *Standard Data Frame* tem um identificador de 11 *bits*, enquanto que *Extended Data Frame* tem um identificador de 29 *bits* separados por dois registos, SID e EID.

O tamanho do campo de dados (*Data Field*) para os dois tipos de tramas é o mesmo, no entanto uma vez que se pretende endereçar um número maior de *bits* para identificar os cartuchos, optou-se pela utilização da CAN 2.0 B *Extended Data Frame*. Assumindo que cada cartucho da máquina contém um e só um endereço universal, decidiu-se atribuir os primeiros 11 *bits* identificadores para o tipo de módulo, 18 *bits* para identificar o ID do módulo e apenas 3 *bytes* de dados (24 *bits*) para codificar o código de barras do produto. Estes 3 *bytes* apenas codificam o código de produto e foram considerados nos testes no Capítulo 5. A Figura 4.14 ajuda a perceber a trama de dados para um formato alargado.

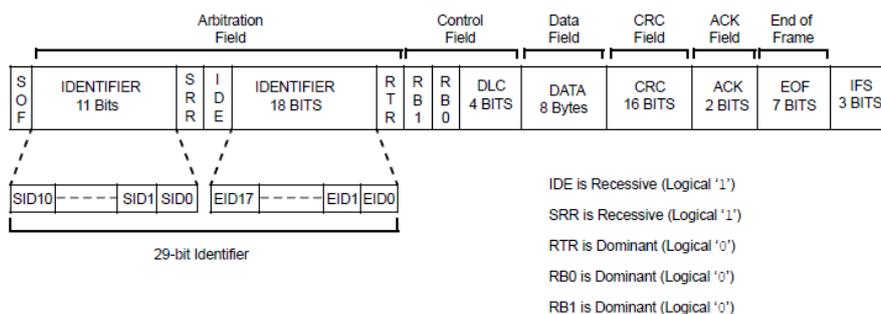


Figura 4.14: Formato da trama de dados CAN 2.0B[9]

O circuito desenvolvido para uma comunicação baseada em CAN, está presente no apêndice B. Este circuito teve como objetivo simular a interação entre o MI e o MD, cujas mensagens trocadas entre eles serão apresentadas de seguida.

Na instalação da máquina, após a ligação do MI são ligados os restantes módulos. Cada MD adicionado envia uma mensagem inicial com uma estrutura semelhante à da Figura 4.15.



Figura 4.15: Estrutura de uma mensagem enviada a partir de um MD

MD refere-se ao tipo de módulo (0 para MI e 1 para MD, por exemplo), seguido do código único do módulo (ID). Como existem 18 *bits* para codificar o ID do módulo, significa que podem existir $2^{18} = 262144$ módulos com ID's diferentes.

Conforme ilustrado na Figura 4.14 podem ser utilizados até 8 bytes para dados (*Data Field*). Neste caso, para codificar os 13 dígitos do código de barras apenas seria necessário utilizar 6 *bytes*. No entanto foram considerados os últimos 6 dígitos que identificam o produto, pelo que foram utilizados apenas 3 *bytes*, como dito anteriormente.

É através do código de barras do produto que é efetuado um pedido à base de dados e que é apresentado no ecrã a imagem associada ao respetivo módulo.

Na Figura 4.16 está apresentada a estrutura que define a troca de mensagens MI -> MD e MD -> MI.



Figura 4.16: Estrutura de mensagens trocadas entre os módulos

O código do evento pode ser definido como um pedido do estado de *stock*, registo de temperatura, preço de um produto, etc., no caso de ser enviado a partir do MI. No caso do MD este pode enviar um código a informar se o produto foi ou não entregue, o número de produtos após a extração de um produto, entre outras mensagens úteis para o MI.

Quando é realizada uma transação por intermédio de um sistema *cashless* como o RFID, o leitor RFID identifica o número do utilizador e regista o código do produto selecionado numa base de dados alocada num servidor.

Capítulo 5

Testes e análise de resultados

Com o decorrer da dissertação foram sempre realizados os ajustes necessários por forma a desenvolver um modelo cada vez mais simples e ao mesmo tempo atrativo para o consumidor, objetivos sobre os quais foram investidos grande parte do tempo. Neste capítulo será descrito como foi realizada a deteção de nível de produtos dentro do cartucho e como foi calculada a força exercida no trinco, capaz de suportar os produtos a montante do cartucho. De seguida é apresentada a descrição e análise dos testes realizados relativamente aos dois sistemas de refrigeração estudados e por último os resultados dos testes que demonstram uma possível comunicação CAN entre o MD e o MI.

5.1 Deteção de produto

O circuito dimensionado e testado para a deteção de produto, que permitem efetuar o controlo de *stock* e detetar uma possível falha do sistema de uma forma prática e eficiente é apresentado no anexo C. O sensor de luminosidade (D2) tem por base um foto-díodo. Este dispositivo caracteriza-se por, quando polarizado em modo inverso (i.e., quando a tensão aplicada ao cátodo é superior à aplicada ao ânodo), produzir uma corrente que é proporcional à intensidade luminosa que atinge a sua área sensível.

Os testes práticos para a deteção de produto foram realizados com o emissor e receptor ótico ambos do mesmo lado, como apresentado na Figura 5.1. Para testes foram utilizadas latas e verificou-se que devido à sua forma côncava no fundo e convexa no lado contrário, apenas no meio da lata ocorre reflexão suficiente para ocorrer um sinal de deteção de produto (LED ON).

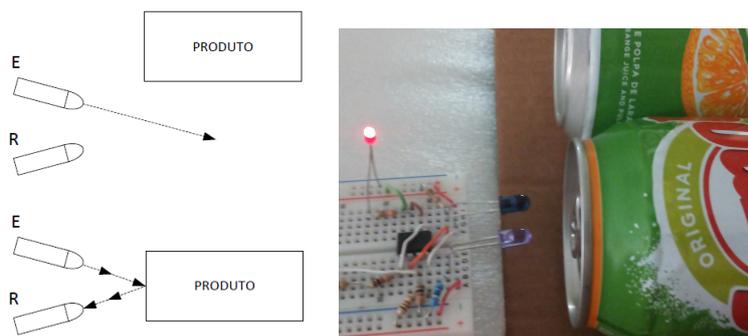


Figura 5.1: Sensor óptico para detecção de produto

Desta forma, ao ocorrer uma alteração do valor à saída do circuito significa que ocorreu movimento de latas no cartucho. Estes resultados foram obtidos separadamente mas pretende-se tratar e enviar esta informação aquando o funcionamento da máquina. A veracidade desta informação poderá ser comprovada através dos restantes sensores de detecção de produto ao longo do cartucho. A colocação dos sensores óticos (emissor e recetor) ambos do mesmo lado permite a aplicação dos mesmos num único integrado.

5.2 Força exercida no trinco

Por forma a calcular a força perpendicular a que o trinco vai estar sujeito quando suporta os produtos, utilizou-se um método artesanal que consiste no seguinte:

Enroscou-se um parafuso numa das abas do mecanismo extrator e pendurou-se uma garrafa de água, à qual se foi retirando e acrescentando água à medida que se colocavam latas no cartucho. A água em condições PTN tem uma densidade de $1Kg/L$. Por exemplo, com apenas 4 latas no cartucho, a quantidade de água presente na garrafa para uma situação de equilíbrio foi cerca de $150ml$ que corresponde a $150g$, que equivale a menos de metade do peso de cada lata. Relativamente aos testes realizados para o dimensionamento do trinco e à observação do comportamento das latas ao longo do cartucho, à medida que se foram adicionando latas, a força exercida no trinco diminuiu. Além disso garantiu-se que o mecanismo apenas vai rodar num sentido e que devido à inclinação e à força das latas seguintes, a força exercida no trinco vai ser menor à que, por exemplo, fosse exercida apenas com uma lata no cartucho. Este último caso é o mais desfavorável e sobre o qual o dimensionamento do trinco incidiu, ou seja, para uma força de $3,66N$.

Quando ocorre uma ordem de extração de produto o trinco é acionado. Após uma temporização, a qual permite o encravamento de novo, o mecanismo de extração rodou 90° . Esse tempo foi calculado utilizando um sensor ótico, o mesmo que no detetor de latas, e determinou-se um tempo de aproximadamente $600ms$. Este tempo corresponde ao valor temporal máximo que o trinco se encontra na posição de recuo.

Na realização dos testes foram utilizadas latas, todavia era objetivo o desenvolvimento uma máquina para distribuição de alimentos. Tal é possível colocando os *snacks* e/ou bebidas

com embalagens não cilíndricas dentro de invólucros, com uma forma semelhante à de uma lata de refrigerante, para adotar o mesmo método de funcionamento.

5.3 Testes de refrigeração

A refrigeração apresenta-se como o fator mais determinante na eficiência da máquina, não apenas quando se incide sobre os consumos associados mas também no espaço utilizado e no impacto ambiental provocado. Tipicamente as máquinas de venda automática são compostas por um sistema de refrigeração por compressor. É importante estudar este sistema uma vez que é talvez o mais utilizado, por forma a obter dados concretos acerca do seu desempenho.

Utilizando um analisador de energia foram efetuados levantamentos de dados, apresentados na Tabela 5.1, que permitem retirar algumas conclusões de consumos associados às máquinas de venda de alimentos. O levantamento de dados foi realizado após o abastecimento de uma máquina de bebidas e *snacks* presente no IT (Instituto de Telecomunicações), cuja designação ON significa que o sistema de refrigeração se encontra ligado e OFF desligado.

Tabela 5.1: Consumos aproximados de uma máquina de venda de alimentos

Refrigeração	Tempo (min.)	Consumo (W)
ON	38	368,3
OFF	3	47
ON	7	345
OFF	3	47,3
ON	7	349
OFF	3	47,1
ON	7	348

O preço do kWh varia consoante a potência contratada e o modelo de tarifário adquirido. Com base nos preços de mercado da ERSE (Entidade que regula os serviços energéticos) o preço do kWh ronda os 0,16€ para instalações de BTN (Baixa Tensão Normal) desde residências a pequenas empresas. Para médias e grandes empresas os preços são determinados consoante cada cliente.

Tendo em conta os dados obtidos presentes na tabela, através de cálculos simples facilmente se chega a uma estimativa de custo mensal de consumo da máquina em estudo. Considerando o funcionamento normal da máquina desprezando o ciclo após abastecimento (1ª linha da tabela), obtém-se um valor médio de consumo de $258,4Wh$ ¹. Multiplicando pelo custo do kWh, resulta em aproximadamente 0,04€/h. Facilmente se calcula que o custo estimado é de 1€/dia, 30€/mês.

¹ $349 \times 0,7 + 47 \times 0,3 = 258,4Wh$

O sistema de refrigeração apresentado na Figura 5.2 utiliza o princípio de *Peltier*. Hoje em dia existem mini frigoríficos portáteis que usam o princípio de *Peltier* como meio de refrigeração. Recorrendo a um mini frigorífico com uma capacidade de 12L, que opera a 12V/4A foram efetuadas leituras da temperatura ao longo do tempo. Na Figura 5.2 pode ser observado o aparelho utilizado para testes, disponível no IT.



Figura 5.2: Mini frigorífico

Pretende-se alimentar o mini frigorífico por forma a operar na sua máxima eficiência, pelo que foi utilizada uma fonte de laboratório com capacidade de fornecer até 30A, embora apenas se tenha conseguido fornecer 75% da potência dos valores máximos esperados, o que se deduz que seja um limiar de segurança por parte do fabricante.

Os dados obtidos foram os apresentados de seguida no gráfico da Figura 5.3 com o mini frigorífico alimentado a 12V/2.5A. O gráfico mostra a evolução da temperatura ao longo do tempo.

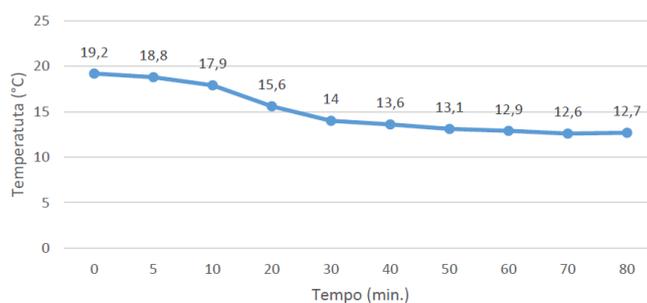


Figura 5.3: Variação da temperatura ao longo do tempo

A temperatura foi medida com recurso a um sensor de temperatura LM35DT, com 0,5°C de precisão a 25°C [22], colocado em contacto com o fundo do frigorífico. A leitura dos valores de temperatura foram efetuados recorrendo a um microcontrolador PIC16f877a [8], onde o sinal analógico, depois de adquirido, foi convertido num sinal digital que foi processado para permitir obter os valores de temperatura lidos pelo sensor. O circuito desenvolvido para este efeito pode ser consultado no apêndice A, no qual está presente a componente para leitura de temperatura mas também um teste entre dois módulos de produtos, cuja seleção do mesmo

é efetuada através de um botão que o identifica através de um LED (*Light Emitting Diode*). O outro botão vai atuar no trinco correspondente ao LED selecionado.

Com o apoio da Tabela 5.2 pode-se concluir que ao fim de 80 min., a diferença de temperatura entre o ambiente e o interior do frigorífico é de aproximadamente 6,5°C. Ocorreu um ligeiro aumento da temperatura ambiente durante a realização dos testes, e a temperatura no interior do frigorífico baixou para 12,7°C após a realização do teste. É importante referir também que foram colocadas 6 latas de bebidas dentro do frigorífico à temperatura ambiente.

Tabela 5.2: Temperaturas no início e fim do teste de refrigeração

Início		Ao fim de 80 min...	
Temp. Ambiente (°C)	19,8	Temp. Ambiente (°C)	20,2
Temp. Interna (°C)	19,2	Temp. Interna (°C)	12,7

Por forma a realizar um dimensionamento de um sistema de refrigeração, alguns pontos são determinantes, sendo alguns deles:

- Qual a massa/quantidade de produtos a refrigerar?
- A que condições de temperatura ambiente a máquina vai ser submetida?
- Qual o valor de temperatura pretendido?

Assumindo que se pretende refrigerar uma quantidade de 15 latas de refrigerante para uma temperatura de 5°C, que quantidade de energia vai ser necessária remover?

Sabendo que cada lata pesa cerca de 0,375Kg e a temperatura ambiente é de cerca de 35°C têm-se que :

$$\Delta T = 35 - 5 = 30^{\circ}C \text{ e que } m = 0,375Kg$$

A quantidade de calor (Q) trocada (recebida ou perdida) por um corpo pode ser expressa em calorías e, desde que não ocorra mudança de estado, pela seguinte fórmula, conhecida por Equação Fundamental da Calorimetria:

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (5.1)$$

Em que c é o calor específico² ($c_{H2O}=4200 \text{ J/Kg} \cdot ^{\circ}C$ a 25°C), m a massa (Kg) e ΔT a diferença de temperatura (°C). Substituindo na equação vem:

$$Q = 15 \times 0,375 \times 4200 \times 30 = 708,75KJ \simeq 169,28Kcal$$

²Água porque é a que tem características mais próximas dos refrigerantes

Daqui pode-se concluir que um sistema de refrigeração com, por exemplo, uma capacidade de refrigeração de 30kcal/h, partindo do princípio que as latas estão à temperatura de 35°C (ambiente) irá demorar perto de 5/6h a atingir a temperatura de aproximadamente 5°C, o que apresenta muitas desvantagens. Por outro lado, se as latas forem distribuídas a uma temperatura de 10°C este valor mais rapidamente se atinge. E ainda, se a capacidade de refrigeração do elemento refrigerador for aumentada, o tempo até atingir a temperatura pretendida também diminui.

Relativamente à refrigeração da máquina, é importante efetuar uma análise entre o sistema de refrigeração mais usual, o sistema por compressão, e o novo elemento objeto de estudo, o sistema desenvolvido por *Peltier*. É possível a aplicação de um destes dois sistemas na parte fixa do módulo dispensador de produtos. O facto de se apostar no sistema de *Peltier* deve-se principalmente à sua utilização em pequenas áreas de refrigeração e os valores de temperatura baixos que conseguem atingir, além de ser um elemento pequeno e compacto, que não causa impacto ambiental, barato e não necessita de manutenção. Todavia o sistema apresenta a desvantagem de ser necessária uma fonte de maior potência, e consequentemente consumos mais elevados.

Os testes realizados permitiram afirmar que, se com um consumo de 30W foi possível atingir os 12,7°C, ou seja, uma diferença de 6,5°C em relação à temperatura ambiente (19,2°C), então com um elemento capaz de fornecer 60W os valores atingidos serão próximos dos 6°C, uma temperatura próxima dos valores típicos num sistema de refrigeração. Isto apenas se verifica atendendo a que o volume do mini frigorífico (12000cm³) é semelhante ao volume do módulo. Tendo as máquinas atuais um consumo próximo dos 260Wh, esta nova máquina com quatro elementos de *Peltier* (quatro variedades de produtos) em regime estacionário, facilmente atinge esse valor de consumo.

5.4 Resultados da comunicação CAN

Para realizar os testes de CAN houve necessidade de recorrer à placa DETPIC32, que contém o microcontrolador PIC32MX795F512H [9]. No caso deste PIC suporta CAN 2.0B, pelo que pode aceitar um dos dois formatos anteriormente referidos.

Relativamente à parte experimental, os testes de comunicação realizados consistiram inicialmente no envio de um valor de uma variável incrementada a cada ciclo entre os dois microcontroladores, por forma a verificar se ocorrem falhas na comunicação CAN, durante algum tempo (aproximadamente 1 dia), o que não se verificou.

Outro teste posterior consistiu na troca de mensagens entre o MD e o MI, conforme a estrutura apresentada na Figura 4.15. O resultado obtido e lido no MI pode ser consultado na Figura 5.4.

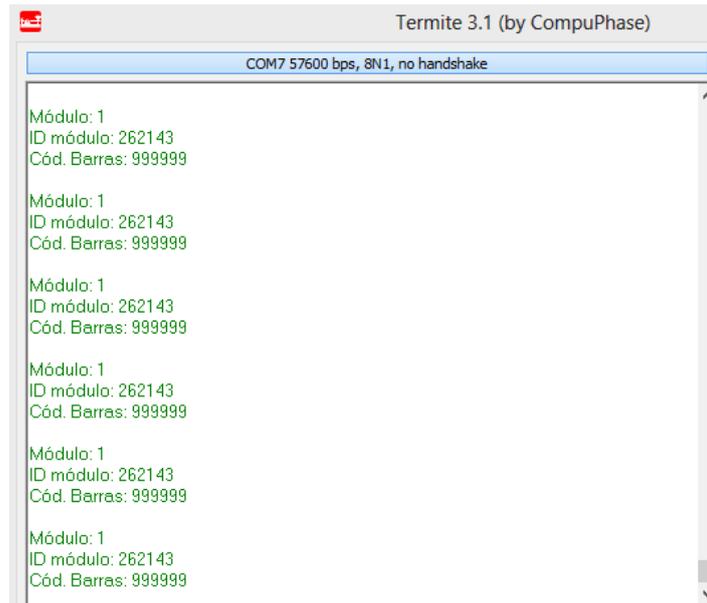


Figura 5.4: Comunicação entre o MD e o MI

Pode-se observar que o campo Módulo contém o número 1 (MD), o ID módulo apresenta o valor de 262143 (ID de valor máximo) e o Cód. Barras o valor de 999999 (valor numérico mais elevado para codificar uma bebida), considerando os últimos 6 dígitos do código EAN-13. Os dados enviados não contêm nenhuma informação relativamente ao local da máquina, todavia existem *bits* disponíveis para o envio dessa informação, dependerá da forma como será efetuada a gestão da máquina.

Atualmente é bastante útil o operador da máquina saber exatamente o local, o módulo e a bebida associada a ao mesmo, para que assim tenha conhecimento do nível de *stock*, temperaturas dos módulos e volume de facturação, por forma a supervisionar todos os seus equipamentos.

Capítulo 6

Conclusões e trabalho futuro

A área do *vending* assume-se como um setor em crescimento, visto oferecer inúmeras vantagens quer para o consumidor quer para os operadores. De facto, a possibilidade de distribuir quase a qualquer hora em qualquer local é muito atrativa e a possibilidade de oferecer preços baixos nos produtos ao evitar mão de obra intensiva também é uma significativa vantagem.

Para além das identificadas, a chave do *vending* passa por atrair/chamar a atenção do consumidor e por lhe facilitar a vida. A utilização de écrans pode permitir uma interface mais amigável e apelativa, o conhecimento dos consumos do utilizador podem permitir apresentar-lhe logo os produtos que este mais gosta. Por sua vez, tecnologias como RFID, NFC, Wi-Fi ou biometria permitem ao utilizador interagir com a máquina sem a necessidade do uso de métodos de pagamento convencionais com numerário. As formas de pagamento *contactless* surgem no desenvolvimento das tecnologias M2M, sendo cada vez mais utilizadas.

Atualmente é comum encontrarem-se máquinas de *vending* cuja extração do produto se verifica através de uma mola disposta na horizontal, sendo cada mola acionada por um motor de passo que roda “x” graus para o produto cair.

Neste trabalho apresentou-se um novo conceito de máquina que vai muito nas direções apontadas, sendo apelativa, simples de utilizar, escalável, fácil de recarregar e eficiente energeticamente. Um dos elementos chave é o módulo dispensador construído que serviu como prova de conceito. O mecanismo de extração desenvolvido para esse módulo evita o uso de um motor por cada mola, apenas utilizando um trinco que necessita de energia para fazer recuá-lo, num curto espaço de tempo, tempo suficiente para que o mecanismo rode 90°. O módulo construído serviu também para ensaiar o referido sistema de trinco, mostrando que ele é viável.

Um dos pontos críticos da máquina poderá ser a refrigeração. Para esta propõe-se um sistema termoelétrico de *Peltier* por módulo por questões de espaço. No entanto, esta solução pode ser dispendiosa no que se refere aos consumos necessários para manter os produtos a uma temperatura a rondar os 5°C. Para atenuar esse problema propôs-se um sistema em que a máquina é carregada por cartuchos que serão transportados pelo operador que carrega a

máquina, em vez de ter de carregar os produtos um a um. Para evitar o consumo excessivo de energia até atingir a temperatura pretendida, estes cartuchos poderiam ser transportados a valores de temperatura próximos dos que vão ser comercializados. Isto faria com que o sistema de refrigeração apenas tivesse de se encarregar de manter a temperatura desejada, podendo ser utilizado um elemento com maior superfície de contacto e mais potência para esse efeito.

Embora o sistema de *Peltier* tenha um consumo superior em relação ao sistema de refrigeração por compressor, para uma variedade superior a quatro módulos de produtos, as suas vantagens classificam-no como um elemento de refrigeração bastante em conta para pequenos volumes de refrigeração.

O processo de armazenamento na vertical e o gradiente térmico nos módulos que contêm os produtos permite que o próximo produto a disponibilizar seja entregue à mínima temperatura possível.

A distribuição e a interface com o utilizador são da responsabilidade do módulo de interface e de gestão. Este constitui-se como um elemento atrativo para o utilizador, não só pela facilidade com que o utilizador pode efetuar o pagamento mas também pela forma como seleciona o produto a partir do ecrã. O processo de carga de cada cartucho utiliza uma técnica de “*plug & play*” potenciada pelo uso de um barramento CAN por onde é enviada informação ao módulo de interface e gestão de forma automática, para que este fique a conhecer o ID do cartucho e o código de barras do produto que este contém. Com esta informação o módulo pode ir pesquisar dados sobre o produto a um servidor, tais como a imagem e o preço.

Para demonstrar a viabilidade da construção da máquina foram desenvolvidos, além das peças mecânicas, estudos relativos a forças exercidas pelos produtos no sistema de extração, testes do trinco, circuitos para vários detetores e circuitos para interligação dos módulos. Os ensaios de funcionamento permitem concluir que a máquina é realizável.

Refira-se que a colaboração com o Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro teve muita influência na matutação do conceito e ainda lançou algumas pistas para o trabalho futuro.

6.1 Trabalho futuro

Ao longo da dissertação várias foram as temáticas abordadas passando por diversas fases. Foram debatidas ideias, foi estabelecido um plano, foram implementadas soluções, realizados alguns testes, tudo para atingir um objetivo, o desenvolvimento de um novo conceito de máquina de *vending* . As ideias foram apresentadas mas nem todas testadas.

A primeira tarefa para trabalho futuro consiste em desenvolver novos protótipos mais próximos de uma versão final da parte mecânica e novos circuitos para o sistema de controlo do cartucho e para o módulo de interface e gestão.

Terá de ser também integrada/desenvolvida a ligação ao servidor para permitir o pagamento e a seleção de produto. A primeira parte pode ser facilmente obtida por integração

com as soluções da empresa Micro I/O.

Terá de se desenvolver também mais o sistema de refrigeração. Por um lado pretende-se avançar com a solução com base em *Peltier* a qual pode utilizar controladores de temperatura termoeletrônicos digitais já existentes ou utilizar um sistema de controlo desenvolvido especificamente. Tal permitirá diminuir os consumos necessários à refrigeração, controlando a temperatura a partir de um *setpoint* entre dois limites estabelecidos. Por outro lado, e com o apoio de um parceiro industrial já identificado e com o qual já existiu um contacto preliminar, pretende-se ensaiar soluções com base em sistemas de refrigeração convencionais já que parece ser viável a sua implantação no volume pretendido.

A máquina terá posteriormente de ser objeto de testes de usabilidade para verificar se os consumidores aderem ao sistema. Apresentando-se o *vending* como um setor que pretende cativar o consumidor, a máquina de *vending* poderá conter um dispositivo sonoro que quando deteta a presença de alguém em seu redor, emite sons de chamada de atenção. Claro que esse som dependerá do tipo de produto que comercializa e do local onde vai ser instalada. Esta questão da usabilidade constituirá uma linha importante de trabalho futuro, em conjunto com especialistas de *design*.

Outro tipo de melhoramento passaria ainda pelo desenvolvimento de uma aplicação móvel para o operador da máquina, com o objetivo de consultar o estado da máquina (*stock* de produto, temperatura, ...). Toda a informação será disponibilizada ao operador possuindo a máquina uma ligação à Internet, integrando assim, já em curso, na designada IoT (*Internet of Things*).

Referências

- [1] Aplicacoes 1-wire. Acedido em: <http://it.emcelettronica.com/owfs-file-system-linux-i-dispositivi-1-wire>, 22 04 2014.
- [2] Bitcoin value sinks after chinese exchange move. Acedido em: <http://www.nytimes.com>, 12 04 2014.
- [3] Bluetooth low energy technology isn't just another bluetooth revision. Acedido em: <http://www.connectblue.com/press/articles/>, 15 03 2014.
- [4] Caracteristicas do poliuretano e poliestireno. Acedido em: <http://www.ecocasa.pt>, 14 04 2014.
- [5] Cashless: novos horizontes. Acedido em: <http://www.hostelvending.com.pt/hemeroteca>, 6 05 2014.
- [6] Ciclo de refrigeracao. Acedido em: <http://en.wikipedia.org/wiki/>, 26 03 2014.
- [7] Corporate nespresso machine. Acedido em: <http://www.nespresso.com/pt/pt/home>, 16 04 2014.
- [8] Datasheet pic16f877a. Acedido em: <http://www.microchip.com>, 3 04 2014.
- [9] Datasheet pic32mx795f512h. Acedido em: <http://www.microchip.com>, 12 05 2014.
- [10] Demonstracao de pagamento via nfc. Acedido em: <http://money.cnn.com/technology/>, 18 03 2014.
- [11] Global intelligent vending machines market 2014-2018. Acedido em: <http://www.technavio.com/report/global-intelligent-vending-machines-market-2014-2018>, 25 02 2014.
- [12] Google wallet. Acedido em: <http://www.google.com/wallet/>, 16 04 2014.
- [13] Inicio, os inventores do vending. Acedido em: <http://inventors.about.com/od/uvstartinventions/a/vending.htm>, 25 02 2014.
- [14] Introduction to the controller area network (can). Acedido em: <http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf>, 20 05 2014.

- [15] Invention story of vending machine. Acedido em: <http://www.engineersgarage.com/invention-stories/vending-machine-history>, 27 02 2014.
- [16] Nova solucao interativa. Acedido em: <http://www.hostelvending.com.pt>, 19 03 2014.
- [17] O rfid e a gestao. Acedido em: <http://www.microio.pt/>, 12 03 2014.
- [18] Overview of vending machine interfaces. Acedido em: <http://www.vending-europe.eu/eva>, 6 03 2014.
- [19] Peltier guide. Acedido em: <http://www.heatsink-guide.com/peltier.htm>, 21 03 2014.
- [20] Protocolos desenvolvidos e adotados. Acedido em: <http://www.nayax.com/en/support/protocols.html>, 14 03 2014.
- [21] Refrigeration machines. Acedido em: <http://www.machine-history.com>, 24 03 2014.
- [22] Sensor de temperatura lm35. Acedido em: <http://www.alldatasheet.com>, 11 04 2014.
- [23] Teoria da gravitacao universal. Acedido em: <http://www.infoescola.com/fisica/lei-da-gravitacao-universal/>, 22 03 2014.
- [24] Thermoelectric refrigeration. Acedido em: <http://www.koolatron.com>, 26 03 2014.
- [25] Tipos de codigo de barras. Acedido em: <http://www.gs1.org/barcodes/technical>, 26 05 2014.
- [26] Tutorial 1-wire. Acedido em: <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1796>, 22 04 2014.
- [27] Tutorial de comunicacao i2c. Acedido em: <http://www.microchip.com>, 24 04 2014.
- [28] Vending e seus beneficios. Acedido em: <http://www.henriserra.pt/hs/vantagens-do-vending>, 20 03 2014.
- [29] Vending purchase process. Acedido em <http://www.rollcomm.com/pay.html>, 16 03 2014.
- [30] Zigbee applications. Acedido em: <http://www.ti.com/>, 15 03 2014.
- [31] Zigbee specification overview. Acedido em: <http://www.zigbee.org>, 14 03 2014.
- [32] Carlos Eduardo Vieira Amador. Ap wifi/zigbee para suporte a localizacao baseada em redes sem fios. Master's thesis, DETI - Universidade de Aveiro, 2010.
- [33] Marco Filipe da Fonseca Coutinho. Controlo de temperatura do cimento osseo na artroplastia cimentada. Master's thesis, DEM - Universidade de Aveiro, 2010.
- [34] Patrick J. Sweeney II. *RFID for dummies*. Wiley Publishing, Inc, 2005.

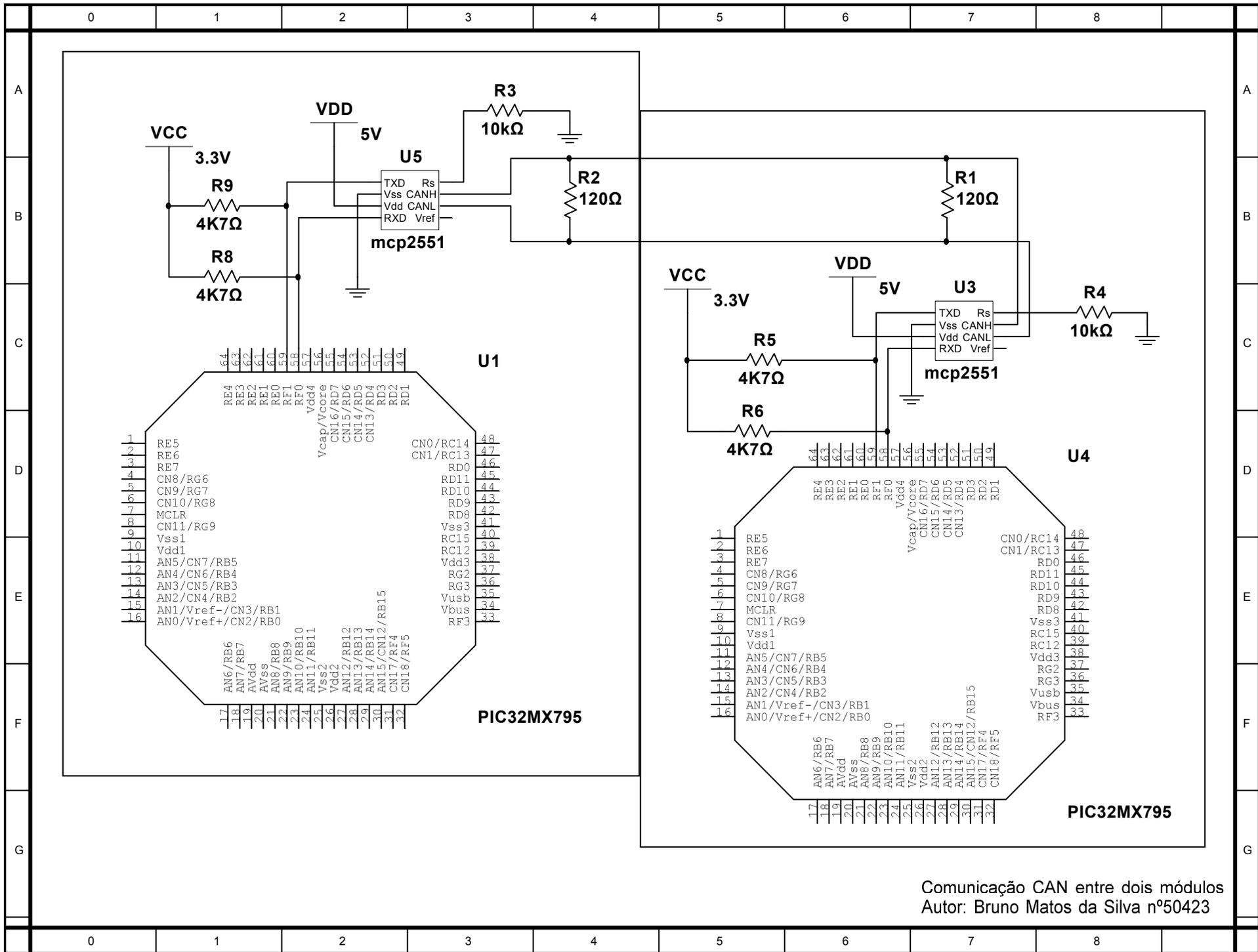
- [35] John Drexheimer Robert Hanneman Jim Brazell, Laurel Donoho and George Langdon. *M2M: The Wireless Revolution*. Texas State Technical College, 2005.
- [36] DongBack Seo. *The 2G (Second Generation) Mobile Communications Technology Standards, Chapter 6*. Hansung University, South Korea, 2013.

Appendix A

Circuito para leitura de temperatura e atuação dos trincos

Appendix B

Circuito da comunicação CAN entre dois módulos



Comunicação CAN entre dois módulos
 Autor: Bruno Matos da Silva nº50423

Appendix C

Circuito para deteção de lata

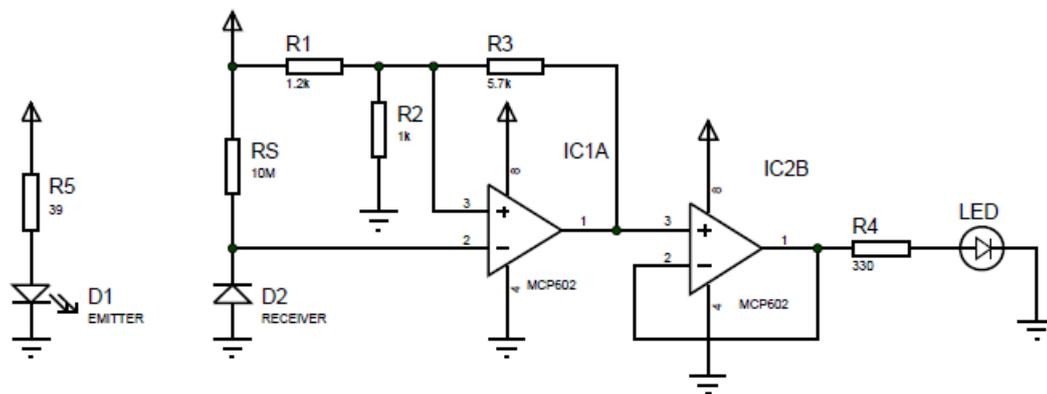


Figura C.1: Circuito para deteção de produto