



**David Alexandre
Oliveira Barroso**

**MobiFree Echo: Detecção de Obstáculos para Cegos
com Ultrassons**



**David Alexandre
Oliveira Barroso**

**MobiFree Echo: Detecção de Obstáculos para Cegos
com Ultrassons**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José Manuel Neto Vieira e do Professor Doutor Carlos Alberto da Costa Bastos, ambos Professores Auxiliares do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família e à minha namorada pelo apoio incondicional que me deram ao longo destes seis anos.

o júri

presidente

Prof. Doutor Rui Manuel Escadas Ramos Martins

Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da
Universidade de Aveiro

vogal - arguente principal

Prof. Doutor José Carlos Silva Cardoso

Professor Associado do Departamento de Engenharias da Escola de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

vogal - orientador

Prof. Doutor José Manuel Neto Vieira

Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da
Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao Professor José Vieira e ao Professor Carlos Bastos, agradeço por todas as discussões estimulantes e por todos os conselhos que me deram e que foram preciosos para a escrita desta dissertação.

Agradeço aos meus pais por todo o esforço feito para me proporcionarem a possibilidade de prosseguir os meus estudos e chegar até ao fim desta etapa. À minha irmã, por estar sempre presente em todos os momentos e por todos os conselhos que sempre me deu.

À Ana Cláudia, pelo apoio incondicional e pelo amor que sempre demonstrou. Ao Gitó, pelo companheirismo, pela amizade e pelo seu auxílio em todos os momentos desta etapa académica.

Ao André Ramos e ao Richard Soares, por todos os momentos que partilhámos neste longo percurso e que tornaram este caminho mais fácil.

Aos meus amigos, por todas as horas em que me incentivaram e auxiliaram a enfrentar as dificuldades e os desafios.

palavras-chave

cegueira, detecção de obstáculos, altifalante paramétrico, ultrassons, ecolocalização.

resumo

As pessoas portadoras de deficiência visual utilizam o sentido auditivo como auxiliar para a identificação e navegação no espaço envolvente. Contudo, são raros os casos em que os invisuais conseguem usar o seu sentido auditivo como meio para detecção de obstáculos, através do eco que certos ruídos possam gerar. Existem casos descritos de pessoas que conseguem usar eco localização para fazer esta detecção de obstáculos com recurso ao som de arrastar os sapatos quando andam, por exemplo.

Do ponto de vista físico, o comprimento de onda dos sinais audíveis é demasiado elevado e assim desadequado para detetar objetos com dimensões reduzidas, para além do facto de serem sons pouco direccionais.

A abordagem descrita nesta dissertação passa pelo uso de um altifalante paramétrico. Com este altifalante, que consiste num agregado de emissores de ultrassons, e utilizando uma modulação em fase ou de amplitude de uma portadora de ultrassons, obtém-se um sinal audível. Este sinal continua a ter as características de direccionalidade e de reflexão em obstáculos de dimensões reduzidas, e uma vez que é possível ouvir o sinal modulante os cegos podem usar todas as suas capacidades auditivas para a eco localização.

Foi concebido um sistema portátil para usar o altifalante paramétrico alimentado a bateria, e foi testado com invisuais. Nestes testes, os invisuais confirmaram que a eco localização pode ser utilizada em determinados cenários e com restrições a nível dos objetos detetados, sendo que o treino se mostra determinante para o desenvolvimento desta capacidade.

keywords

blindness, obstacle detection, parametric speaker, ultrasound, echolocation.

abstract

Traditionally, a blind person uses audition to navigate on his or her own environment. However important, it is uncommon for them to be able to use audition to detect an obstacle, using the echo produced by some noises.

There are some cases of people that can use echolocation to do obstacle detection with the noise produced while they are walking. Nonetheless, the wavelength of the audible signals is too high and it is not proper to detect small objects. Besides, regular audible signals are not directive enough.

This dissertation describes the development and validation of a parametric speaker as an assistive technology for a blind person to effectively detect the obstacles on his or her surroundings. This speaker consists on an array of ultrasonic transducers that through the use of phase or amplitude modulation, generates an audible sound. This sound is still highly directional, reflects on small objects and enables blind people to hear the modulating signal and therefore use it as an echolocation tool.

In order for a visually impaired person to use this parametric speaker independently, a portable system was designed. This system was tested in a real environment, with a group of visually impaired users, which validated the system as a proficient echolocation tool that can be used in some scenarios with some restrictions on object's shape and size. It was also seen the importance of training the echolocation ability.

ÍNDICE

	Página
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – A CEGUEIRA	3
2.1 – PROBLEMA: CEGUEIRA: ENQUADRAMENTO	3
2.2 – MEIOS EXISTENTES PARA AUXÍLIO A INVISUAIS	6
2.2.1 – Bengala	6
2.2.2 – Cão guia	7
2.2.3 – Sistemas Electrónicos de Detecção de Obstáculos para Invisuais	8
2.2.3.1 – Sistema Navbelt	9
2.2.3.2 – Sistema Voice	10
2.2.3.3 – Projeto da Universidade de Estugarda – Alemanha	11
2.2.3.4 – Sistema Virtual Acoustic Space	12
2.2.3.5 – Projeto da Universidade de Guelph	13
2.2.3.6 – Echolocation	14
3 – ALTIFALANTE PARAMÉTRICO COM ARRAY DE ULTRASSONS	15
3.1 – DIRECTIVE PARAMETRIC SPEAKER	15
3.1.1 – Ultrassons	15
3.1.2 – Não Linearidades do ar e o Modelo de Berklay	18
3.2 – MODULAÇÕES	19
3.2.1 – AM-DSB	19
3.2.2 – Modulação FM e PM	22
3.2.2.1 – Propriedades de FM (1 tom) para um Índice de Modulação Arbitrário β	24
3.2.3 – Testes de funcionamento do altifalante paramétrico	28
3.2.3.1 – Análise de Resultados	32
4 – MOBIFREE - SISTEMA DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO DE CEGOS	37
4.1 – INTRODUÇÃO	37
4.2 – MOBIFREE ECHO	39
4.2.1 – Projeto do Circuito de Drive do Altifalante	41
4.2.1.1 – Circuito de Bootstrap	44

4.2.1.2 – Dimensionamento do Condensador de Bootstrap	45
4.2.1.3 – Dimensionamento da Resistência de Bootstrap.....	47
4.2.1.4 – Resistências e Díodos na Gate dos Transístores.....	47
4.2.1.5 – Interface entre a Saída do MSP e a Entrada do FAN7382	48
4.2.2 – Teste do Circuito de Drive do Altifalante.....	50
4.3 – CONCEÇÃO DO SISTEMA PORTÁTIL.....	56
4.3.1 – MSP430.....	56
4.3.2 – Alimentação 3.3V.....	58
4.3.3 – Alimentação 12V.....	59
4.3.4 – Carregamento da Bateria	62
4.3.5 – SD Card	64
5 – TESTES COM CEGOS	65
5.1 – AMBIENTE DE TESTES	65
5.2 – PROTOCOLO DA EXPERIÊNCIA	66
5.3 – TESTES EFETUADOS.....	69
5.4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
6 – CONCLUSÕES.....	73
BIBLIOGRAFIA	75
ANEXOS.....	79
ANEXO A – ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO.....	80
ANEXO B – CARREGADOR DA BATERIA	81
ANEXO C – MSP430	82
ANEXO D – ANDAR DE AMPLIFICAÇÃO.....	83
ANEXO E – CARTÃO SD.....	84
ANEXO F – TOP LAYER.....	85
ANEXO G – BOTTOM LAYER.....	86
ANEXO H – MODELO 3D DO SISTEMA MOBIFREE ECHO.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Organização Mundial de Saúde: Causas de Cegueira [5].	4
Figura 2 – Bengala longa, branca com ponta vermelha [9].	6
Figura 3 – Cão Guia [13].	8
Figura 4 – Navbelt [18].	10
Figura 5 – Sistema Voice [19].	11
Figura 6 – Protótipo desenvolvido pela Universidade de Estugarda[11].	11
Figura 7 – Virtual Acoustic Space [21].	12
Figura 8 – Protótipo elaborado pela Universidade de Guelph [11].	13
Figura 9 – Classificação dos Sons [22].	15
Figura 10 – Representação esquemática de um transdutor de ultrassons [23].	16
Figura 11 – Sonar numa embarcação [25].	17
Figura 12 – Ecografia [26].	17
Figura 13 – Modulação em Amplitude - AM (DSB com portadora) [29].	20
Figura 14 – Ilustração do domínio do tempo (à esquerda) e domínio da frequência (à direita); a) Onda modulante; b) Onda portadora; c) Onda modulada em AM [28].	21
Figura 15 – Espectros do sinal mensagem (a) e (b) sinal modulado em amplitude [28].	22
Figura 16 – Funções de Bessel de 1ª ordem [28].	24
Figura 17 – Espectro discreto de uma onda FM, normalizado em relação à amplitude da portadora desmodulada, para o caso de modulação sinusoidal com frequência fixa e amplitude variável [28].	27
Figura 18 – Espectro discreto de uma onda FM, normalizado em relação à amplitude da portadora[28] desmodulada, para o caso de modulação sinusoidal com frequência variável e amplitude fixa.	28
Figura 19 – Teste do Altifalante Paramétrico: Emissão.	29
Figura 20 – Teste do Altifalante Paramétrico: Recepção.	29
Figura 21 – Espectro do Sinal Emitido modulado em amplitude.	30
Figura 22 – Espectro do Sinal Captado pelo Microfone.	31
Figura 23 – Medição a 1 Metro: a) Modulação AM b)Modulação PM.	33

Figura 24 – Medição a 1 Metro e 0° - Chirp com Modulação PM.....	33
Figura 25 – Medições a 2 metros e 0°: a) Modulação AM b)Modulação PM.....	34
Figura 26 – Medição a 2 Metros e 0°: Chirp com Modulação PM.....	34
Figura 27 – Medições a 3 metros e 0°: a) Modulação AM b)Modulação PM.....	35
Figura 28 – Medição a 3 Metros e 0° - Chirp com Modulação PM.	35
Figura 29 – Dispositivos MobiFree: a) MobiFree Cane b) MobiFree Echo c) MobiFree Sunglasses [30].	37
Figura 30 – Diagrama de Blocos da MobiFree Cane [11].	38
Figura 31 – Altifalante Nicera AS050A[31].	40
Figura 32 – Diagrama de Blocos do Sistema.	40
Figura 33 – Circuito Half-Bridge com o Mosfet Driver FAN7382 [20].	42
Figura 34 – Diagrama de Blocos interno do circuito FAN7382 [20].	43
Figura 35 – Input/Output Timing Diagram [32].	43
Figura 36 – Circuito de Bootstrap [20].	44
Figura 37 – Inversor com BJT.....	48
Figura 38 – Circuito com saída inversora e não inversora, com BJT.....	49
Figura 39 – Simulação do inversor com BJT.	49
Figura 40 – Esquema do circuito final de teste.	50
Figura 41 – Circuito montado em placa branca para testes em laboratório.	50
Figura 42 – Tensão de Alimentação do circuito: 15V.....	51
Figura 43 – Onda do gerador de sinal (canal 1) vs. Entrada Hin (canal 2).	51
Figura 44 – Entrada Hin (canal 1) vs. Entrada Lin (canal 2).	52
Figura 45 – Entrada Hin (canal 1) vs. Lin (canal 2).	52
Figura 46 – Onda do gerador de sinal (canal 1) vs. Entrada Lin (canal 2).	52
Figura 47 – Entrada Hin (canal 1) vs. Saída LO (canal 2).	53
Figura 48 – Entrada Hin (canal 1) vs. Saída HO (canal 2) com condensador de desacoplamento.	53
Figura 49 – Circuito com Full Bridge.	54
Figura 50 – Tensão aos terminais do Altifalante usando VCC=10V.....	55
Figura 51 – Tensão na base dos transístores high-side com VCC=10V.	55
Figura 52 – Tensão na base dos transístores low-side com VCC=12V.	56
Figura 53 – Circuito de aplicação do MSP430 no sistema.....	57

Figura 54 – Circuito de aplicação típica da família de reguladores TI TPS783 [34].	59
Figura 55 – Circuito do regulador TI TPS55340 na topologia Boost [35].	60
Figura 56 – Diagrama de Blocos Interno do TI TPS55340 [35].	61
Figura 57 – Carregador de baterias de lítium com o TI BQ24040 [36].	62
Figura 58 – Fases de Carregamento da Bateria [36].	63
Figura 59 – Application Report SD CARD MSP430 [37].	64
Figura 60 – Planta do 3º Piso do DETI.	65
Figura 61 – Planta do 3º piso do DETI com o trajeto e numeração das portas (vermelho), posição dos obstáculos (verde) e posição da Câmara de Vídeo (amarelo).	67
Figura 62 – Exemplo da utilização do script Matlab para definir o cenário experimental de forma aleatória.	69
Figura 63 – Teste do sistema com o colaborador número 1.	70
Figura 64 – Teste do sistema com o colaborador número 2.	70
Figura 65 – Detecção de um obstáculo no teste do sistema, colaborador número 2.	71

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Classificação da Deficiência Visual [3].....	3

1 – INTRODUÇÃO

A deficiência visual define uma situação irreversível de diminuição da resposta visual, podendo ter uma origem congénita ou hereditária, mesmo após tratamento clínico e uso de óculos convencionais [1].

A maior parte das pessoas portadoras de deficiência visual utiliza o sentido auditivo como auxiliar para a identificação e navegação no espaço envolvente. Contudo, são raros os casos em que os invisuais conseguem usar o seu sentido auditivo como meio para detecção de obstáculos, através do eco que certos ruídos possam gerar. Existem casos descritos de pessoas que conseguem fazer esta detecção de obstáculos com recurso ao som de arrastar os sapatos quando andam, por exemplo.

Ben Underwood (1992, 2009) enfrentou um diagnóstico de cancro na retina quando tinha apenas 2 anos, sendo que aos 4 anos de idade lhe tinham sido retirados ambos os olhos. Com 5 anos, Ben desenvolveu a capacidade de usar a localização por eco, usando para isso estalidos produzidos com a língua. Era capaz de localizar objetos, praticar vários desportos e até andar de skate. Ben Underwood faleceu aos 16 anos, vítima do cancro que lhe havia sido detectado. Este caso foi retratado num filme "Imagine" do realizador polaco Andrzej Jakimowski, justamente depois de este conhecer Ben e de se sentir inspirado pelo seu exemplo de vida.

Olhando para este fenómeno a partir do ponto de vista físico, sabemos que à partida o comprimento de onda dos sinais audíveis é demasiado grande para detectar objetos com dimensões reduzidas, além do facto de serem sons pouco direccionais.

Esta aptidão é também muito difícil de adquirir, sendo assim difícil de generalizar uma solução baseada neste fenómeno para todos os invisuais.

Tendo como inspiração o mecanismo biológico dos morcegos e o sonar, foram desenvolvidos vários sistemas de localização de obstáculos no campo da investigação científica, que emitem sinais de alerta. Por diversos motivos, nunca foram bem sucedidos junto da comunidade de invisuais. Têm um custo elevado, usam na sua maioria sinais acústicos que interferem com o sentido auditivo dos cegos e não permitem fazer uma detecção correta dos obstáculos.

Usando ultrassons, os cegos não conseguem usar esta capacidade diretamente visto que não conseguem ouvir os mesmos. Esta abordagem já foi utilizada num sistema em que

o cego transporta dois receptores (esquerdo e direito) de ultrassons, usando um sistema de processamento de sinal para deslocar a frequência destes sinais para a banda audível. No entanto esta abordagem tem a desvantagem de o cego perder o efeito acústico provocado pelos pavilhões auriculares no som recebido, ficando a capacidade de localização dos cegos limitada.

Uma possível abordagem inovadora para este problema pode passar por utilizar um altifalante paramétrico. Com este altifalante, que consiste num agregado de emissores de ultrassons, e utilizando uma modulação em fase ou de amplitude de uma portadora de ultrassons, conseguimos obter um sinal audível. O sinal audível produzido é muito direcional comportando-se como uma "lanterna de som". Deste modo o cego pode dirigir o feixe acústico para uma determinada zona do seu espaço envolvente, e caso ouça um eco sabe que nessa zona está um obstáculo. Como não é necessário usar auscultadores, o sistema auditivo dos cegos fica completamente livre como auxiliar usual na navegação dos cegos.

O objectivo desta dissertação passa por testar a eco localização com invisuais, construindo para esse efeito um dispositivo portátil. Este dispositivo integra um altifalante paramétrico e tem uma interface simples para o utilizador. Será feito um estudo do trabalho desenvolvido nesta área, dos dispositivos criados para localização de cegos e dos sinais mais adequados a esta aplicação.

2 – A CEGUEIRA

2.1 – PROBLEMA: CEGUEIRA: ENQUADRAMENTO

Segundo a Organização Mundial de Saúde, a cegueira pode ser definida como sendo a incapacidade de ver, total ou parcial. Esta não é uma definição universal, pois existem locais como Portugal onde os deficientes visuais são enquadrados na definição de cego, enquanto que noutros locais como Espanha esta designação não contém os portadores de deficiência visual [2].

Outro dado importante a registar é o facto de cerca dos 80% dos denominados cegos terem ainda alguma capacidade de visão, facto este que dá mais força ao uso da expressão "deficiência visual" para fazer a distinção da cegueira total.

Neste sentido, a Organização Mundial de Saúde propôs em 1989 a seguinte classificação da cegueira e das visões "subnormais":

Categorias da visão	Grau de deficiência	Acuidade Visual
Visão normal	Nula	0,8 ou superior
	Ligeira	menor que 0,8
Ambliopia	Moderada	menor que 0,3
	Grave	menor que 0,12
Cegueira	Profunda	menor que 0,05
	quase total	menor que 0,02
	total	ausência da percepção da luz

Tabela 1 – Classificação da Deficiência Visual [3].

Ainda no âmbito desta classificação, *Hufonnier-Clayette* refere três pontos que enquadram as implicações da deficiência visual, sendo eles:

- 1) "*Cegueira de locomoção ou prática*"
- 2) "*Cegueira legal*"
- 3) "*Cegueira profissional ou económica*"

No primeiro ponto, enquadram-se todos aqueles que já não conseguem guiar-se através da visão, sendo um indicador o facto de não conseguirem contar os dedos colocados a dois metros de distância dos olhos.

Em segundo lugar, a expressão "cegueira legal" define o patamar a partir do qual o indivíduo tem direito a ser enquadrado legalmente na categoria da deficiência visual, tendo por isso inerentes os direitos a ser auxiliado segundo a legislação em vigor no país em questão.

Por fim, a "cegueira profissional ou económica" refere-se à situação em que o portador de deficiência visual se encontra impedido de realizar um trabalho devido à sua condição, correspondendo à "acuidade 1/10 no melhor olho" [2].

A Organização Mundial de Saúde indicou em 2006 que devem ser considerados quatro níveis funcionais no que concerne à visão: visão normal, incapacidade visual moderada, incapacidade visual severa e cegueira, sendo que a incapacidade visual moderada e severa podem ser agregadas no campo da "baixa visão".

Ainda segundo os dados da Organização Mundial de Saúde (figura 1), existem cerca de 284 milhões de portadores de deficiência visual em todo o mundo, sendo 39 milhões cegos e 245 milhões portadores de baixa visão. Cerca de 90% destes portadores de deficiência visual vivem em países em vias de desenvolvimento [4].

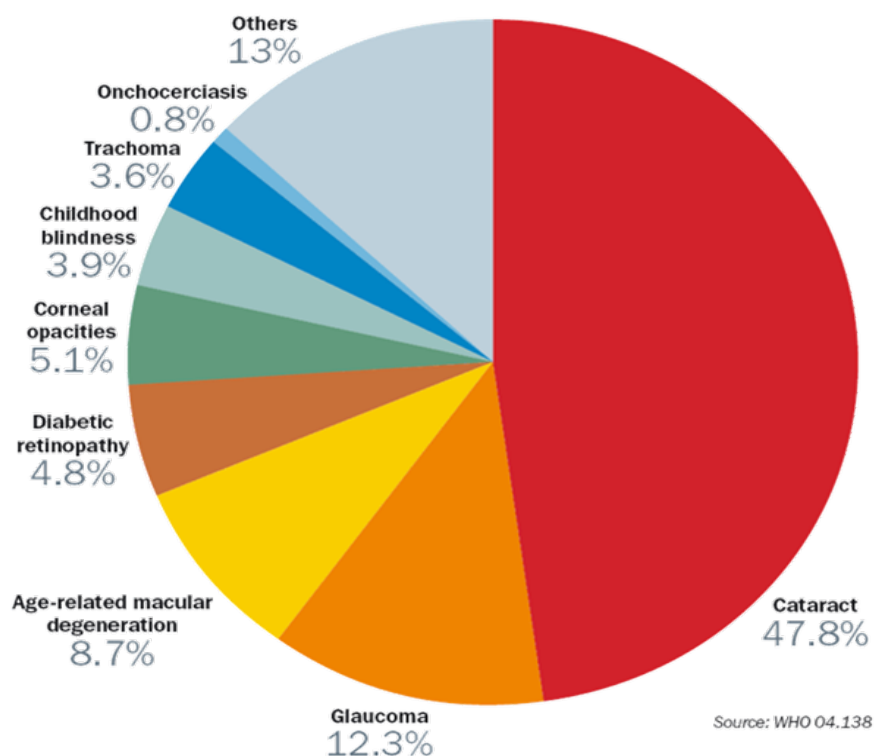


Figura 1 – Organização Mundial de Saúde: Causas de Cegueira [5].

Nos seus estudos, a Organização Mundial de Saúde aponta como principais causas de cegueira:

- 1) cataratas (maior incidência nos países subdesenvolvidos ou em vias de desenvolvimento);
- 2) glaucoma;
- 3) degeneração macular com a idade;
- 4) opacidade da córnea;
- 5) retinopatia diabética;
- 6) traucoma;
- 7) avitaminose;
- 8) causas neoplásicas [6].

Kirk e Gallagher (2002) apontam ainda como possíveis causas de cegueira:

- 1) doenças infecciosas;
- 2) acidentes e ferimentos;
- 3) envenenamentos;
- 4) influências pré-natais (inclui factores hereditários);
- 5) retinopatia da prematuridade (fibroplasia retrolental);
- 6) atrofia do nervo óptico;
- 7) albinismo [7].

O trabalho desenvolvido a nível mundial pelas diversas organizações de saúde nacionais e internacionais levou a uma grande redução dos cegos por doenças infecciosas. Ainda assim, o número de invisuais que poderiam ter sido evitados e/ou tratados continua a ser demasiado elevado, cerca de 80%.

No que diz respeito à realidade Portuguesa, o Instituto Nacional de Estatística apresentou na última realização de Censos em 2011 um retrato dos problemas de visão dos Portugueses, sendo que 19% da população (892 860 pessoas) tem muita dificuldade na visão, havendo 27 659 cidadãos que não conseguem ver mesmo com recurso a óculos ou lentes de contacto [8].

2.2 – MEIOS EXISTENTES PARA AUXÍLIO A INVISUAIS

No dia a dia, o ser humano usa os seus sentidos para retirar informação do espaço envolvente, sendo a falta de visão um fator limitador no dia a dia do invisual.

Nos últimos anos, temos assistido a uma sensibilização da sociedade e a uma integração dos cidadãos portadores de deficiência no mercado de trabalho. Neste sentido, é normal que muitos destes cidadãos pretendam construir vidas profissionais e redes sociais autónomas, que lhes permitam reduzir a dependência de outras pessoas.

No caso dos deficientes visuais, a falta de visão leva a que estes cidadãos tenham inúmeras dificuldades e entraves nas suas rotinas diárias, tendo por isso que procurar soluções que ajudem a colmatar este problema. Graças a diversas técnicas e dispositivos, estas pessoas podem deslocar-se de forma independente.

Neste capítulo será abordada a temática dos auxiliares de navegação de invisuais, desde os mais tradicionais como a bengala e o cão guia, até aos mais avançados tecnologicamente.

2.2.1 – Bengala

O meio mais utilizado para a mobilidade de invisuais continua a ser a bengala (figura 2), tendo mesmo sido escolhido como o símbolo internacional para a cegueira.



Figura 2 – Bengala longa, branca com ponta vermelha [9].

Inicialmente, a ideia subjacente ao uso da bengala era a identificação do cego, para que assumisse uma função de "sinal de trânsito" para segurança do seu utilizador enquanto peão.

O uso da bengala com cano longo permite aumentar o alcance do toque por parte do utilizador, permitindo detectar obstáculos com uma maior distância de segurança. Normalmente é usada fazendo um movimento de balanço, fazendo um varrimento na horizontal à frente do utilizador, junto ao chão, como forma de detectar os obstáculos.

No entanto, para se atingir um grau de autonomia considerável é necessário haver um treino específico, que engloba não só o manuseamento da bengala mas também a aprendizagem da arquitetura do meio envolvente, bem como da organização do trânsito [10].

Nesse sentido, torna-se necessário fazer um plano de treino tendo em conta a idade do invisual, o tipo de deficiência visual (congénita ou adquirida, baixa visão ou cegueira total) e a sua experiência anterior. É ainda importante a aquisição de um "mapa mental" que permita ao cego navegar no espaço circundante com confiança e segurança. É também feito um estímulo aos restantes sentidos visto ser essencial que o invisual interprete o máximo de informações vindas do espaço circundante, para que possa agir conscientemente enquanto transeunte [11].

No entanto, embora seja o instrumento de auxílio de concepção mais simples, mais popular, mais barato e mais fiável, tem algumas desvantagens como sendo a ausência de informação a nível da velocidade, volume, distâncias, variáveis importantes para a percepção e para o controlo da marcha [12].

2.2.2 – Cão guia

O cão guia é um cão treinado para guiar pessoas cegas ou portadoras de deficiência visual, auxiliando-os nas tarefas diárias e nos percursos realizados. São cães dóceis e extremamente fieis, que acompanham o invisual 24 horas por dia.

Deverão ser treinados para detetar e evitar perigos decorrentes de obstáculos na trajetória percorrida pelo cego (figura 3). Para iniciar este treino avançado o cão deverá ter de 10 a 30 meses de idade, garantindo assim que tem a maturidade exigida para a importante tarefa da deteção de obstáculos.



Figura 3 – Cão Guia [13].

As raças mais usadas mundialmente são o Labrador Retriever, Golden Retriever, arraçados destas duas raças, Collie e o Pastor Branco Suíço [14].

No entanto, nem todos os cães terão as características necessárias para poderem desempenhar o papel de guia para o invisual. Do mesmo modo, nem todos os invisuais se adaptam a um cão guia, sendo as necessidades do candidato analisadas de forma cuidada para fazer a correta seleção do cão a atribuir.

Tem a vantagem de poder detetar facilmente obstáculos acima da cintura, bem como permitir atravessar ruas com algum trânsito de forma segura, além do laço afectivo que une o cão ao seu dono.

No entanto, uma grande desvantagem passa pelo preço inerente ao treino e manutenção de um cão guia. Existem associações que disponibilizam cães guia gratuitamente, sendo no entanto em número muito reduzido face à procura. Segundo a associação britânica *Guide Dogs*, o custo de treino e de vida do animal ascende a cerca de 50000€ [15].

2.2.3 – Sistemas Electrónicos de Detecção de Obstáculos para Invisuais

Desde 1960, têm vindo a ser desenvolvidos por investigadores variados dispositivos de auxílio à navegação de cegos, quer seja em ambientes conhecidos ou desconhecidos, dentro e fora de casa.

Um sistema de auxílio sensorial tem como objectivo detectar e localizar objetos, dando informação que permita determinar a distância, direção, dimensão e altura dos objetos com uma dada margem de erro [16].

Os dispositivos de auxílio sensorial podem ser divididos em duas categorias: e sistemas de substituição sensorial e sistemas de suplemento sensorial.

Os sistemas de suplemento sensorial fornecem informação adicional ao invisual e assim facilitam a sua navegação, como por exemplo a detecção de um dado obstáculo no percurso, assinalando o mesmo através da emissão de um alerta sonoro. Já os sistemas de substituição sensorial apontam no sentido da substituição da visão, transformando informação visual em informação auditiva ou num alerta através do tacto, ou ainda numa combinação de dois destes sentidos. Como o sentido auditivo e o toque possuem muito menos informação do que a visão, esta informação tem de ser alvo de um processamento para que possa tornar-se perceptível ao utilizador do sistema.

Segundo a bibliografia existente, os dispositivos desenvolvidos devem seguir orientações que incluam alguns dos seguintes pontos:

- 1) Detecção de obstáculos no percurso desde o nível do solo até ao nível da cabeça;
- 2) Disponibilização de informação acerca do terreno como texturas e descontinuidades;
- 3) Distância do objecto e informação que permita projetar uma linha recta até ao mesmo;
- 4) Disponibilização de informação acerca do ambiente envolvente que permita elaborar um "mapa" mental do espaço circundante;
- 5) Características adicionais: ergonomia, ter a menor interface possível, unidade única, fiável, possibilitar a escolha da audição ou do tacto, durável, reparação fácil, robusto, dispositivo de baixo consumo de energia [17].

2.2.3.1 – Sistema *Navbelt*

O sistema *Navbelt* foi desenvolvido na universidade de Michigan como um sistema de navegação, recorrendo a um sistema portátil robótico cujo objectivo é evitar obstáculos. Foi apresentado um protótipo em 1992 (figura 4) constituído por um computador com auscultadores e sensores de ultrassons para medição de distâncias.



Figura 4 – Navbelt [18].

Os oito sensores de ultrassons enviam informação para o computador que cria um mapa de ângulos para cada um destes sensores, e mede a distância de cada objecto em cada um desses oito ângulos. Usando um algoritmo para evitar os obstáculos, são emitidos sons para o utilizador como alerta de obstáculo detectado, dependendo da seleção do modo de navegação ou de transformação de imagem. Se o modo de navegação estiver ativo, através do destino introduzido no computador, o sistema emite apitos consecutivos que permitem guiar o utilizador para a melhor direção para o seu destino, usando oito apitos de amplitudes diferentes para oito ângulos diferentes, como se tratasse de um radar. O computador efetua o processamento e transmite esse "mapa sonoro" ao utilizador através dos auscultadores.

A grande desvantagem apontada a este protótipo é o uso exclusivo de *feedback* auditivo, o tamanho e peso do dispositivo [11][18].

2.2.3.2 – Sistema *Voice*

O sistema *Voice* foi desenvolvido por Peter Meijer, tendo como objectivo substituir a informação visual através do fornecimento de informação auditiva.

O sistema *Voice* (figura 5) consiste numa câmara digital colocada na cabeça, integrada em óculos de sol, auscultadores e um computador portátil como unidade de processamento.



Figura 5 – Sistema Voice [19].

Através da imagem capturada pela câmara, o computador transmite uma sequência de sons pela informação que retira da imagem.

É descrito como sendo um sistema simples, pequeno, leve e barato, sendo que já foi desenvolvido *software* no sentido de substituir o computador por um *smartphone*. Teoricamente, pretende passar-se sensações visuais pela transformação de imagens em sinal sonoro, no entanto apresenta a grande desvantagem de ter de haver um grande treino por parte do utilizador.

Os testes efectuados tiveram resultados promissores, mas devido aos padrões sonoros complexos emitidos, os utilizadores necessitaram de um treino intensivo para o uso do sistema [19][20].

2.2.3.3 – Projeto da Universidade de Estugarda – Alemanha

Foi desenvolvido por investigadores na Universidade de Estugarda um sistema portátil de auxílio à orientação de cegos em ambientes interiores.

O protótipo apresentado (figura 6) consiste num módulo eletrónico com uma vara extensível e um computador portátil. Esse módulo é constituído por duas câmaras, uma bússola digital, um teclado semelhante aos telemóveis, um altifalante e um acelerómetro.

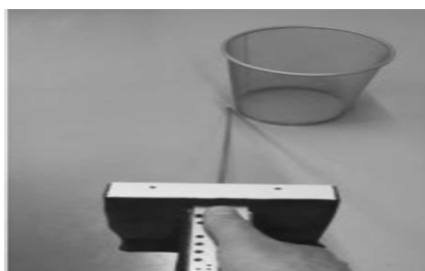


Figura 6 – Protótipo desenvolvido pela Universidade de Estugarda[11].

Dependendo da tecla premida, podem ser seleccionadas várias opções sonoras e pedidos de informação acerca de um dado objecto. O computador faz o processamento e responde ao utilizador através de um sintetizador de voz, recorrendo ao altifalante para transmitir o som.

O *software* de processamento de imagem do computador permite distinguir as cores dos objetos, bem como o seu tamanho e distância quase em tempo real. Para tornar o processamento mais fácil, foram guardados em memória vários modelos 3D que podem ser usados como meio de comparação dos dados obtidos.

É um sistema robusto, funcionando praticamente em tempo real e com uma interface fácil para o utilizador. Como pontos negativos temos a abordagem *hold-and-scan* e os poucos testes de simulação efectuados [11].

2.2.3.4 – Sistema *Virtual Acoustic Space*

O sistema *Virtual Acoustic Space* foi desenvolvido por investigadores no Instituto de Astrofísica das Canárias, em Espanha.

O objectivo do sistema (figura 7) é criar um mapa auditivo do ambiente envolvente, permitindo aos utilizadores criar uma percepção do espaço por si próprios, a nível neuronal.



Figura 7 – *Virtual Acoustic Space* [21].

O protótipo apresentado consiste em duas micro câmaras aplicadas em óculos de sol convencionais, um processador e um altifalante. Estas câmaras captam informação do ambiente envolvente através de visão estereoscópica, que o processador usa para criar uma

tabela com dados como a distância, a cor e a textura. Depois, são gerados sons correspondentes aos objetos existentes nas imediações.

Experimentalmente, verificou-se que 3 em cada 4 utilizadores conseguiu detetar objetos, a distância respectiva, mover-se livremente e identificar elementos como portas e janelas, mesas, e portas abertas, em salas de teste. Apresenta como vantagem ser vestível (óculos de sol), e ser de um tamanho compacto. No entanto, a grande lacuna é a ausência de testes em ambiente real [11][21].

2.2.3.5 – Projeto da Universidade de Guelph

O projeto desenvolvido pela universidade de Guelph destaca-se pelo uso de *feedback* tátil, através de uma luva constituída por cinco vibradores piezoelétricos em cada dedo.

O protótipo (figura 8) é constituído por duas câmaras "panorâmicas", uma luva com vibradores piezoelétricos nos dedos e um computador portátil.

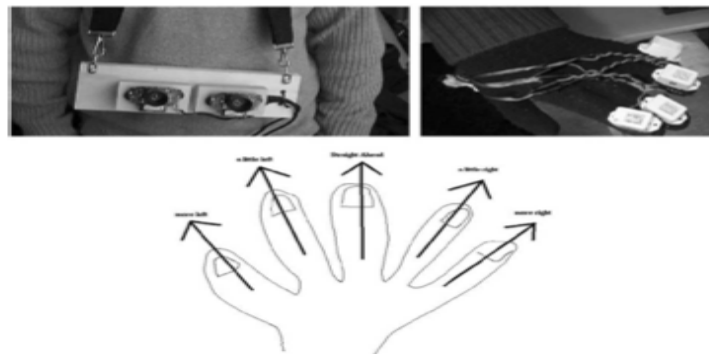


Figura 8 – Protótipo elaborado pela Universidade de Guelph [11].

Usando a informação captada pelas câmaras, é criado um mapa contendo a "profundidade" e as distâncias captadas, dividindo as mesmas em cinco secções verticais, correspondendo cada uma delas a um elemento vibratório.

Quando um *pixel* numa dada área ultrapassa o *threshold* definido (3 ft), o elemento vibratório correspondente é ativado, informando o utilizador da presença de um obstáculo nessa direção. Por exemplo, o dedo "central" corresponde à direção "em frente".

É um dispositivo de baixo custo e de baixo consumo, no entanto a falta de algoritmos mais complexos no sistema torna o sistema pouco fiável e pouco interessante [17].

2.2.3.6 – Echolocation

O projeto de eco localização foi desenvolvido nos anos 90 no Japão, inspirado no sistema biológico de eco localização dos morcegos.

Usando dois sensores de ultrassons embutidos em óculos, juntamente com um microprocessador e uma ADC, os ultrassons são convertidos para um som audível transmitido através de auscultadores para o utilizador.

Através da intensidade dos sons, bem como do desfasamento temporal entre os mesmos, é possível perceber qual a direção e qual o tamanho do obstáculo. Cria-se assim uma imagem "sonora" do espaço envolvente.

O dispositivo foi testado, por forma a verificar se o utilizador do sistema consegue distinguir objetos em frente da sua cabeça, comutando entre diferentes frequências de ultrassons. O sinal utilizado é modulado em frequência (FM), com um *sweep* na frequência entre os 70kHz e os 40kHz no espaço de 1 *ms*, tendo características semelhantes às dos ultrassons produzidos por algumas espécies de morcegos, para a eco localização [12].

Este sinal é convertido numa escala de 50:1 na frequência (*downconversion*) usando um microcontrolador e um conversor Analógico-Digital. Os sinais são então apresentados através de auscultadores.

Verificou-se que os utilizadores identificaram e distinguiram alguns objetos em certos testes tais como um fio de 1 milímetro de diâmetro, sendo que a viabilidade do projeto carece de uma validação mais extensa e diversificada, nomeadamente fora do ambiente laboratorial e em condições reais.

A sua simplicidade e portabilidade são as principais vantagens deste sistema [11].

3 – ALTIFALANTE PARAMÉTRICO COM ARRAY DE ULTRASSONS

3.1 – DIRECTIVE PARAMETRIC SPEAKER

Neste capítulo, serão abordados os ultrassons e a sua propagação. Serão abordados os transdutores de ultrassons, os *arrays* de ultrassons e o altifalante paramétrico, bem como algumas das modulações que poderão ser usadas no mesmo. De seguida, serão descritos alguns testes efectuados com o altifalante paramétrico a fim de aferir se o mesmo é passível de ser usado no sistema a estudar e desenvolver.

3.1.1 – Ultrassons

Na literatura existente, a descrição mais utilizada de som é a de uma onda mecânica que se propaga em meios materiais, como meios líquidos, meios sólidos e meios gasosos.

Considerando o caso de uma sinusóide pura (som monotónico), sabemos que a sua velocidade de oscilação é dada pela sua frequência (hertz). Por norma, para medir a energia da onda usa-se o valor *RMS* da variação da pressão acústica em *SPL* (*Sound Pressure Level*), que normalmente tem o seu valor em dB usando como referência o que é considerado a pressão acústica do limiar da audição.

Consoante a sua frequência, os sons dividem-se em grupos (figura 9).

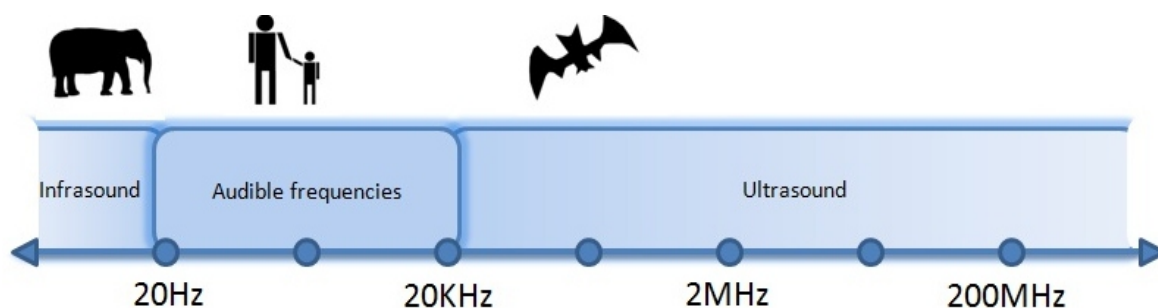


Figura 9 – Classificação dos Sons [22].

Até aos 20Hz são considerados infrassons, estes não são passíveis de ser ouvidos por humanos, havendo no entanto alguns animais que os conseguem ouvir. A gama audível por humanos estende-se dos 20Hz até aos 20kHz. A região dos ultrassons é composta por sons de frequências superiores a 20kHz, sendo inaudíveis para os humanos.

O avanço da tecnologia levou ao aparecimento dos altifalantes, produzindo sons através da corrente eléctrica recebida, o que revolucionou o conceito de comunicação existente desde a pré-história com o aparecimento do telefone, em 1876.

Contudo para a reprodução de ultrassons, recorre-se ao uso de transdutores de ultrassons.

À semelhança do altifalante normal, o transdutor também converte uma forma de energia noutra. O transdutor de ultrassons (figura 10) converte energia eléctrica em ondas sonoras acima dos 20kHz, consideradas ultrassons, acima do limiar de audição humano. Os transdutores usam cristais como fonte para produzir as ondas mecânicas de ultrassons, geralmente titano zirconato de chumbo. Aplicando uma tensão ao cristal este irá vibrar, convertendo energia eléctrica em energia mecânica.

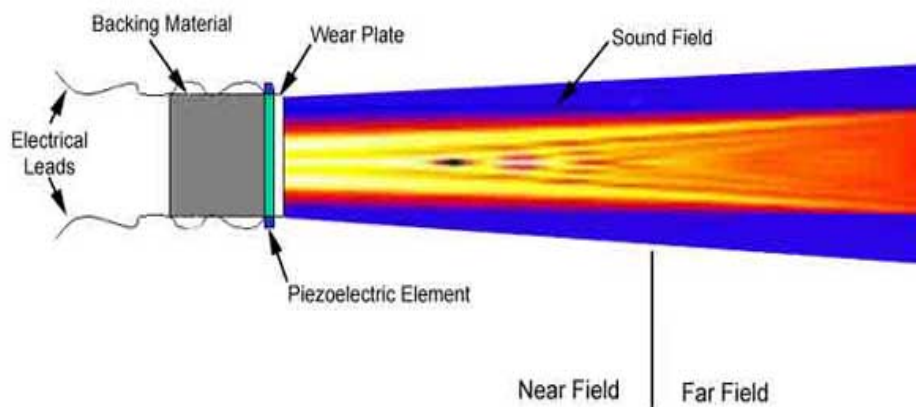


Figura 10 – Representação esquemática de um transdutor de ultrassons [23].

Agrupando de forma planar um conjunto de transdutores obtemos um array de ultrassons. Estes *arrays* foram desenvolvidos na década de 50 do século XX como uma técnica de SONAR, pela sua alta direccionalidade e pelo aumento da largura de banda disponível, tendo como resultado pulsos mais curtos e resoluções mais elevadas. Estes *arrays* foram usados ao longo de várias décadas em variadas aplicações (figura 11), como é exemplo o SONAR (*Sound Navigation and Ranging*) [24].

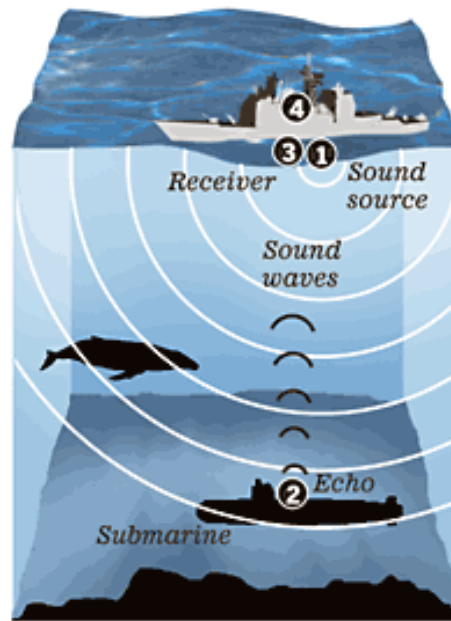


Figura 11 – Sonar numa embarcação [25].

Usado inicialmente para fins militares como localização de submarinos, passou a ter variadas utilizações não militares como auxiliar na pesca, na investigação e estudo dos oceanos, e em estudos atmosféricos. Funciona como um radar, usando pulsos sonoros ao invés das ondas de rádio do radar. O SONAR passivo apenas capta sons emitidos por embarcações, enquanto que o SONAR ativo produz sons e capta os seus ecos.

A ultrassonografia ou ecografia é uma técnica de diagnóstico médico utilizada para visualizar estruturas subcutâneas como órgãos, músculos e tendões, para visualizar possíveis lesões. É também utilizada para o acompanhamento da gravidez (figura 12). As frequências utilizadas nestes dispositivos vão desde os 2 MHz até aos 20MHz.



Figura 12 – Ecografia [26].

3.1.2 – Não Linearidades do ar e o Modelo de Berkta

Em Dezembro de 1962, Peter Westervelt, professor de física da Universidade de Brown publicou o artigo "*Parametric Acoustic Array*". Neste artigo, Peter Westervelt considerou a emissão de dois *beams* de sons de alta frequência, denominados de ondas primárias, observando que um sinal "diferença" foi gerado da interação das mesmas.

Este mesmo sinal foi atribuído às não linearidades do meio de propagação que efetua uma desmodulação das ondas primárias no ar. Obteve assim um sinal desmodulado audível no ar.

Nesta análise foram feitas várias simplificações, tais como a inexistência de atenuação no sinal diferença, a existência de um beam primário perfeitamente paralelo entre si, e foi considerado que os dois sinais primários se atenuavam à mesma taxa.

Em 1965, H. O. Berkta publicou um artigo onde expunha uma possível explicação teórica para este fenómeno, denominado "*Possible Exploitation of Non-Linear Acoustics in Underwater Transmitting Applications*", *J Sound Vib*. A sua análise cobriu casos em que as ondas primárias se expandem de forma cilíndrica ou esférica.

Fazendo uma análise do modelo de Berkta, Ee-Leng Tan, Peifeng Ji, e Woon-Seng Gan escrevem no seu artigo "*On preprocessing techniques for bandlimited parametric loudspeakers*" sobre este mesmo modelo [27].

A onda modulada p_1 é radiada no ar, através de uma fonte circular de área de radiação a , sendo que, a uma distância axial z , a onda de ultrassons é dada por:

$$p_1(r, z, \tau) = P_0 E(\tau) e^{-\alpha(\tau)z} \sin(\omega_0 \tau + \phi(\tau)) H(a - r)$$

onde r é a coordenada transversal radial, $\tau = t - \frac{z}{c_0}$ é o tempo decorrido, c_0 é a velocidade do som, P_0 é a pressão inicial da onda primária, $E(\tau)$ é a envolvente da onda primária, ω_0 é a frequência angular da portadora, $\phi(\tau)$ é uma função da variação da fase com o tempo, $H(\tau)$ é a função degrau unitário de *Heaviside*, e $\alpha(\tau)$ é o coeficiente de absorção variável com o tempo.

Este coeficiente de absorção $\alpha(\tau)$ é dado por:

$$\alpha(\tau) = [\Omega(\tau)/\omega_0]^2 \alpha_0$$

onde α_0 é o coeficiente de atenuação termoviscoso e $\Omega(\tau)$ é a frequência angular instantânea da portadora. A frequência angular $\Omega(\tau)$ é dada por:

$$\Omega(\tau) = \omega_0 + \frac{d\phi(\tau)}{d\tau}$$

Ignorando os efeitos de absorção da onda desmodulada, a onda desmodulada p_2 é dada por:

$$p_1 \approx \frac{\beta P_0^2 \alpha^2}{16 \rho_0 c_0^4 z} \frac{\partial^2 E^2(\tau)}{\partial \tau^2} \alpha(\tau)$$

onde β é o coeficiente de não linearidade ($\beta_{air}=1.2$) e ρ_0 é a densidade do meio de propagação.

Esta expressão mostra a dependência da pressão do sinal desmodulado em relação à envolvente do sinal modulado.

Recorrendo a um *array* de transdutores de ultrassons e usando uma modulação que permita manipular a amplitude, fase ou frequência com uma portadora na banda dos ultrassons, é possível obter um sinal desmodulado audível extremamente direcional.

3.2 – MODULAÇÕES

Neste subcapítulo serão abordados dois tipos de modulação que poderão ser usados num *array* de transdutores de ultrassons. Será abordada a modulação em amplitude, a modulação em fase e a modulação em frequência. De seguida, serão efectuados testes com estas mesmas modulações a fim de aferir se o efeito de auto desmodulação do ar se verifica, e qual o som produzido.

3.2.1 – AM-DSB

Considere-se uma onda portadora de forma sinusoidal $c(t)$ definida pela seguinte equação:

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$$

sendo A_c e f_c a amplitude e frequência da portadora respectivamente, e considerando que a fase da onda portadora é nula.

Designemos a informação ou o sinal mensagem por $m(t)$.

A modulação em amplitude pode ser definida como "um processo em que a amplitude da onda portadora $c(t)$ varia em torno de um valor médio com o sinal mensagem $m(t)$ " [28].

Assim, no domínio do tempo a modulação em amplitude pode ser descrita pela seguinte equação:

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$s(t) = a(t) \cos(2\pi f_c t)$$

onde k_a é uma constante de sensibilidade da modulação em amplitude do modulador.

Na figura 13 podemos observar as formas de onda de um sinal modulador, de uma onda portadora sinusoidal, e do sinal resultante da modulação:

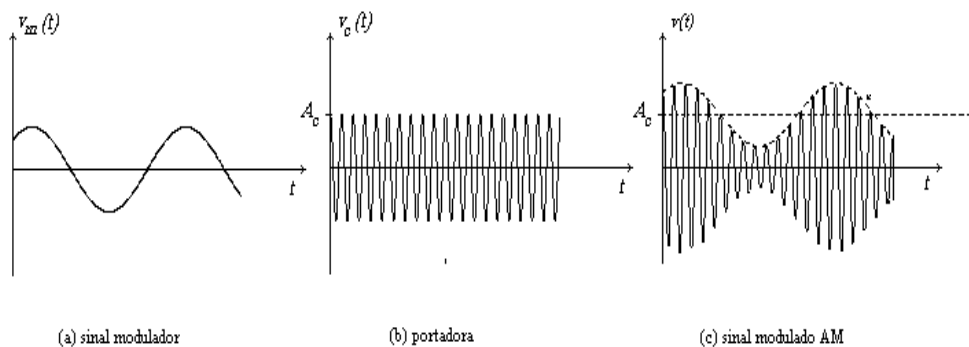


Figura 13 – Modulação em Amplitude - AM (DSB com portadora) [29].

No caso de o sinal modulador ser desligado, o sinal observado à saída será a onda portadora sinusoidal inicial, sem qualquer alteração.

Na modulação em amplitude, a informação do sinal designado por mensagem encontra-se representada na envolvente da onda, que é definida como a amplitude da onda modulada. A expressão $|k_a m(t)|$ representa a amplitude da onda modulada.

A amplitude de $k_a m(t)$ tem de ser menor que 1, sob o risco de o sinal se tornar sobre modulado, levando a mudanças de fase nos instantes em que o factor $1 + k_a m(t)$ se anula.

Outra condição que deve ser respeitada é que a frequência da portadora f_c tem de ser muito maior que a componente de mais alta frequência do sinal mensagem, $m(t)$, caso contrário a envolvente não será visualizada nem detetada de forma satisfatória.

No domínio da frequência, consideremos a transformada de Fourier $M(f)$ como sendo o espectro do sinal mensagem $m(t)$.

Usando as relações:

$$\cos(2\pi f_c t) = \frac{1}{2} [\exp(j2\pi f_c t) + \exp(-j2\pi f_c t)]$$

$$\exp(j2\pi f_c t) \Leftrightarrow \delta(f - f_c)$$

$$m(t) \exp(j2\pi f_c t) \Leftrightarrow M(f - f_c)$$

o espectro da onda $m(t)$ é dado por:

$$S(f) = \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{k_a A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$

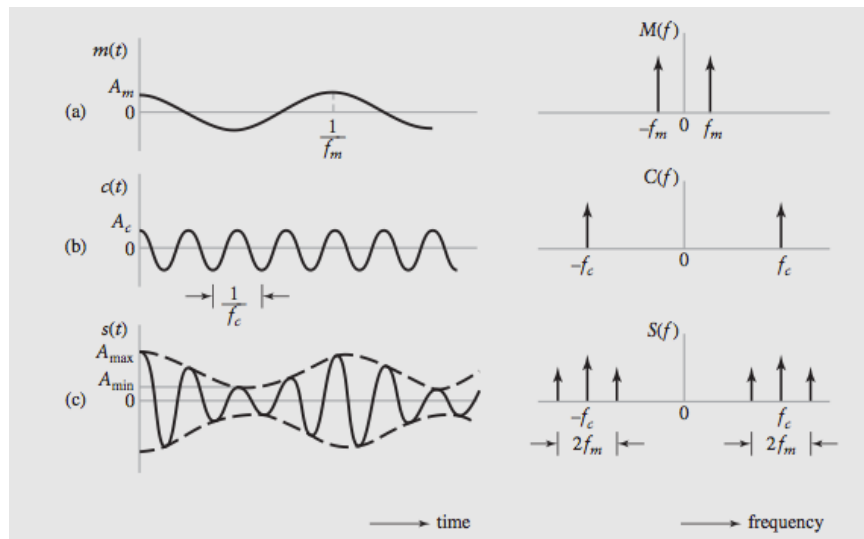


Figura 14 – Ilustração do domínio do tempo (à esquerda) e domínio da frequência (à direita); a) Onda modulante; b) Onda portadora; c) Onda modulada em AM [28].

Podemos verificar que a modulação em amplitude desloca o espectro do sinal modulador, em relação à portadora f_c (figura 15).

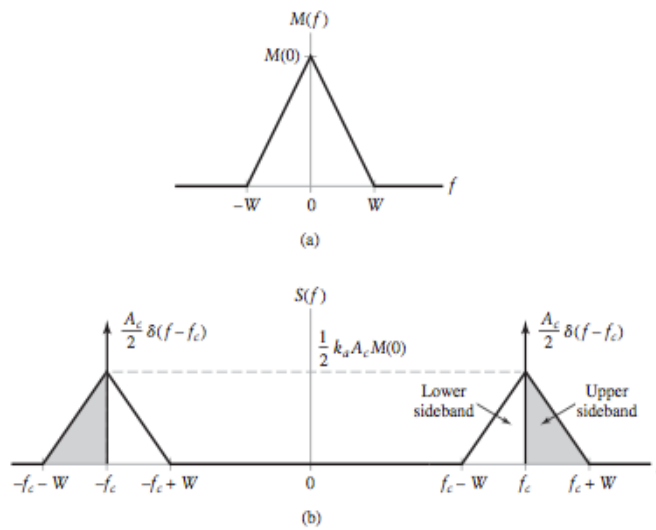


Figura 15 – Espectros do sinal mensagem (a) e (b) sinal modulado em amplitude [28].

No espectro do sinal modulado encontram-se impulsos correspondentes à onda portadora sinusoidal, sendo reproduzido em torno dos mesmos o espectro do sinal modulador.

Como é visível na figura 15, está presente uma banda lateral superior (*Upper Side Band* – USB) e uma banda lateral inferior (*Lower Side Band* - LSB). Deste modo, este tipo de modulação em amplitude é conhecido por *Double Side Band* - DSB.

A largura de banda do sinal modulado é de $2W$ em torno da onda portadora, tendo o sinal modulador largura de banda W . Deste modo, a largura de banda para transmitir um sinal AM-DSB é o dobro do necessário para transmitir o sinal em banda base, isto é, sem qualquer modulação [28].

3.2.2 – Modulação FM e PM

Considere-se $\theta_i(t)$ como sendo o ângulo de uma onda portadora sinusoidal no instante de tempo t . Assumindo que $\theta_i(t)$ é função do sinal mensagem $m(t)$, a onda derivada de modulação angular é definida por:

$$s(t) = A_c \cos[\theta_i(t)]$$

Sempre que o ângulo $\theta_i(t)$ varia 2π radianos, ocorre uma oscilação completa.

Podemos interpretar o sinal modulado angular $s(t)$ como sendo um fasor de comprimento A_c e ângulo $\theta_i(t)$. A velocidade angular é dada por $\frac{d\theta_i(t)}{dt}$, em radianos por segundo.

No caso de uma portadora não modulada, isto é, $m(t) = 0$, $\theta_i(t)$ é dado por:

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + \phi_c$$

sendo que o fasor correspondente roda com uma velocidade angular de $2\pi f_c$ radianos por segundo, e a constante ϕ_c define o ângulo da portadora não modulada para o instante $t = 0$.

Há inúmeras maneiras de o ângulo $\theta_i(t)$ variar com o sinal mensagem, entre as quais há dois casos mais comuns: i) Modulação em Fase (PM) e ii) Modulação em Frequência (FM).

i) A Modulação em Fase (PM) é um caso particular de Modulação Angular, em que o ângulo instantâneo $\theta_i(t)$ varia linearmente com o sinal mensagem $m(t)$:

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + k_p m(t)$$

Nesta equação, o ângulo da onda portadora não modulada é representado por $2\pi f_c t$, considerando $\phi_c = 0$, k_p é o factor de sensibilidade de fase do modulador.

No domínio do tempo, a onda modulada em fase é descrita por :

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + k_p m(t)]$$

ii) A Modulação em Frequência (FM) é um caso particular de Modulação Angular, em que a frequência instantânea $f_i(t)$ varia linearmente com o sinal mensagem $m(t)$, como podemos verificar na seguinte equação:

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t)$$

O termo f_c corresponde à frequência da portadora não modulada, k_f é o factor de sensibilidade de frequência do modulador.

Fazendo a integração da equação anterior em relação ao tempo, e multiplicando o resultado por 2π vem:

$$\theta_i(t) = 2\pi \int_0^t f_i(\tau) d\tau$$

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau$$

O segundo termo reflete a variação da fase instantânea devido ao sinal mensagem $m(t)$.

A onda modulada em frequência é então

$$s(t) = A_c \cos \left([2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau] \right)$$

3.2.2.1 – Propriedades de FM (1 tom) para um Índice de Modulação Arbitrário β

As funções de Bessel fornecem informação sobre as componentes em frequência do espectro. Na figura seguinte (figura 16) é apresentada a função de Bessel, $J_n(\beta)$, em função do índice de modulação β para valores positivos de n :

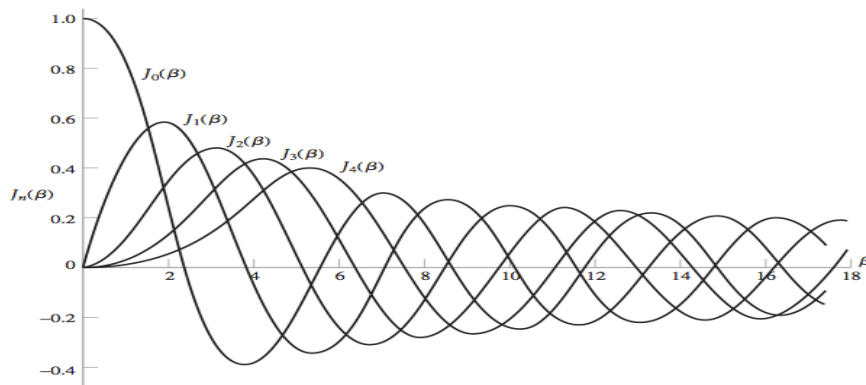


Figura 16 – Funções de Bessel de 1ª ordem [28].

Podem ser retiradas mais informações tirando partido das propriedades abaixo apresentadas:

1. Para diferentes valores positivos e negativos do índice n , temos que

$$J_n(\beta) = J_{-n}(\beta), \text{ para } n \text{ par}$$

e

$$J_n(\beta) = -J_{-n}(\beta), \text{ para } n \text{ ímpar}$$

2. Para valores pequenos do índice de modulação β temos

$$J_0(\beta) \approx 1,$$

$$J_1(\beta) \approx \frac{\beta}{2},$$

$$J_n(\beta) \approx 0, n > 2$$

3. A igualdade

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(\beta) = 1$$

mantém-se qualquer que seja o valor de β .

Usando o gráfico e as afirmações anteriores podemos escrever algumas observações:

1. O espectro de uma onda FM contém uma componente da portadora, e um conjunto de frequências laterais simétricas em ambos os lados da portadora, com separações de f_m , $2f_m$, $3f_m$, etc. Este facto faz com que o espectro resultante seja diferente do espectro AM visto que este apenas apresenta um par de frequências laterais.

2. Considerando o caso particular em que o índice β é pequeno comparativamente ao valor unitário, apenas os coeficientes de Bessel $J_0(\beta)$ e $J_1(\beta)$ têm valores significativos, o que faz com que o espectro FM seja efetivamente composto por uma componente da portadora e um par de frequências laterais $f_c \pm fm$.

3. A amplitude da componente da portadora varia conforme o valor do índice β , contrariamente ao caso da modulação AM. A envolvente de uma onda FM é constante, tendo o valor máximo de potência

$$P_{av} = \frac{1}{2} A_c^2$$

Quando a portadora é modulada para gerar uma onda FM, a potência nas frequências laterais poderá aparecer apenas às custas da potência originalmente transmitida pela componente da portadora dependente do índice β .

De seguida, podemos verificar de que forma as variações na amplitude e na frequência de uma onda modulante sinusoidal afectam o espectro da onda FM.

Considere-se então o caso em que se mantém constante a frequência da onda e se varia a sua amplitude, produzindo uma variação correspondente no desvio de frequência Δf . Mantendo a frequência fm constante, o espectro da onda FM resultante é o apresentado na figura 17.

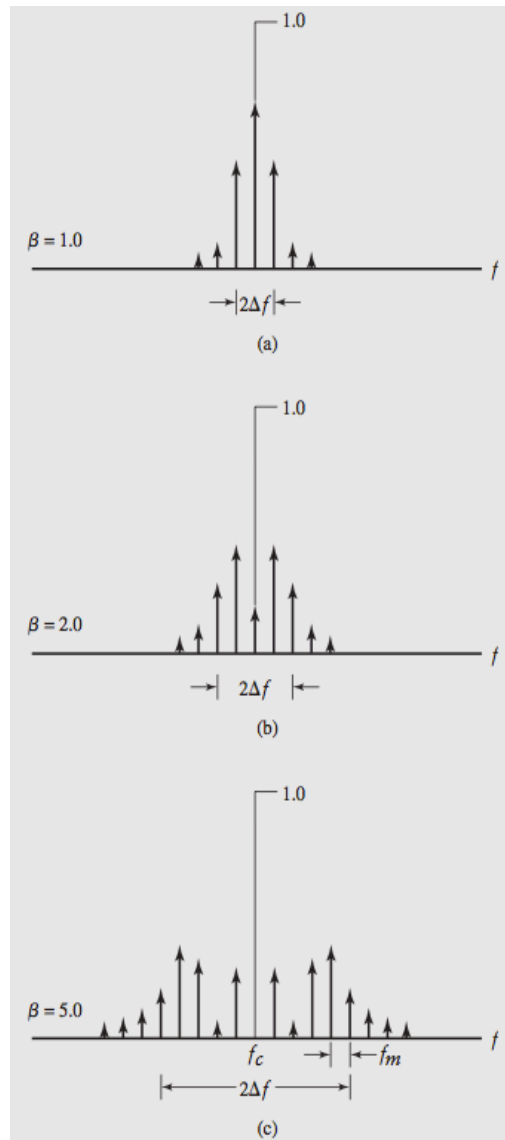


Figura 17 – Espectro discreto de uma onda FM, normalizado em relação à amplitude da portadora desmodulada, para o caso de modulação sinusoidal com frequência fixa e amplitude variável [28].

Considerando agora o caso em que a amplitude da onda modulante está fixo, isto é, o desvio de frequência Δf é mantido constante e a frequência f_m varia. Podemos observar o espectro resultante na figura seguinte (figura 18).

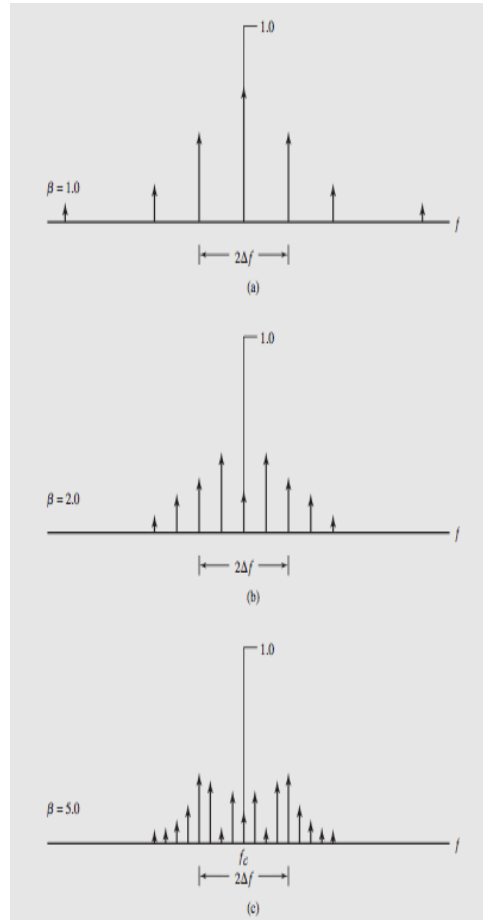


Figura 18 – Espectro discreto de uma onda FM, normalizado em relação à amplitude da portadora[28] desmodulada, para o caso de modulação sinusoidal com frequência variável e amplitude fixa.

Podemos verificar que quando Δf está fixo e β aumenta, aumenta também o número de riscas entre o intervalo de frequências $f_c - \Delta f < |f_c| < f_c + \Delta f$. Com o aumento de β a tender para infinito, a largura de banda da onda FM aproxima-se do valor limite de $2 \Delta f$ [28].

3.2.3 – Testes de funcionamento do altifalante paramétrico

Ao longo desta secção serão testados os dois tipos de modulação analisados anteriormente, a fim de aferir o seu efeito no som produzido por um *array* de ultrassons, utilizando para isso equipamento de laboratório e um altifalante paramétrico *Nicera AS050A*.

Deste modo, para testar o altifalante, a sua direccionalidade, e o som resultante do efeito de auto-desmodulação no ar, procedeu-se a um ensaio onde se usou o seguinte equipamento:

- PC com placa *Firewire*;
- Placa de som *Edirol FA-66*;
- Microfone *Sanken CO100K*;
- *MatLab*;
- Altifalante *Nicera AS050A*;
- Amplificador Hi-fi *Grundig*;
- Suportes para o altifalante e para a coluna;
- Osciloscópio *Tektroniks*.

Para efetuar os testes, foi montado um *setup* para a emissão (figura 19) e outro *setup* para a recepção (figura 20).

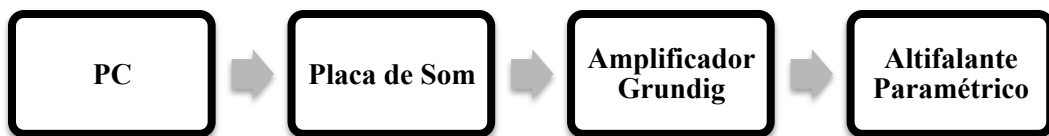


Figura 19 – Teste do Altifalante Paramétrico: Emissão.



Figura 20 – Teste do Altifalante Paramétrico: Recepção.

No *setup* de emissão, o computador foi ligado a uma placa de som *Edirol FA-66* através de uma ligação *Firewire*, tendo depois sido ligados simultaneamente o

amplificador *Grundig* e o altifalante *Nicera*. Quanto ao *setup* de recepção, o microfone *Sanken* foi ligado a outro canal da placa de som *Edirol FA-66*.

A escolha da placa de som *Edirol FA-66* prende-se com o facto de a mesma ter a característica de se poder efetuar gravação em *full-duplex* em 24 bits/96kHz (para 6 entradas e 6 saídas simultâneas), ou em 24 bits/192kHz (4 entradas e 4 saídas simultâneas).

O osciloscópio manteve-se ligado entre o Amplificador e o Altifalante, para que fosse garantida uma tensão máxima de 10 V. No *setup* de recepção, na parte de trás do microfone foi colocada uma tábua revestida por esponja, estando inclinada cerca de 20°, para tentar evitar que as reflexões interfiram nos resultados.

Para modular o sinal, foi usada a modulação em amplitude – AM, em que amplitude da onda portadora varia linearmente com o sinal modulante.

Usando o *MatLab*, foi gerado um sinal sinusoidal de 1kHz com uma portadora de 40kHz.

Deste modo, será espectável observar no espectro as seguintes frequências: $f_c = 40kHz$, $f_c - f_m = 40kHz - 1kHz = 39kHz$, $f_c + f_m = 40kHz + 1kHz = 41kHz$.

Na figura seguinte (figura 21), podemos observar o espectro do sinal emitido:

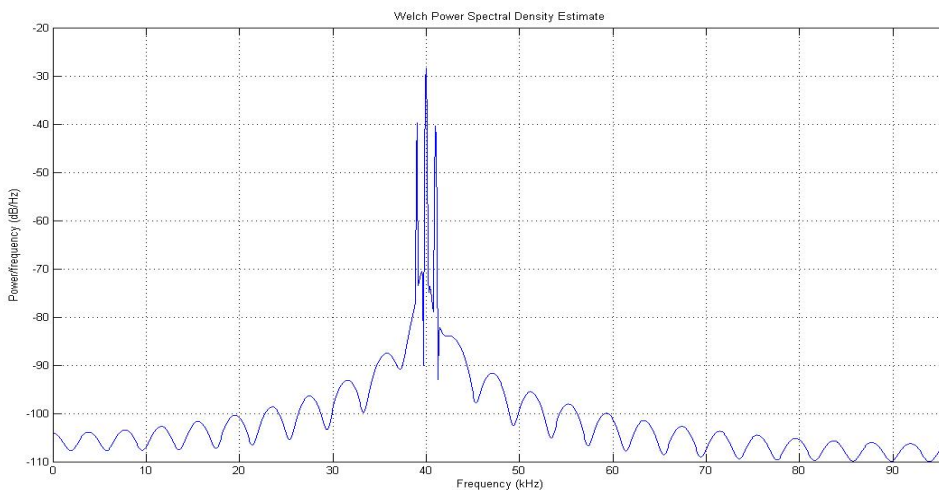


Figura 21 – Espectro do Sinal Emitido modulado em amplitude.

Observando o espectro apresentado na figura anterior (figura 21), podemos verificar que corresponde ao esperado teoricamente.

Em seguida, este sinal foi amplificado no amplificador *Grundig*, e enviado para o altifalante paramétrico. O sinal emitido pelo altifalante foi captado pelo microfone *Sanken*, tendo sido obtido o seguinte espectro (figura 22):

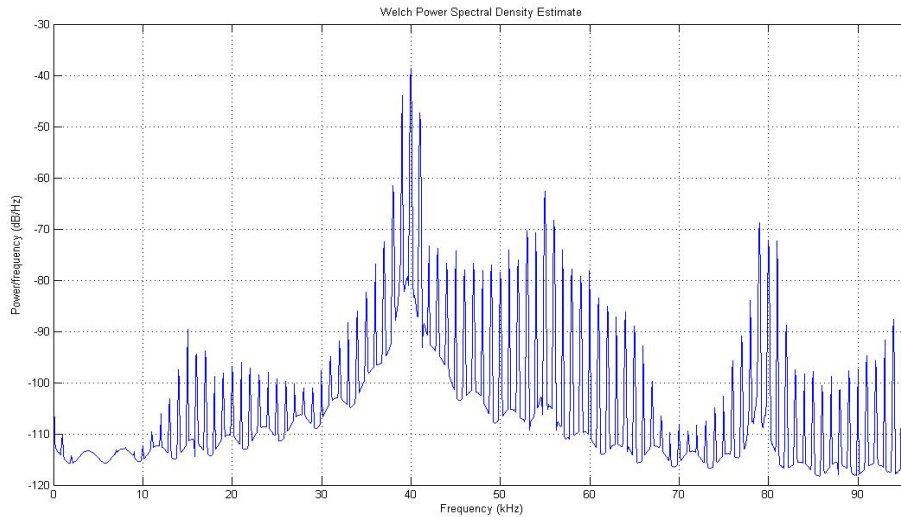


Figura 22 – Espectro do Sinal Captado pelo Microfone.

Podemos verificar que as frequências presentes no sinal enviado (39kHz, 40kHz, 41kHz) continuam presentes, e que surgem componentes múltiplas de 1kHz por todo o espectro, a partir de 10kHz. Teremos de considerar também o efeito do ruído e das possíveis reflexões do sinal.

Podemos verificar que à frequência de $2 \times f_c = 80 \text{ kHz}$ temos novamente o sinal da frequência da portadora, embora mais atenuado.

Por outro lado, é possível verificar a informação na banda do audível, correspondendo assim ao som audível produzido pelo altifalante e ouvido durante o decurso da experiência. Tendo em conta que o espectro do sinal emitido não contém informação na banda audível, conclui-se que ocorreu um fenómeno de desmodulação no ar, desde a transmissão até à recepção no microfone. Verificou-se também que o som produzido é extremamente direcional.

Depois do teste inicial de funcionamento, realizou-se uma nova sessão de testes com modulação AM, PM e FM, para verificar o funcionamento do mesmo e verificar a direccionalidade do *beam* produzido. A bancada de testes manteve-se igual à usada anteriormente, sendo que o altifalante paramétrico foi colocado num suporte rotativo para

permitir medir com exatidão o ângulo da medida efectuada relativamente ao eixo do microfone. Foram gerados sinais de teste modulados em amplitude (coeficientes de modulação entre 0.5 e 1), modulados em fase (coeficientes de modulação $\pi/2$ e π), e um *chirp* logarítmico de 100Hz a 10kHz (modulação PM com coeficiente de modulação π).

Relativamente à distância entre o altifalante e o microfone, foi colocada uma fita métrica de 10 metros entre eles para que o altifalante fosse sendo movido consoante a medição a efetuar. O suporte do altifalante foi colocado no topo de uma cadeira colocada sobre o tampo de uma mesa, por forma a elevar a sua posição em relação ao solo e assim reduzir as reflexões que o mesmo provoca. O chão foi coberto parcialmente por uma esponja, na posição central entre o altifalante e o microfone, para que houvesse absorção e consequente redução das reflexões anteriormente referidas.

A sensibilidade do microfone foi regulada na placa de som, sendo que foi aumentada em 17dB a partir dos 4 metros, e 22dB a partir dos 6 metros, mantendo-se constante o volume do amplificador em todas as medições que foram realizadas.

A experiência foi realizada para distâncias entre 1 metro e 8 metros, com um espaçamento fixo de 1 metro entre cada uma. Em relação ao ângulo registado entre o altifalante e o eixo do microfone, realizou-se a medição entre 0° e 60° até aos 6 metros, dos 0° aos 90° aos 7 metros, com um passo de 10° entre cada medida.

3.2.3.1 – Análise de Resultados

A nível do ângulo entre o altifalante e o microfone, podemos verificar que ocorre uma considerável atenuação do *beam* a partir dos 10° de posicionamento.

Relativamente à situação em que o altifalante e o microfone se encontram alinhados (0°), apresentam-se de seguida os resultados obtidos para as distâncias de 1 metro (figuras 23 e 24), 2 metros (figuras 25 e 26) e 3 metros (figuras 27 e 28), para cada um dos sinais de teste utilizados neste teste:

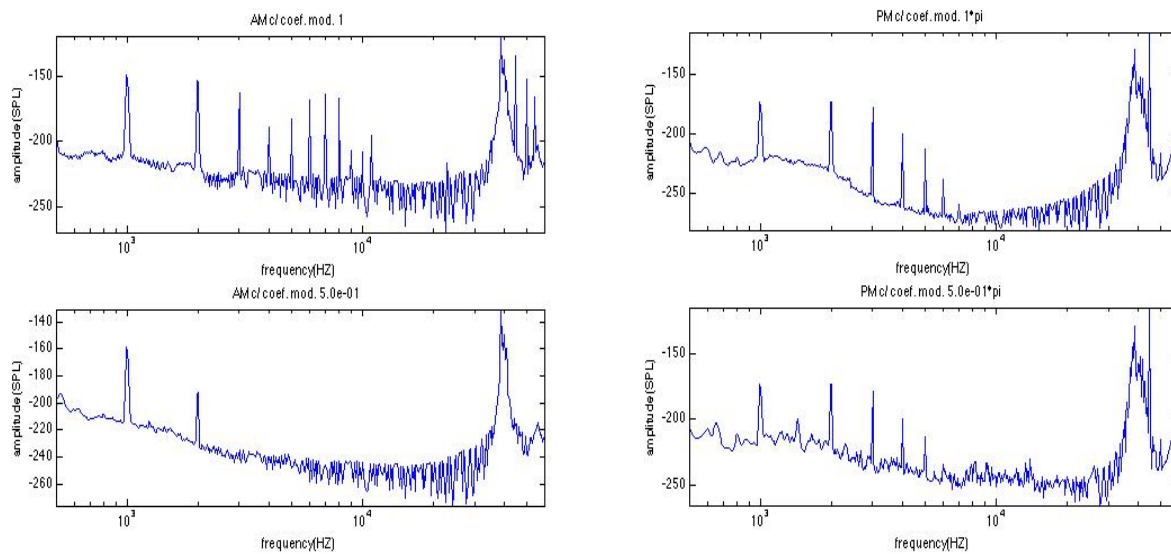


Figura 23 – Medição a 1 Metro: a) Modulação AM b) Modulação PM.

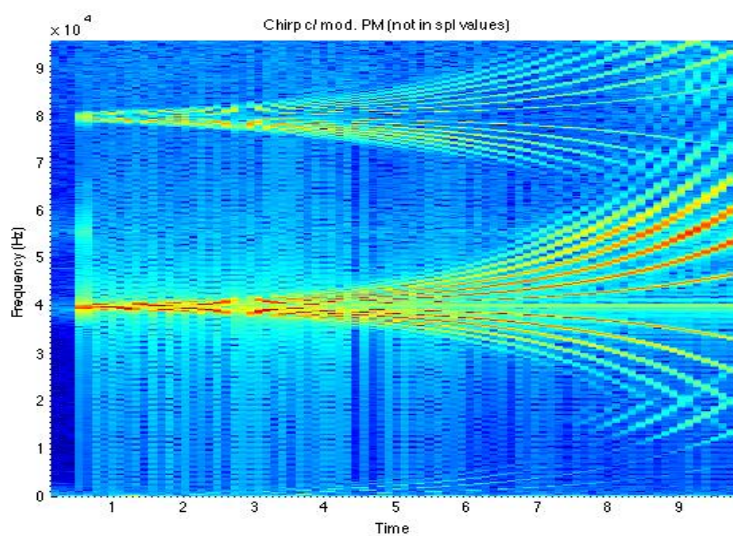


Figura 24 – Medição a 1 Metro e 0° - Chirp com Modulação PM.

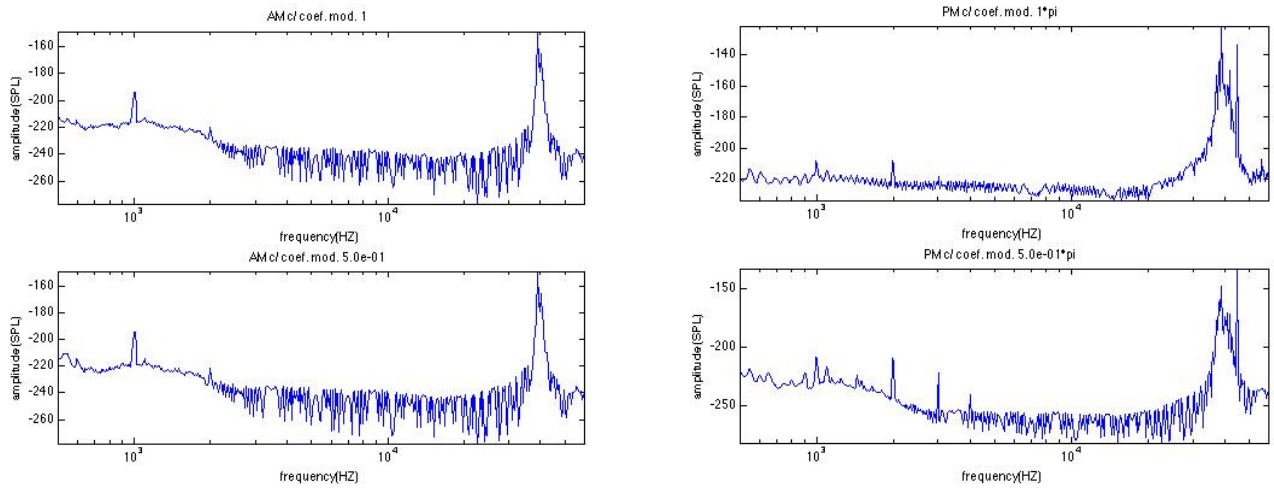


Figura 25 – Medições a 2 metros e 0°: a) Modulação AM b) Modulação PM.

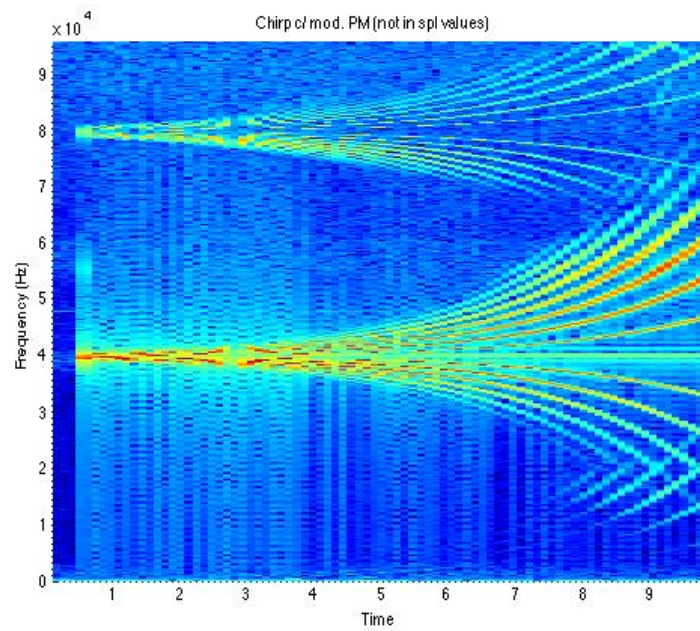


Figura 26 – Medição a 2 Metros e 0°: Chirp com Modulação PM.

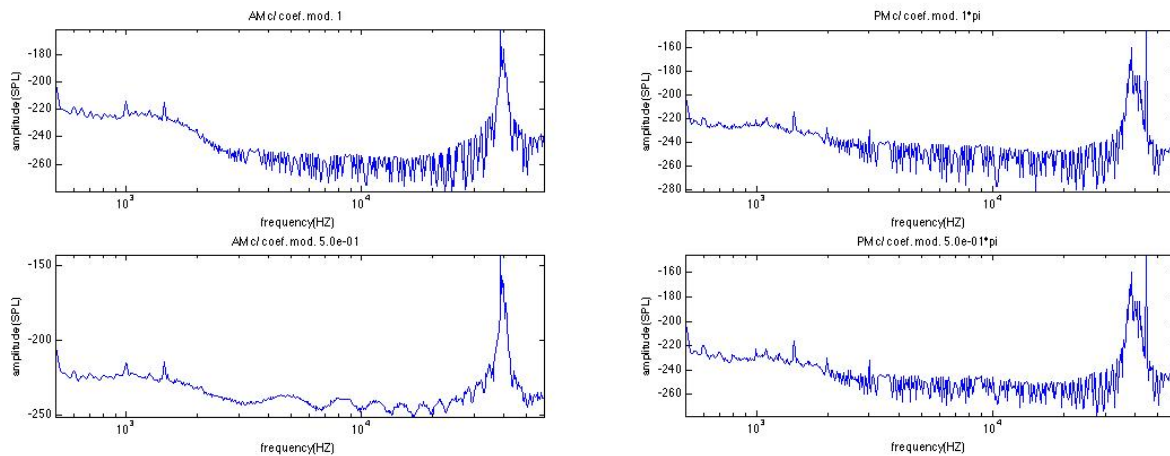


Figura 27 – Medições a 3 metros e 0°: a) Modulação AM b) Modulação PM.

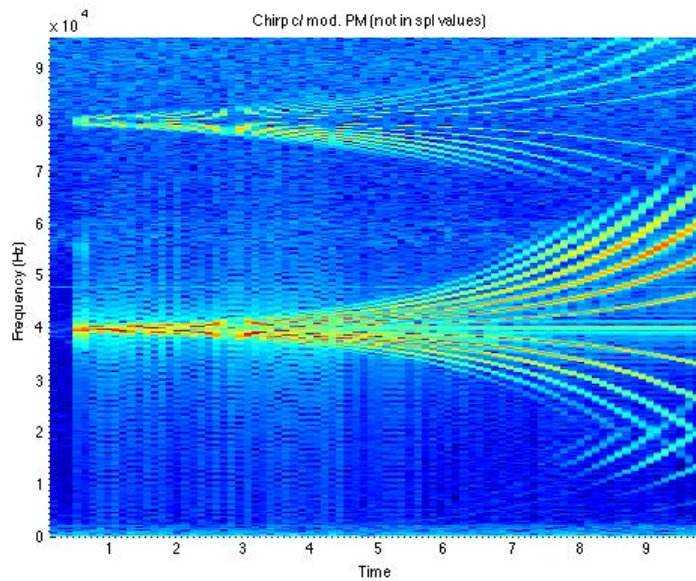


Figura 28 – Medição a 3 Metros e 0° - Chirp com Modulação PM.

Para a modulação AM e para o caso da componente de 1kHz, registou-se um valor de -140dB para uma distância de um metro, -195dB para 2 metros e -215dB para 3 metros. A partir desta distância, a componente a 1kHz deixa de estar visível nas medições efectuadas.

Em relação à modulação PM, regista-se um valor de -175dB para 1 metro, e -

210dB para 2 metros, deixando de ser visível a componente de 1kHz a partir dos 3 metros.

Segundo o modelo de Berkay, estas duas componentes relacionam-se entre si de forma quadrática. A relação entre a componente de 40kHz e de 1kHz pode ser analisada, por forma a garantir que o fenómeno de auto desmodulação do ar que estamos a observar é efetivamente o efeito descrito pelo modelo de Berkay.

Desta experiência verificou-se ainda empiricamente que o som produzido pela modulação PM tem menor distorção e é mais perceptível.

Conclui-se assim que o funcionamento do altifalante corresponde ao requisito do projeto.

4 – MOBIFREE - SISTEMA DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO DE CEGOS

4.1 – INTRODUÇÃO

O projeto *MobiFree* teve início em 2008, como resposta a um convite endereçado pela Associação Promotora de Ensino dos Cegos (APEC) ao Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro (DETI). O objetivo do projeto passou por desenvolver dispositivos capazes de detetar discontinuidades no solo e obstáculos ao nível da cabeça.

Deste modo, os promotores do projeto chegaram a três possíveis dispositivos de auxílio :

- *MobiFree Cane*: uma bengala com a capacidade de detectar obstáculos ao nível do solo, num raio de um metro;

- *MobiFree Sunglasses*: óculos de sol com a mesma tecnologia da bengala *MobiFree Cane*, com o objectivo de detectar obstáculos ao nível da cabeça;

- *MobiFree Echo*: um dispositivo equipado com um altifalante direcional, podendo o mesmo ser usado para recolher informação do meio envolvente através de eco localização, podendo detectar obstáculos como paredes, carros ou paragens de autocarros (figura 29).



Figura 29 – Dispositivos MobiFree: a) *MobiFree Cane* b) *MobiFree Echo* c) *MobiFree Sunglasses* [30].

Os requisitos dos dispositivos *MobiFree* foram obtidos através do *feedback* dado pela APEC:

- Devem permitir obter mais informação ao nível do solo para complementar a técnica de dois toques, prevenindo obstáculos como buracos e degraus;
- Devem permitir evitar a colisão com obstáculos ao nível da cabeça, como semáforos, vãos de escada e sinais de trânsito;
- Devem tornar mais segura a navegação do invisual em ambientes escuros, sinalizando a sua presença com sinalização luminosa automática;
- Devem ser dispositivos robustos e ter um preço acessível.

O primeiro dispositivo a ser construído foi a bengala *MobiFree Cane*, contando com duas versões v2008 e v2009, começadas em 2008 e 2009 respectivamente. Este dispositivo permite a detecção de buracos e degraus. Uma das preocupações no desenvolvimento do protótipo foi o consumo de energia, pretendendo-se obter um dispositivo de baixo consumo (figura 30). De forma a permitir que um dia o protótipo passasse a uma fase de comercialização, o desenvolvimento foi feito de modo a ser o mais barato possível [30].

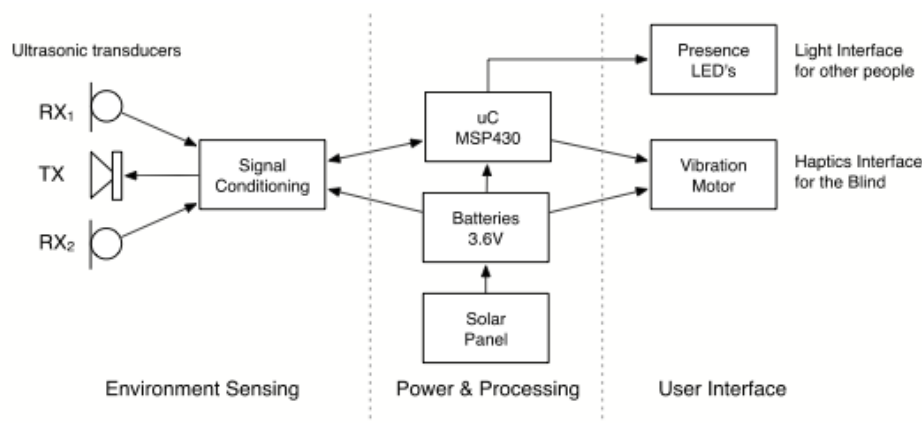


Figura 30 – Diagrama de Blocos da MobiFree Cane [11].

A detecção de buracos é feita através de pulsos de ultrassons, sendo emitidos pulsos e recebido o seu eco. O microprocessador pode assim calcular a distância e tempo decorrido, detectando assim eventuais discontinuidades no solo. Do mesmo modo, enquanto a superfície é regular, o microprocessador consegue saber a distância da bengala ao solo.

Para evitar que o invisual se tenha de preocupar com o carregamento e substituição de baterias regularmente, foi incorporado um conjunto de células fotovoltaicas para carregar a bateria do sistema.

A bengala monitoriza a luminosidade ambiente através de um sensor de luminosidade, e em caso de se encontrar abaixo do limite definido, aciona um *array* de *LEDs* ao longo da bengala. Desse modo, o invisual estará visível em ambientes escuros, tornando a navegação mais segura.

Quando a bengala deteta um buraco, o invisual é informado através de vibração.

Após o desenvolvimento do protótipo, foram efectuados testes em ambiente real que validaram a prova de conceito, sendo que se verificaram poucos falsos positivos na detecção de buracos e outras descontinuidades do terreno. Foi também testada em vários tipos de superfícies, mostrando que o seu funcionamento não é afectado em função do mesmo [30].

4.2 – MOBIFREE ECHO

Com o *MobiFree Echo*, pretende-se construir um dispositivo de deteção de obstáculos com ultrassons para cegos. Com este dispositivo, os invisuais poderão treinar e utilizar numa base regular a eco localização, sendo que este deve emitir um som extremamente direcional permitindo assim através do eco a identificação de obstáculos no espaço envolvente. Pretende-se que seja portátil, com baixo consumo de energia e fácil de utilizar.

O dispositivo será constituído por um altifalante paramétrico, uma placa de processamento e uma bateria. O altifalante paramétrico escolhido foi o *Nicera AS050A*, um *array* de 50 transdutores de ultrassons (figura 31).

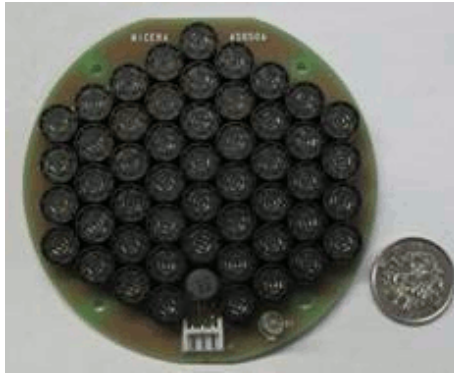


Figura 31 – Altifalante Nicera AS050A[31].

O sistema será composto por um MSP430G2553, um microprocessador da *Texas Instruments*, que fará a modulação do sinal a ser emitido pelo altifalante. O sistema encontra-se descrito no diagrama de blocos da figura seguinte (figura 32).

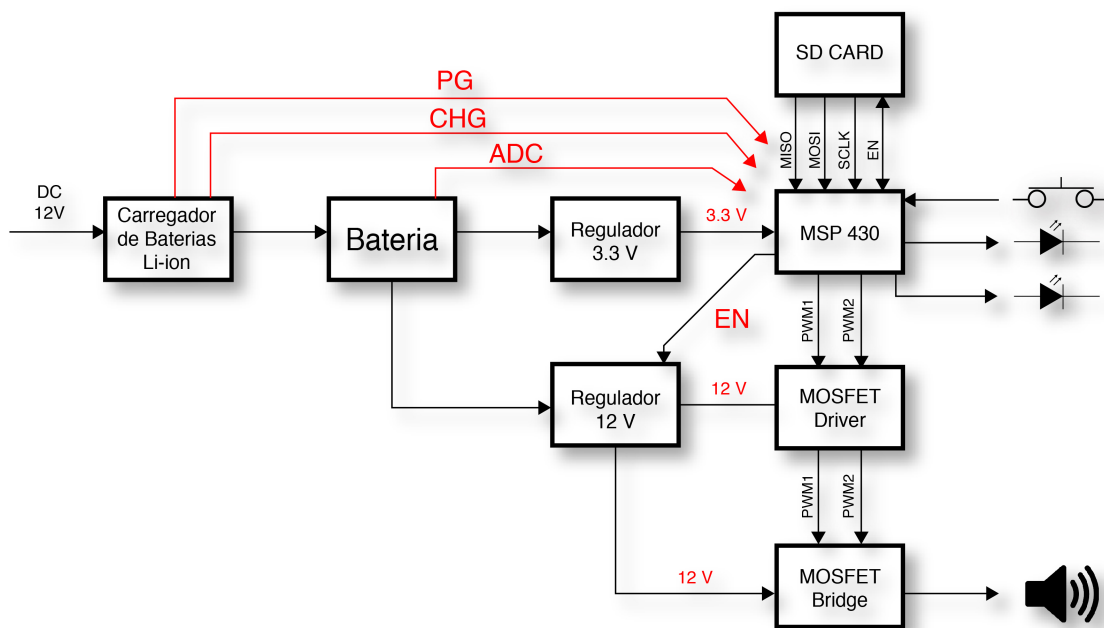


Figura 32 – Diagrama de Blocos do Sistema.

Através do MSP430, serão atuados os *Mosfet's* do andar de amplificação para alimentar o altifalante *Nicera AS050A*.

O MSP430 atuará na entrada do circuito de drive do altifalante, uma ponte H, controlada com recurso a um *Mosfet Gate Driver FAN7382*, da *Fairchild*.

A alimentação do circuito constituída por duas componentes, a parte digital que alimenta o MSP430 a 3.3V, e a alimentação do andar de amplificação que será efectuada com recurso a um regulador *Boost* de 12V.

O sistema será alimentado por uma bateria de iões de *litium* de 3.7V e 4400mah, que será carregada através do circuito de carregamento de baterias da *Texas Instruments* TPS55340.

A monitorização da carga da bateria será feita através de uma porta I/O do MSP430, recorrendo à ADC do microcontrolador. Esta monitorização tem como objectivo colocar o sistema em *sleepmode*, fazendo o *disable* do regulador de 12V caso a tensão da bateria desça abaixo de um valor definido, e dar um alerta para o utilizador carregar a bateria.

Há a necessidade de existir suporte para cartões de memória SD, por forma a poder expandir a memória do MSP430 em caso de necessidade futura de uso de sinais mais complexos e de maior dimensão em memória. A comunicação do MSP430 com o cartão de memória SD far-se-á por *SPI*.

Será também incluído um botão com três graus de liberdade, por forma a ser possível começar e parar o som, bem como desligar e ligar o sistema, ou alterar o *duty cycle* do sinal emitido para alterar o volume produzido pelo sistema.

Por fim, serão também colocados dois Leds para *debug*¹, tendo como objectivo indicar se o sistema está a ser carregado, e se o sistema está ligado ou desligado.

4.2.1 – Projeto do Circuito de Drive do Altifalante

Nesta secção, será abordado o circuito de *drive* para o altifalante paramétrico *Nicera AS050A*.

O circuito estudado para efetuar o *drive* do altifalante paramétrico foi um circuito do tipo *Half-Bridge*, usando para o drive dos *Mosfet's* o circuito integrado *FAN7382* (figura 33).

¹ Numa versão definitiva do protótipo estes Leds serão removidos.

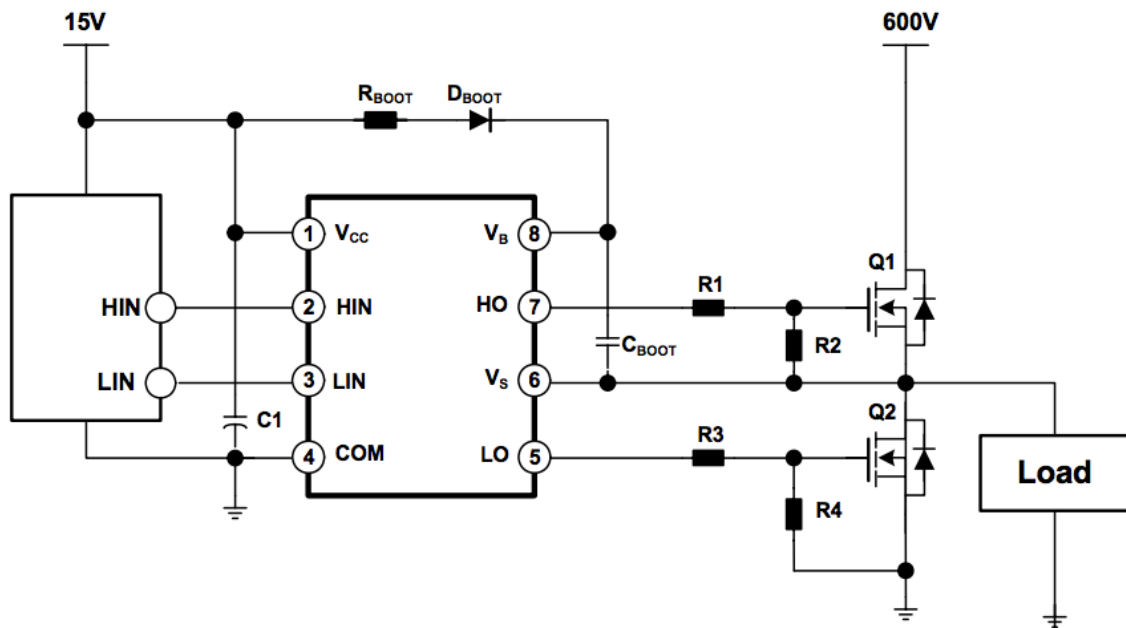


Figura 33 – Circuito Half-Bridge com o Mosfet Driver FAN7382 [20].

O circuito *FAN7382* é um *driver* de transístores *Mosfet's*, estando preparado para trabalhar com tensões elevadas até +600V. É um circuito integrado preparado para velocidades de relógio elevadas, com dois canais de saída *high side* e *low side*.

O canal flutuante V_S pode ser usado para fazer o drive de Mosfet's de potência até aos 600V.

Este *Mosfet driver* tem o *high side driver* e o *low side driver* num só encapsulamento (figura 34). A saída do *low side driver* *LO* está referenciada à massa, como o *switch* do transístor *low side* *Q2*. A saída do *high side* *HO* está referenciada a V_S , sendo que V_S está isolado do resto do circuito integrado, podendo ir até aos +600V no caso do *FAN7382*.

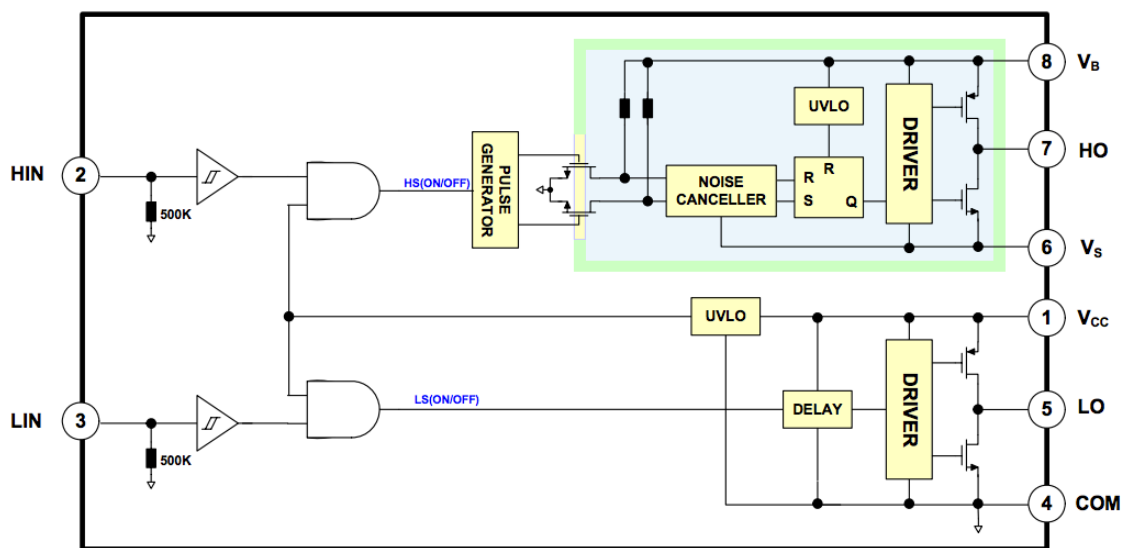


Figura 34 – Diagrama de Blocos interno do circuito FAN7382 [20].

As portas *HIN* e *LIN* são entradas lógicas. Um sinal lógico '1' aplicado na entrada *HIN* significa que queremos colocar em condução o *Mosfet* do *high side*. Do mesmo modo, um sinal lógico '0' aplicado a *HIN* significa que queremos colocar o transistor *high side* no estado de corte, ficando a saída *HO* com o nível lógico 0 (figura 35).

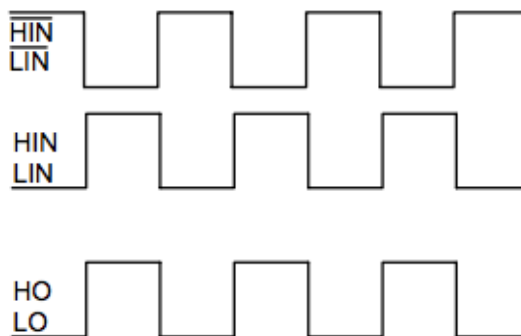


Figura 35 – Input/Output Timing Diagram [32].

A saída *HO* não está referenciada a *COM* mas sim a *VS*. Mais à frente será abordado o uso de um circuito de *Bootstrap* (diodo + condensador + resistência) para tirar partido desta particularidade, usando V_{DD} , V_B e V_S para fazer o *drive* do *Mosfet*.

Quando V_S está no estado *high*, o nível em *HO* é igual ao nível em V_B , referenciado a V_S . Se está no estado *low*, o nível em *HO* é igual a V_S referenciado a V_S , ou seja, é igual a 0.

Um sinal *high* na entrada *LIN* significa que queremos colocar o *Mosfet* do *low side* em condução, ou seja, colocar na saída *LO* o nível lógico *high*. Já um sinal *low* em *LIN* significa que queremos cortar o transístor do *low side*, levando a um nível lógico *low* na saída *LO*. A saída *LO* é respeitante à massa, quando em estado *high* o nível em *LO* é igual ao nível de V_{DD} referenciado à massa. Em estado *low*, o nível em *LO* é igual a *COM* [32].

4.2.1.1 – Circuito de Bootstrap

O conjunto diodo/condensador D_{Boot} e C_{Boot} funciona como um *charge pump*: sempre que o transístor do *high side* estiver *off*, o condensador vai ser carregado através do diodo por V_{DD} . Quando o *low side* passa a *off* e o *high side* passa a *on*, o diodo passa a estar inversamente polarizado e bloqueia a passagem de corrente.

Quando V_S desce abaixo da tensão de alimentação do circuito integrado V_{DD} , o transístor do *low side* $Q2$ conduz ao contrário do transístor *high side* $Q1$. O condensador de *Bootstrap* C_{Boot} carrega através da resistência R_{Boot} e do diodo D_{Boot} , a partir de V_{DD} . Isto advém da tensão V_{BS} , quando V_S sobe para uma tensão mais alta, V_{BS} fica flutuante e o diodo de *Bootstrap* inversamente polarizado bloqueando assim a tensão de V_{DD} . O transístor *low side* encontra-se cortado, enquanto que o transístor *high side* conduz (figura 36).

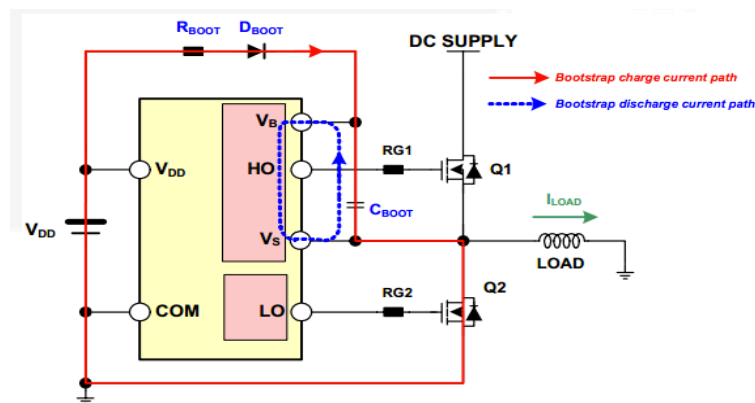


Figura 36 – Circuito de Bootstrap [20].

O circuito de *Bootstrap* apresenta como vantagem a sua simplicidade e o seu baixo custo, contudo também apresenta algumas limitações. O *duty cycle* e o tempo em que este se encontra no estado lógico '1' está limitado pela necessidade de fazer o *refresh* da carga do condensador de *Bootstrap* C_{Boot} .

Uma particularidade que este circuito apresenta é o facto de a tensão negativa no *switch* durante o *turn-off* fazer com que passe corrente na carga proveniente do díodo.

Esta tensão negativa pode trazer problemas para as gates do andar de saída visto que afecta directamente o pino V_S , podendo levar parte do circuito interno a tensões negativas significativas. Outro problema que pode levantar é o facto de criar uma condição de sobre tensão no condensador de *Bootstrap*.

O Condensador de *Bootstrap* carrega através do díodo de *Bootstrap* D_{Boot} , desde V_{DD} . Como V_{DD} está referenciado à massa, a tensão máxima que pode haver no condensador de *Bootstrap* C_{Boot} é a soma de V_{DD} com a amplitude da tensão negativa em V_S .

4.2.1.2 – Dimensionamento do Condensador de *Bootstrap*

O Condensador de *Bootstrap* C_{Boot} é carregado sempre que o transístor Q2 está a conduzir e o pino de *output* está abaixo da tensão V_{DD} . Este apenas descarrega quando o transístor Q1 está a conduzir. Assim, este condensador está no fundo a alimentar a parte do circuito com Q1, nomeadamente com a diferença de tensão V_{BS} .

O primeiro parâmetro a considerar é a queda de tensão máxima que temos de garantir quando Q1 está a conduzir. A queda de tensão máxima permitida V_{Boot} depende da tensão mínima a manter na *gate* de Q1.

Se $V_{GS_{min}}$ é a tensão mínima *gate-source*, a queda no condensador deve ser:

$$\Delta V_{Boot} = V_{DD} - V_F - V_{GS_{min}}$$

onde,

V_{DD} = Tensão de alimentação do circuito[V];

V_F = *Bootstrap diode forward voltage drop* [V].

O valor do condensador de *Bootstrap* será dado por:

$$C_{BOOT} = \frac{Q_{TOTAL}}{\Delta V_{BOOT}}$$

onde Q_{TOTAL} é a quantidade total de carga fornecida pelo condensador.

A carga total fornecida pelo condensador Q_{TOTAL} é dada por:

$$Q_{TOTAL} = Q_{GATE} + (I_{LKCAP} + I_{LKGS} + I_{QBS} + I_{LK} + I_{LKDIODE}) * t_{ON} + Q_{LS}$$

onde

Q_{GATE} = Total gate charge;

I_{LKGS} = Switch gate-source leakage current;

I_{LKCAP} = Bootstrap capacitor leakage current;

I_{QBS} = Bootstrap circuit quiescent current;

I_{LK} = Bootstrap circuit leakage current;

Q_{LS} = Charge required by the internal level shifter, set to 3nC for all HV gate drivers;

t_{ON} = High-side switch on time;

$I_{LKDIODE}$ = Bootstrap diode leakage current.

O parâmetro $I_{LKDIODE}$ do condensador apenas é importante se o condensador usado for do tipo eletrolítico, caso contrário poderá ser desprezado.

$$V_{DD} = 15V$$

$$Q_{Gate} = 26nC \text{ (máximo)}$$

$$I_{LKGS} = 100nA \text{ (máximo)}$$

$$I_{LKCAP} = 0 \text{ (Condensador Cerâmico)}$$

$$I_{QBS} = 120\mu A \text{ (máximo)}$$

$$I_{LK} = 50\mu A \text{ (máximo)}$$

$$Q_{LS} = 3nC$$

$$T_{ON} = 12,5\mu s \text{ (Duty} = 50\%, f_s = 40KHz)$$

$$I_{LKDIODE} = 10nA$$

$$Q_{TOTAL} = Q_{GATE} + (I_{LKCAP} + I_{LKGS} + I_{QBS} + I_{LK} + I_{LKDIODE}) * t_{ON} + Q_{LS} = 100nC$$

Se a queda permitida aos terminais do condensador durante a condução de Q1 for de 1V, então

$$C_{BOOT} = \frac{Q_{TOTAL}}{\Delta V_{BOOT}} = 100nF$$

4.2.1.3 – Dimensionamento da Resistência de Bootstrap

A resistência de *Bootstrap* irá introduzir uma queda de tensão adicional, de valor:

$$V_{RBOOT} = \frac{I_{CHARGE} * R_{BOOT}}{t_{CHARGE}}$$

onde

I_{CHARGE} = Corrente de carga do condensador de *Bootstrap*;

R_{BOOT} = Resistência de *Bootstrap*;

t_{CHARGE} = *Bootstrap capacitor charging time (the low-side turn-on time)*.

4.2.1.4 – Resistências e Díodos na Gate dos Transístores

As resistências entre a *gate* e a *source* dos *Mosfet's* funcionam com um *pull-down*, como forma de prevenir que estes entrem acidentalmente em condução. Tal facto pode ocorrer por ruído externo, normalmente na situação de arranque inicial do circuito quando a *gate* se encontra flutuante.

Nessas condições, a *gate* flutuante poderá levar à condução dos *Mosfet's* devido à capacidade de *Miller* existente entre o dreno e a *gate*. Esta resistência da *gate* para a *source* funciona como um *pull-down*.

Em relação aos díodos nas *gates*, permitem descarregar rapidamente as capacidades do *Mosfet*, e fazer o *bypass* das resistências de *gate* e assim reduzir o tempo de *turn off*. As

resistências que fazem o paralelo com os diodos servem para limitar a corrente de *gate* dos transístores.

4.2.1.5 – Interface entre a Saída do MSP e a Entrada do FAN7382

Após os primeiros testes do circuito, verificou-se que o mesmo funciona corretamente caso as entradas estejam acima de 2.8V. Caso o MSP430G2553 seja alimentado acima de 2.8V, as suas saídas são ativas à tensão de alimentação e portanto não se verifica nenhum problema. No entanto, no *setup* montado no laboratório para testar o *drive* do altifalante não foi logicamente usado o amplificador *Grundig* usado no *setup* experimental referido anteriormente, visto pretender-se uma solução portátil.

Assim, surgiu a necessidade de fazer acondicionamento de sinal para garantir que o estado lógico '1' é representado num nível de tensão superior a 2.8V e assim testar o funcionamento do circuito.

O uso de *Opamp's* para este efeito é desaconselhado devido à largura de banda dos mesmos, bem como o *slew rate*.

Usando a seguinte abordagem, foi construindo um inversor com recurso a transístores bipolares (figura 37):

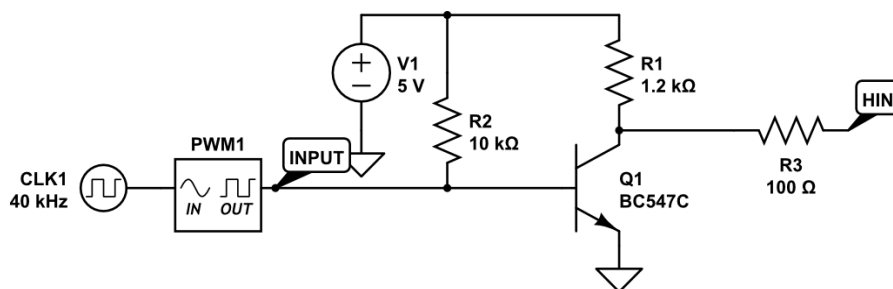


Figura 37 – Inversor com BJT.

Com o material existente em armazém, foi montado um circuito que consiste num inversor para uma das entradas e em dois inversores na outra das entradas. Garantimos assim duas ondas quadradas invertidas entre si, e que os dois transístores não estão a conduzir em simultâneo.

Para alimentar este circuito, foi usado um regulador L7805 de 15V para 5V, existente no armazém do DETI.

Deste modo, e após ter sido ajustado o valor das resistências para garantir saídas de cerca de 5V, o resultado final é o indicado na figura seguinte (figura 38):

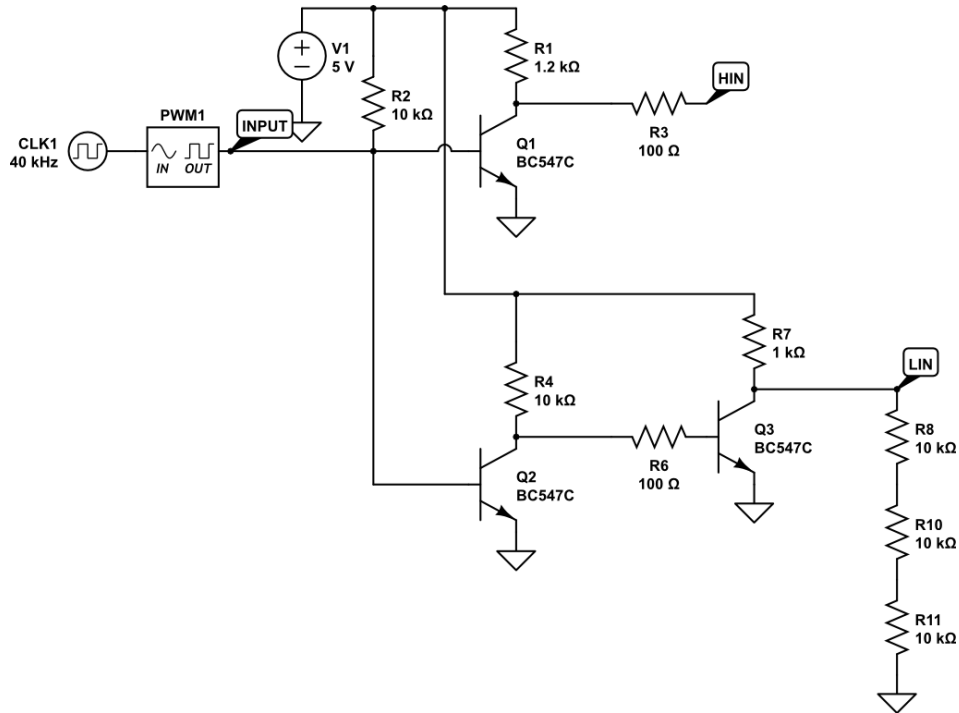


Figura 38 – Circuito com saída inversora e não inversora, com BJT.

Simulando o circuito com o auxílio da ferramenta *CircuitLab.com* vem (figura 39):

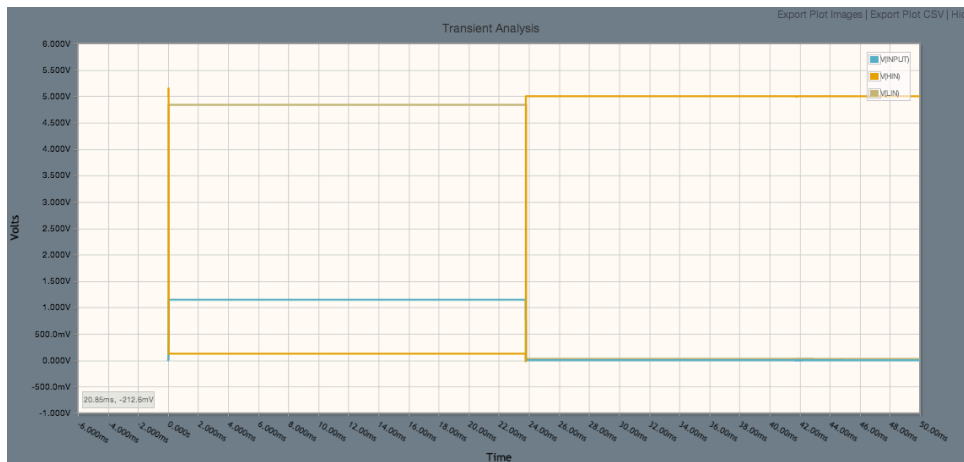


Figura 39 – Simulação do inversor com BJT.

Verifica-se que temos duas ondas quadradas invertidas entre si, entre 0 e 5V.

Após este estudo e o respectivo dimensionamento, o circuito testado foi o circuito desenhado e montado na figura 40 e 41 respetivamente.

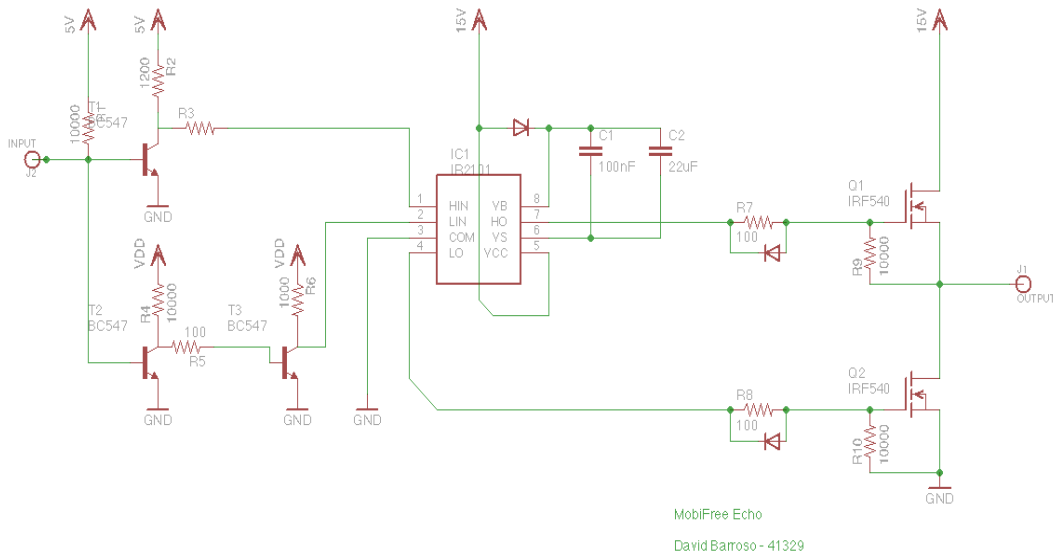


Figura 40 – Esquema do circuito final de teste.

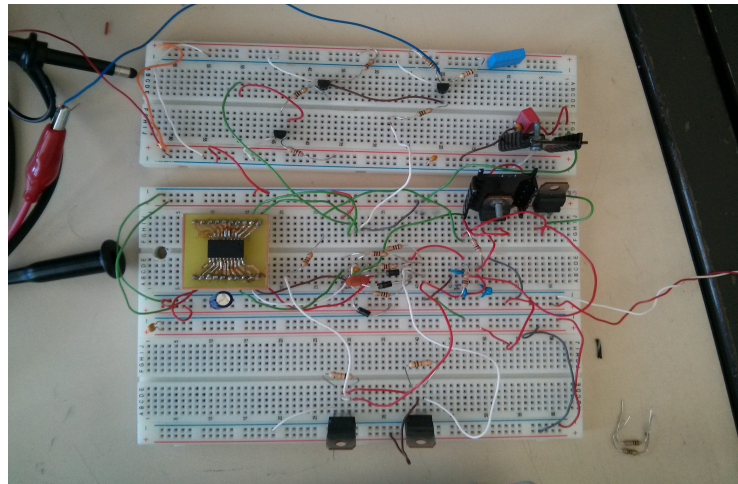


Figura 41 – Circuito montado em placa branca para testes em laboratório.

4.2.2 – Teste do Circuito de Drive do Altifalante

Para testar o circuito, a entrada foi ligada a um gerador de sinal com uma onda quadrada, com *duty cycle* de 50% e com amplitude de 1.8V pico a pico.

Na saída foi ligada uma carga de $1k\Omega$.

Nas figuras 43 a 46 é possível verificar o funcionamento do inversor, gerando duas ondas quadradas invertidas a partir de uma onda quadrada na entrada. Podemos verificar ainda que as saídas *HO* e *LO* correspondem ao esperado, sendo duas ondas quadradas simétricas de amplitude igual à tensão de alimentação, à parte dos picos verificados no flanco ascendente do sinal de saída, justificados pela falta de desacoplamento que irá ser corrigida de seguida (figura 47 e figura 48).

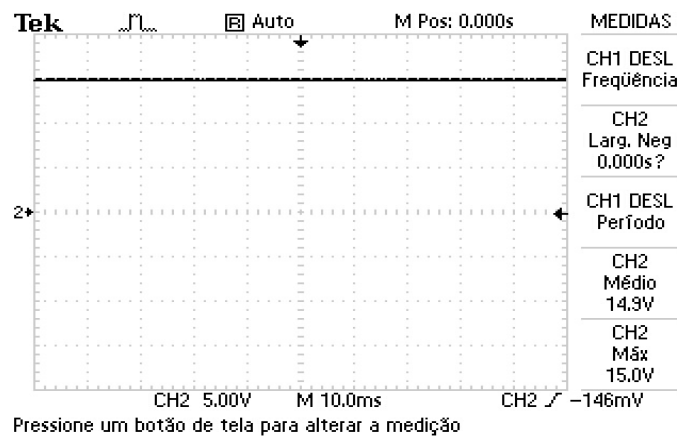


Figura 42 – Tensão de Alimentação do circuito: 15V.

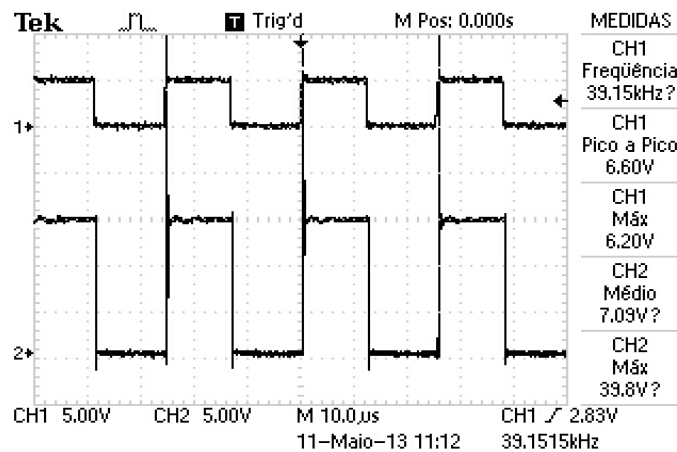


Figura 43 – Onda do gerador de sinal (canal 1) vs. Entrada Hin (canal 2).

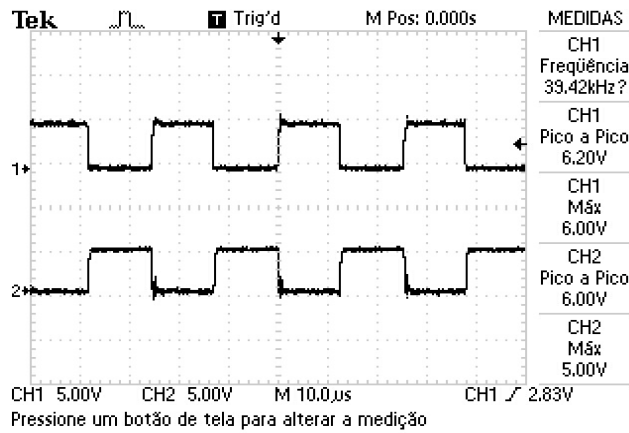


Figura 44 – Entrada Hin (canal 1) vs. Entrada Lin (canal 2).

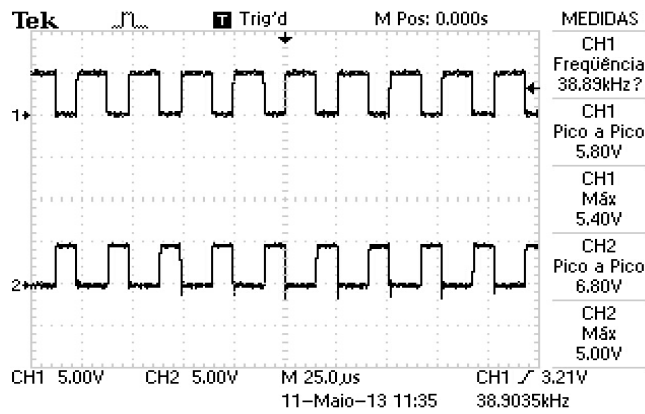


Figura 45 – Entrada Hin (canal 1) vs. Lin (canal 2).

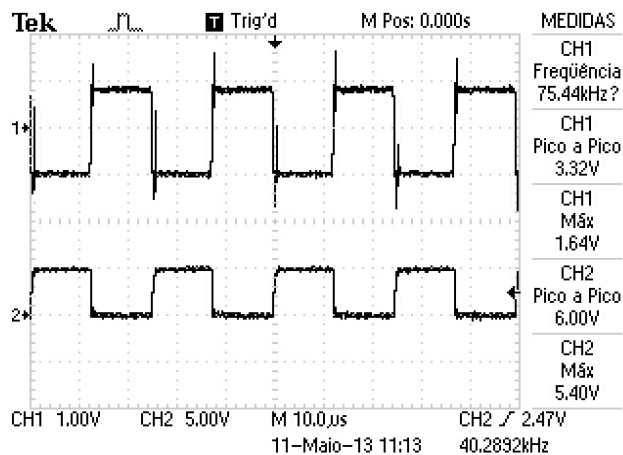


Figura 46 – Onda do gerador de sinal (canal 1) vs. Entrada Lin (canal 2).

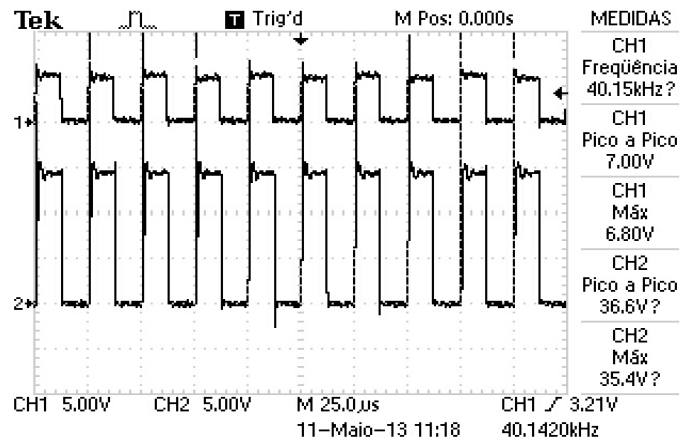


Figura 47 – Entrada Hin (canal 1) vs. Saída LO (canal 2).

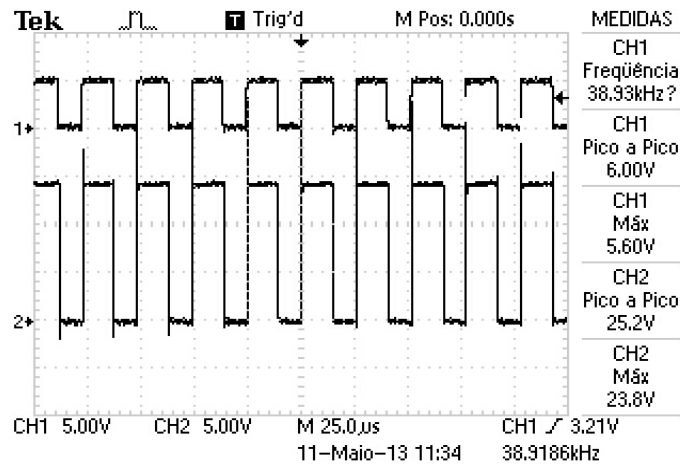


Figura 48 – Entrada Hin (canal 1) vs. Saída HO (canal 2) com condensador de desacoplamento.

Tendo em conta o teste realizado e as capturas realizadas com o osciloscópio, verifica-se que o circuito funciona como esperado. O circuito inversor revela-se eficaz e com ganho suficiente para que o *FAN7382* comute de estado de acordo com a entrada, obtendo-se duas ondas quadradas invertidas.

As gates dos *Mosfet's* são atuadas corretamente através das saídas *HO* e *LO*, verificando-se também o correto dimensionamento do condensador de *Bootstrap*.

Os picos que se verificam nas capturas realizadas revelam que não obstante o funcionamento do circuito ser o esperado, é necessário rever o desacoplamento do circuito, devendo ser efectuados testes com vários condensadores a fim de otimizar o seu efeito. No entanto, o facto de o circuito ter sido montado numa placa branca tem como resultado o

aparecimento de inúmeras capacidades parasitas, que na fase de prototipagem em circuito impresso não se deverão verificar.

Por outro lado, sendo que se pretende ter um sistema portátil, um ponto fundamental do projeto é a alimentação. Pretende-se ter um sistema compacto, pelo que pretende-se utilizar uma bateria de iões de *litium* de 3.7V como fonte de alimentação do sistema.

Assim, faz sentido usar uma Ponte H completa, onde com os quatro *Mosfet's* podemos duplicar a tensão aplicada à carga, neste caso ao altifalante (figura 49).

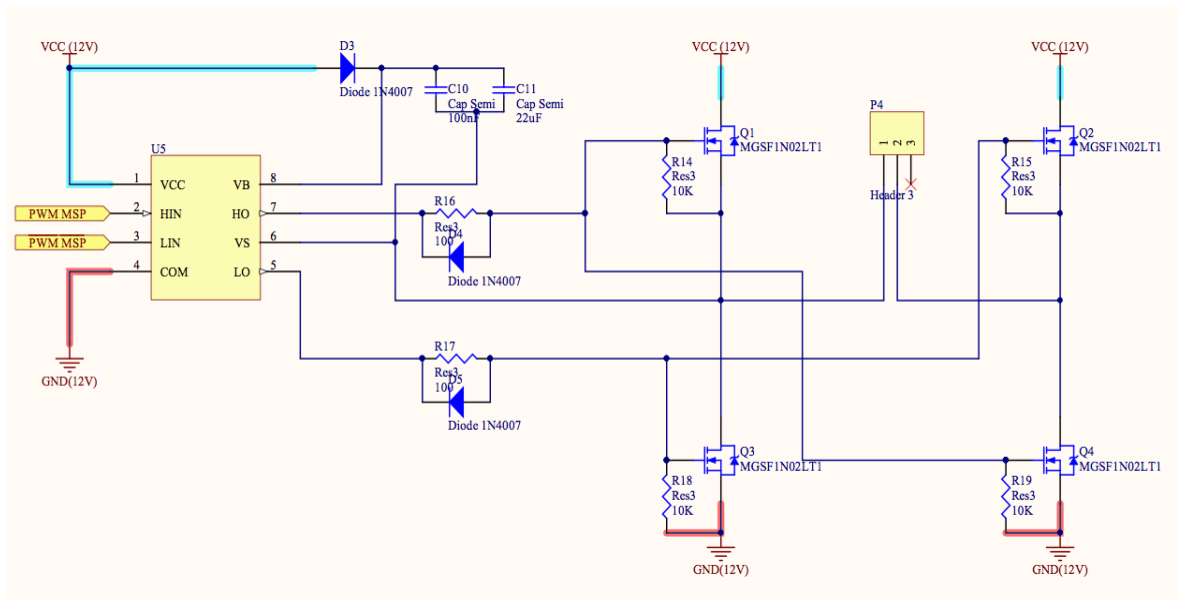


Figura 49 – Circuito com Full Bridge.

Acrescentando apenas Q3 e Q4, podemos duplicar a tensão aplicada ao altifalante.

Feita a montagem destes dois *Mosfet's*, foram colocadas duas pontas de prova de forma a colocar uma de cada lado do altifalante. Foi também revisto o desacoplamento do circuito.

Em seguida, usando o menu *Math* do osciloscópio e usando a função diferença *CH1-CH2*, obtiveram-se os seguintes resultados, ilustrados nas figuras 50, 51 e 52.

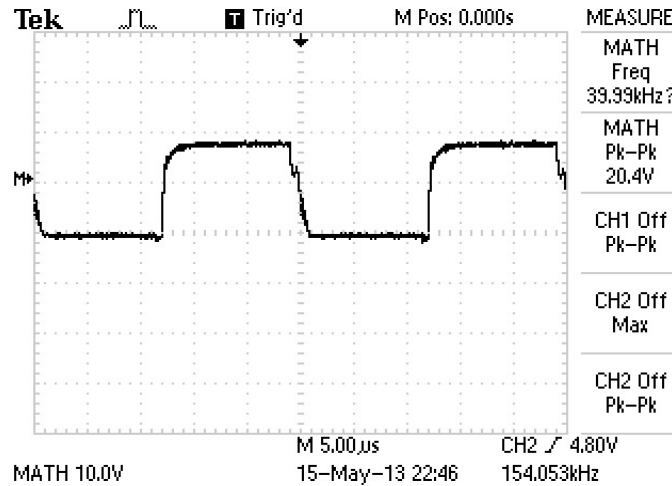


Figura 50 – Tensão aos terminais do Altifalante usando VCC=10V.

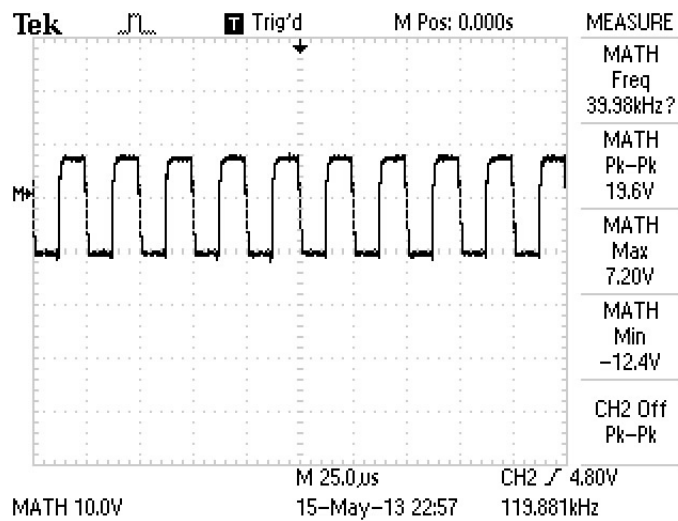


Figura 51 – Tensão na base dos transistores high-side com VCC=10V.

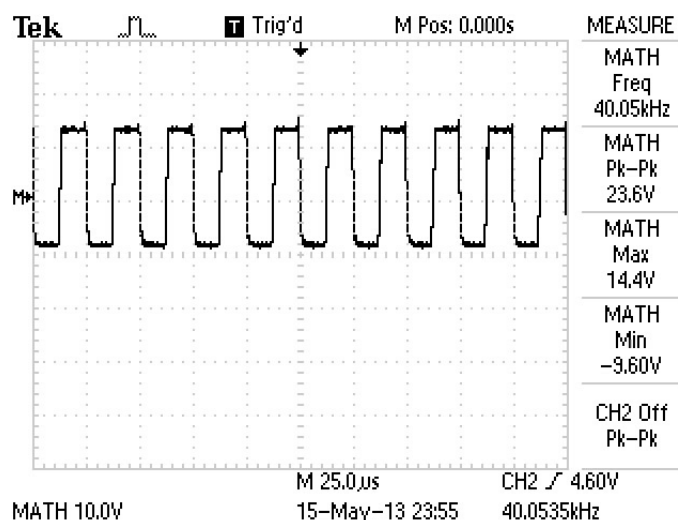


Figura 52 – Tensão na base dos transistores low-side com VCC=12V.

Verifica-se que o circuito comuta como pretendido. Com uma alimentação de 10V conseguimos obter um sinal de 20V aos terminais do altifalante (figura 50 e 51), e com uma tensão de alimentação de 12V obtemos 24V (figura 52). Aplicando este *setup*, pode então estudar-se a conceção de um sistema portátil alimentado a bateria.

4.3 – CONCEÇÃO DO SISTEMA PORTÁTIL

Após ter sido estudada e implementada uma solução para o *drive* do altifalante paramétrico, segue-se a integração desse mesmo circuito num sistema portátil. Desse modo, serão analisadas de seguida as soluções encontradas para esta aplicação.

4.3.1 – MSP430

O sistema tem como elemento de processamento o microcontrolador MSP430G2553. É um microprocessador da *Texas Instruments* de arquitetura *RISC* de 16 bits, com uma memória *flash* de 16KB, dois *timers* de 16 bit, uma ADC de 10 bits e uma frequência de relógio de 16MHz. Este circuito integrado funciona com tensões de alimentação de 1.8V a 3.6V. É um dispositivo ultra *low power*, consumindo 230μA em modo activo, 0.5μA em modo stand-by e 0.1μA em sleep mode.[33]

A sua programação pode ser efectuada através de *Spy-By-Wire*, usando para isso o dispositivo de baixo custo *Launch Pad* da *Texas Instruments*.

Na figura seguinte (figura 53) encontra-se o esquema do uso do MSP430 no sistema:

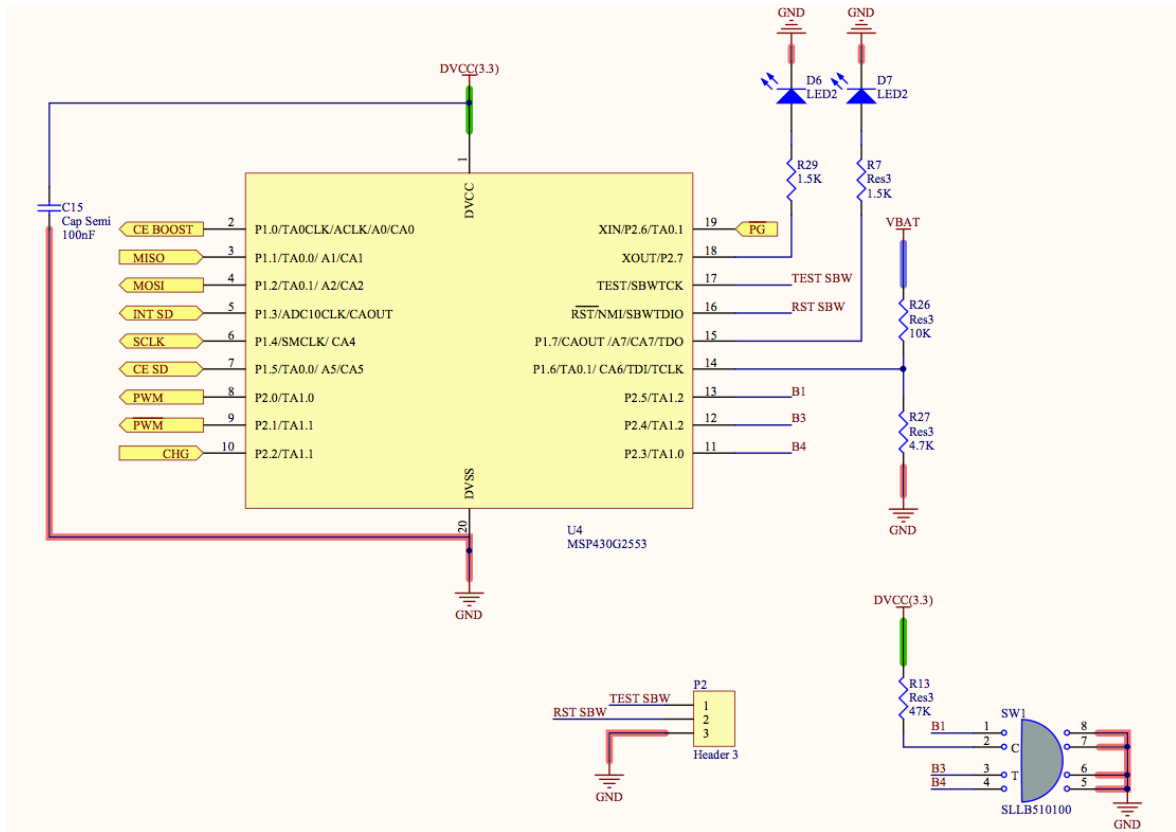


Figura 53 – Circuito de aplicação do MSP430 no sistema.

No pino 2, a porta P1.0 encontra-se ligada ao *Chip Enable* do circuito de alimentação *Boost* de 12V. Este tem como função ligar ou desligar a alimentação de 12V do sistema, quer em caso de detecção de bateria fraca, quer no caso de detecção da interrupção do botão responsável por ligar e desligar o sistema.

Os pinos 3, 4, 5, 6 e 7 (portas P1.1 a P1.5 respectivamente) encontram-se ligados ao cartão de memória, fazendo parte da comunicação *SPI* com o cartão SD.

Nos pinos 8 e 9 (portas P2.0 e P2.1 respectivamente) encontram-se as saídas de *PWM* (Pulse Width Modulation) do sistema, que vão atuar na entrada do *Mosfet Driver*.

O pino 10 (P2.2) é uma entrada proveniente do circuito de carregamento de baterias. Este tem como finalidade informar o microcontrolador se a bateria está ou não a

ser carregada, enquanto que o pino 19 (P2.6) indica se a tensão aplicada no adaptador DC é ou não compatível com o processo de carregamento.

Os pinos 11, 12, 13 (P2.3, P2.4 e P2.5) são entradas provenientes de um botão com três graus de liberdade. Estas têm como funcionalidade informar o microcontrolador se o botão foi ou não atuado, e em que sentido foi atuado.

O pino 14 (P1.6) encontra-se ligado no centro de um divisor resistivo. Este tem como objectivo medir através da *ADC*, a tensão da bateria. Por uma questão de consumo de energia, as resistências usadas foram de $1M\Omega$ e $470K\Omega$.

Para a programação do microcontrolador por *Spy-by-Wire*, os pinos *Reset* e *Test* (pino 16 e 17 respectivamente) bem como o *GND*, foram ligados a um conector de três pinos *Molex* para facilitar a programação do dispositivo apenas com a ligação do conector.

Os pinos 15 e 18 (P1.7 e P2.7) são outputs ligados a *LEDs*, com o objectivo de serem usados como *debug* do sistema. Um dos *LEDs* tem como objectivo indicar se o sistema está ou não ligado, enquanto que o outro tem como objectivo indicar se a bateria está ou não a ser carregada.

4.3.2 – Alimentação 3.3V

O sistema será alimentado por uma bateria de iões de *litium* de 3.7V, com uma capacidade de 4400mah.

É necessário regular a alimentação para o microcontrolador, cuja alimentação máxima é 3.5V, e para os transístores do andar de amplificação, cuja alimentação máxima poderá ser 12V, pois os transdutores têm como alimentação máxima 24V pico a pico.

Assim, foi considerado para a alimentação digital o regulador TPS78330 da *Texas Instruments*. É um regulador da família de reguladores *low dropout* TPS783, apresentando uma *quiescent current* I_Q de apenas 500nA, uma característica fundamental numa aplicação que se pretende o mais *low power* possível. Apresenta uma alimentação estável de 3.3V à sua saída, usando apenas dois condensadores de desacoplamento de $1\mu F$, na entrada e na saída (figura 54).

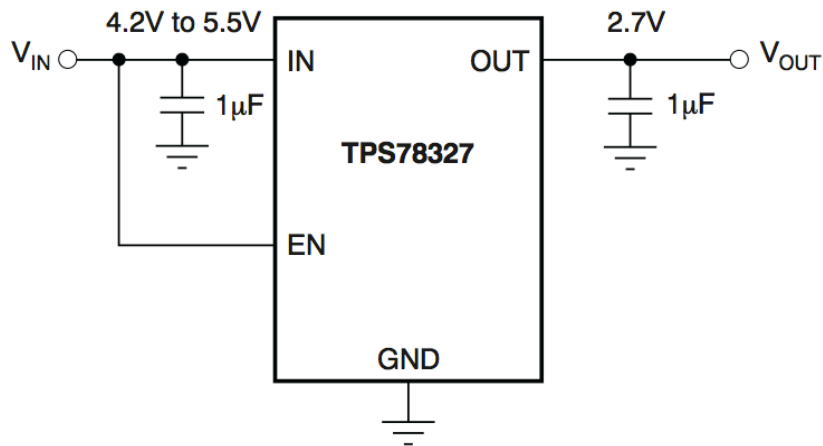


Figura 54 – Circuito de aplicação típica da família de reguladores TI TPS783 [34].

O facto de ser um regulador *low dropout* leva a que seja garantido que consegue regular a tensão de alimentação digital em 3.3V até a tensão da bateria atingir $V_{DIG} + V_{DO} = 3.3V + 0.25V = 3.55V$. Quando a bateria está 100% carregada, apresenta uma tensão de 4.2V. Segundo a curva de descarga fornecida pelo fabricante da bateria utilizada, quando a tensão atinge os 3.55V, a capacidade da mesma é inferior a 440mah, o que é menos de dez por cento da capacidade total. Assim, o regulador TPS78330 vai de encontro aos requisitos do projeto.[34]

A tensão regulada em 3.3V foi denominada no projeto por DVCC(3.3).

4.3.3 – Alimentação 12V

No que diz respeito à alimentação da etapa de amplificação do altifalante, temos necessidade como foi mostrado anteriormente de dispor de uma alimentação de 12V.

O circuito utilizado para este efeito é o circuito integrado da *Texas Instruments* TPS55340. Trata-se de um regulador de *switching*, montado na topologia *Boost* (figura 55).

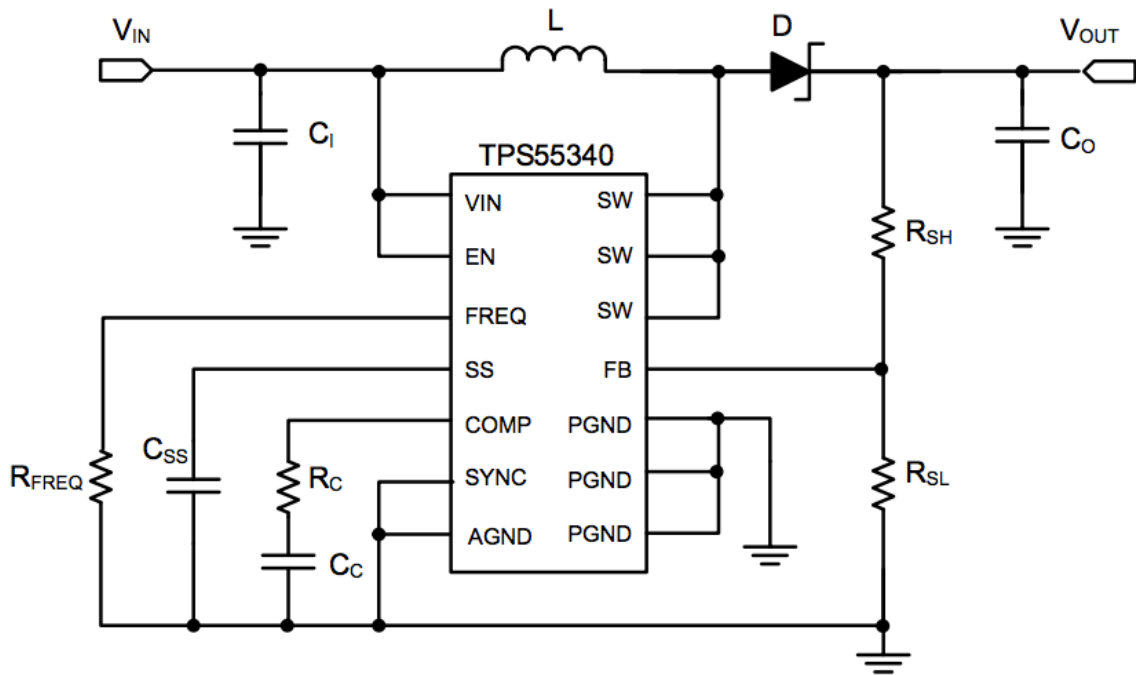


Figura 55 – Circuito do regulador TI TPS55340 na topologia Boost [35].

Este integrado permite uma queda de tensão de 40V entre a *source* e o dreno do *Mosfet* interno de canal N, e uma corrente até 5A, permitindo colocar na saída uma tensão de 38V.

A saída é regulada com controlo de corrente por *PWM* (figura 57). Este circuito de controlo de *PWM* aplica a tensão de entrada à bobine no início de cada ciclo de relógio do oscilador. A energia é armazenada com a subida da corrente na indutância.

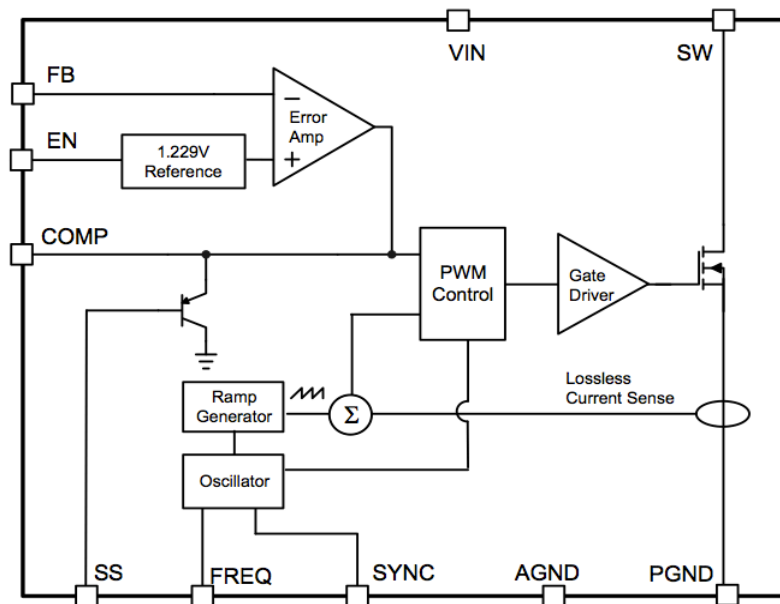


Figura 56 – Diagrama de Blocos Interno do TI TPS55340 [35].

Durante esta parte do ciclo, a corrente na carga é fornecida pelo condensador à saída. Quando a corrente na bobine atinge um nível de *threshold* definido pelo amplificador de erro, o *switch* desliga-se e o diodo de *schottky* externo passa a conduzir para permitir um fluxo de corrente da bobine para a saída.

A bobine transfere a energia que armazenou, carregando o condensador à saída e fornece corrente à carga. Esta operação repete-se em todos os ciclos de *switching*.

O *duty cycle* do conversor é determinado pelo comparador de controle de *PWM*, que compara a saída do amplificador de erro e o valor da corrente à saída.

A frequência de oscilação é programada por uma resistência externa, R_{freq} .

O sinal de rampa do oscilador é somado ao sinal de rampa da bobine, para compensar o tempo de subida da tensão. A compensação do tempo de subida é necessária para evitar oscilações provocadas pelos picos de corrente, originários de *duty cycles* superiores a 50%. Se o valor da bobine for demasiado pequeno, o valor da compensação do tempo de subida pode tornar-se desadequado para manter a estabilidade do sistema.

O controle de realimentação de *PWM* regula o pino *FB* para uma tensão de referência através de um amplificador de erro de transcondutância.

A saída do amplificador de erro é ligada ao pino *COMP* [35].

4.3.4 – Carregamento da Bateria

O carregamento da bateria será gerido pelo circuito integrado da *Texas Instruments* BQ24040 (figura 57).

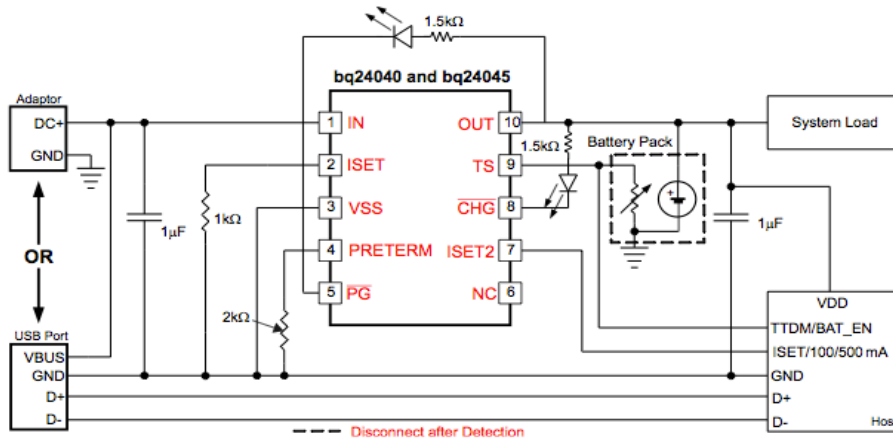


Figura 57 – Carregador de baterias de lítium com o TI BQ24040 [36].

A alimentação do carregador pode ser efectuada por um adaptador DC ou por uma porta USB, sendo que este circuito integrado detecta a presença da bateria antes de começar o processo.

O circuito integrado BQ24040 pode ser usado para carregar a bateria, fornecer energia ao sistema, e ainda alimentar e carregar ao mesmo tempo.

Este carregador efetua o carregamento em três fases: a fase *pre-charge*, a fase *fast-charge* de corrente constante, e a fase de tensão constante que permite alcançar a capacidade máxima da bateria (figura 58).

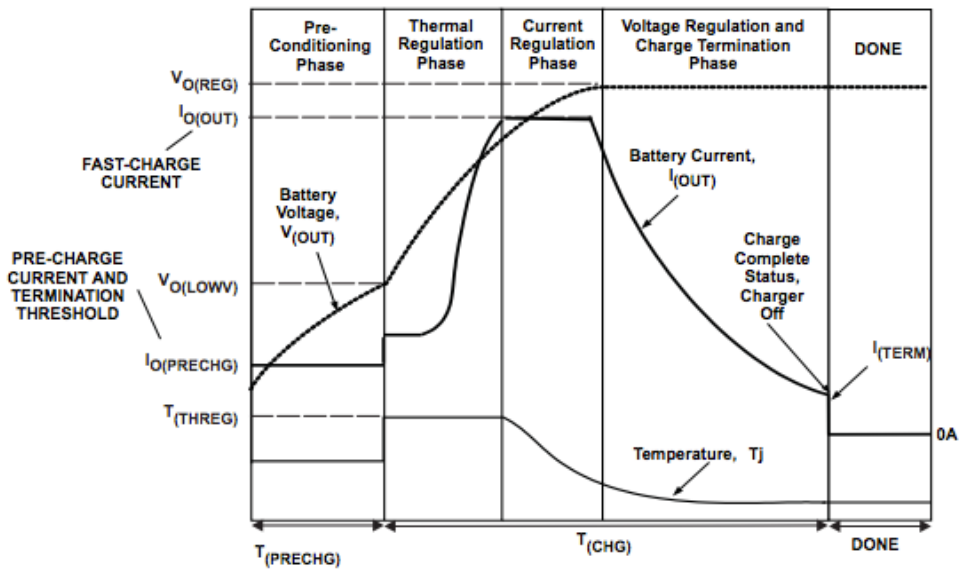


Figura 58 – Fases de Carregamento da Bateria [36].

No início da fase de carga, a tensão da bateria é comparada com um *threshold LOWV*. Se estiver abaixo deste valor, a bateria é considerada descarregada, iniciando-se um processo de pré-acondicionamento.

A quantidade de corrente a utilizar nesta fase de pré-acondicionamento varia entre 10% e 100% da corrente de *pre-charge*. Esta corrente pode ser programada através do pino *PRETERM*. A corrente de pré-carga pode ser superior tendo em conta a resistência de entrada do sistema, permitindo à bateria estar devidamente acondicionada.

O pino *PRETERM* tem ainda a função de determinar o *threshold* de terminação da fase de *pre-charge*. Esta fase de carregamento da bateria é sempre considerado terminado quando a corrente que flui para a bateria for metade da corrente de pré-carga.

Assim que a bateria estiver no *threshold* de *LOWV* é iniciada a fase de corrente constante. Esta fase de carga rápida pode ser programada através do pino *ISET*. A carga obtida nesta fase corresponde à maior parte da carga final da bateria.

Durante este processo, o circuito integrado monitoriza constantemente a temperatura. Se o circuito integrado atingir os 125°, entra num ciclo de "*thermal regulation*", reduz a velocidade de relógio para metade e reduz a corrente de modo a impedir que a temperatura suba ainda mais. Em condições normais, a temperatura da junção do integrado situa-se abaixo dos 125° e a regulação térmica não se verifica.

Assim que a bateria tenha atingido a tensão de regulação, ou seja, os 4.20V, inicia-

se a última fase de carga denominada tensão constante, sendo aplicada uma tensão igual à tensão da célula quando carregada, 4.20V.

O pino *CHG* fica com valor lógico '0' durante as fases de carga, ficando com valor lógico '1' assim que as condições de fim de carga são atingidas [36].

4.3.5 – SD Card

Visto que a memória flash do MSP430G2553 é de apenas 16KB, o uso de sinais mais complexos pode ser limitado pela capacidade de armazenamento apresentada pelo MSP. Assim, o sistema terá suporte para armazenamento em SD *card* (figura 60).

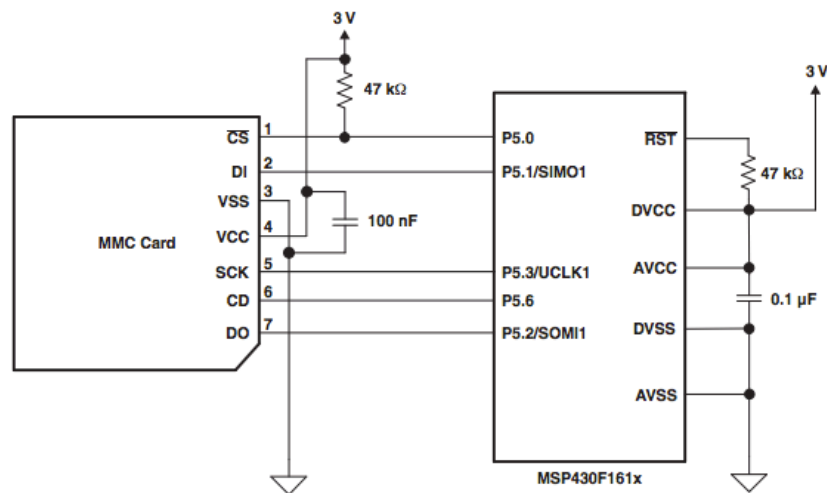


Figura 59 – Application Report SD CARD MSP430 [37].

A comunicação entre o MSP430 e o cartão de memória *SD* é feita por *SPI*, protocolo este que permite transferência de dados bidirecional em simultâneo.

Esta transferência de dados é efectuada com recurso ao módulo *USART* do *MSP*, configurado no modo *SPI*.

São necessárias quatro portas do MSP430G2553, três para esta comunicação por *SPI* e uma porta I/O genérica para o *chip enable* do cartão SD:

- P1.1 - MISO: *Master input, slave output (output from slave)*;
- P1.2 - MOSI: *Master output, slave input (output from master)*;
- P1.4 - SCLK: *Serial clock (output from master)*;
- P1.5 - CE SD: *Chip enable SD Card* [37].

5 – TESTES COM CEGOS

Neste capítulo o sistema será testado com invisuais, por forma a perceber se a abordagem utilizada ao longo deste projeto é eficaz na prática, e se o uso de um sistema com um altifalante paramétrico se traduz numa vantagem no dia a dia de um invisual. Será elaborado um plano de testes e montado um cenário experimental real, para que possamos ter noção do uso do sistema de forma autónoma, bem como das suas limitações.

5.1 – AMBIENTE DE TESTES

Os testes de orientação e detecção de obstáculos em ambiente interior terão lugar no corredor junto da sala 4.3.17 (figura 60), do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, da Universidade de Aveiro.



Figura 60 – Planta do 3º Piso do DETI.

No decorrer dos testes, deve ser preenchida uma folha de registo com os dados do colaborador na experiência.

Deverá ser identificado e registado o tipo de deficiência visual que o mesmo tem, bem como se já nasceu com deficiência visual ou se a mesma foi adquirida ao longo da vida .

Na sessão de testes, o primeiro objectivo passa por ambientar o invisual ao uso do dispositivo MobiFree Echo, bem como estimular as suas capacidades auditivas de forma a tentar desenvolver a capacidade de eco-localização.

Assim, o invisual deverá ser guiado ao longo do corredor, onde lhe deve ser explicado o funcionamento do equipamento e onde será demonstrado o seu uso.

Serão feitas aproximações graduais até às paredes laterais do corredor, para que o cego possa verificar o aumento do eco com a aproximação do obstáculo.

Do mesmo modo, o invisual terá o primeiro contacto com os obstáculos a serem usados nos testes, com a mesma abordagem utilizada para o caso das paredes. Os obstáculos serão dois postes em PVC, com uma altura de 2 metros, tendo 10cm de diâmetro (figura 63).

Após este primeiro contacto com o dispositivo, o invisual terá a possibilidade de utilizar o dispositivo com os vários sons disponíveis, indicando qual o som pretendido.

Para proceder à escolha perante os sons disponíveis, devem ser verificados e ajustados os seguintes pontos:

- 1 - O nível de intensidade do som produzido é insuficiente, adequado ou excessivo;
- 2 - O som é ou não suficientemente curto para distinguir os pulsos consecutivos;
- 3 - O participante consegue detectar o poste com este som;
- 4 - O uso do som é incomodativo ou não.

Comparando todos os sons utilizados para detectar o obstáculo com eco localização, os participantes indicarão o som que lhes pareceu mais indicado e, a partir desse momento, os testes foram efectuados com base nessa mesma escolha.

5.2 – PROTOCOLO DA EXPERIÊNCIA

A experiência foi realizada no dia 16 de setembro de 2013, no corredor do DETI do 3º piso, começando junto à sala 303 e acabando junto à sala 319.

Na figura seguinte (figura 61) é possível observar o percurso efectuado, estando assinalado a vermelho com os pontos de partida e de chegada. A verde, encontram-se os pontos onde poderão ser colocados obstáculos no percurso, podendo ser a -2m, -1m, 0m, 1m e 2m dos conjuntos de portas 1/2 e 3/4. Encontra-se ainda assinalado a amarelo o ponto de onde será efectuada a gravação, junto à sala 4.3.20, com recurso a uma câmara de vídeo.



Figura 61 – Planta do 3º piso do DETI com o trajeto e numeração das portas (vermelho), posição dos obstáculos (verde) e posição da Câmara de Vídeo (amarelo).

O percurso realizado começou em frente à sala 4.3.03, terminando em frente da sala 4.3.19.

Ao longo do percurso foram colocados os dois postes, cujo posicionamento foi definido de forma aleatória pelo computador, num script Matlab, para não comprometer a validade da identificação do obstáculo.

Foi definido que as portas 1 e 2, bem como as portas 3 e 4, não podiam estar abertas em simultâneo.

Numa primeira fase, o invisual teve um período de habituação ao sistema, sendo que deve fazer três vezes o percurso acompanhado e, em caso de se sentir mais à vontade, com o meio de auxílio que habitualmente usa.

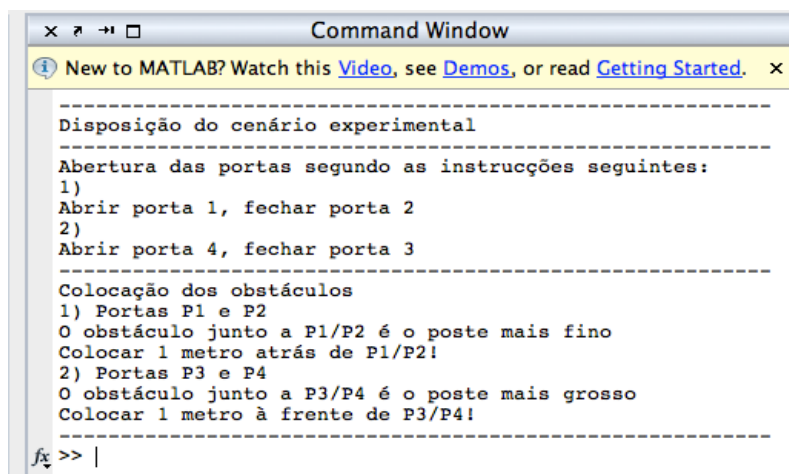
Foi questionado ao colaborador se conseguiu detetar o obstáculo antes de o meio de auxílio usado, cão guia ou bengala, detectarem o mesmo.

Nesses percursos, o acompanhante descreveu os obstáculos e as diferentes configurações possíveis para as posições das portas ao invisual, para que o mesmo possa explorar o ambiente que o rodeia através do eco.

Assim, o invisual deverá conseguir perceber os diferentes ecos gerados pelos diferentes obstáculos, obter a noção da distância ao obstáculo e relacionar a informação que lhe é dada pelo acompanhante com a informação que consegue perceber pelo eco.

De seguida, o utilizador deverá efetuar o percurso três vezes, sem acompanhante.

Neste caso, um script *MatLab* gera a abertura e fecho das portas (figura 62), bem como a colocação ou não de obstáculos, e a posição desses mesmos obstáculos. De forma a não influenciar os resultados, o invisual deverá estar dentro da sala 301 enquanto o cenário da experiência é definido e montado, devendo apenas sair da sala quando indicado.



```
Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
-----
Disposição do cenário experimental
-----
Abertura das portas segundo as instruções seguintes:
1)
Abrir porta 1, fechar porta 2
2)
Abrir porta 4, fechar porta 3
-----
Colocação dos obstáculos
1) Portas P1 e P2
O obstáculo junto a P1/P2 é o poste mais fino
Colocar 1 metro atrás de P1/P2!
2) Portas P3 e P4
O obstáculo junto a P3/P4 é o poste mais grosso
Colocar 1 metro à frente de P3/P4!
-----
fx >> |
```

Figura 62 – Exemplo da utilização do script Matlab para definir o cenário experimental de forma aleatória.

Junto a cada porta e a cada obstáculo deverá estar um acompanhante, quer para validar ou não a identificação do obstáculo, quer para garantir a segurança do utilizador do sistema.

Cada acompanhante deverá possuir uma folha de registos, onde será numerada a experiência e os respectivos resultados.

5.3 – TESTES EFETUADOS

Os testes foram efetuados com recurso a dois colaboradores invisuais.

Nestes testes, foi feita uma pequena introdução aos colaboradores, no sentido de lhes explicar o propósito do sistema, a forma de utilização do mesmo e os testes a efetuar.

De seguida, o corredor do cenário experimental foi percorrido por diversas vezes, de forma a familiarizar o utilizador com o sistema. Foram descritos os obstáculos e as portas presentes no corredor, por forma a poderem familiarizar-se com o tipo de obstáculos que se pretendiam detectar. Assim, estando sempre acompanhados, os colaboradores puderam experimentar várias configurações de portas abertas e fechadas e a diferença no eco produzido. Foram também colocados em frente ao poste, para poderem mexer no mesmo e com o altifalante verificar qual o eco proveniente do mesmo.

Depois desta sessão de habituação, os colaboradores fizeram ensaios de forma autónoma.

Em primeiro lugar, o colaborador número 1 efetuou um teste com as portas 1 e 4 abertas, com um poste colocado junto à porta 4 (figura 63).



Figura 63 – Teste do sistema com o colaborador número 1.

De seguida, o colaborador número 2 efetuou dois ensaios, um deles com as portas 1 e 3 abertas e sem obstáculos. O segundo ensaio foi efectuado com as portas 1 e 4 abertas, e com o obstáculo colocado 2 metros em frente da porta 4 (figura 64).



Figura 64 – Teste do sistema com o colaborador número 2.

5.4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos três testes autónomos efectuados regista-se o facto de os colaboradores conseguirem detetar qual é a porta que está aberta com alguma facilidade.

Dos dois colaboradores, o colaborador número 2 conseguiu adaptar-se melhor ao sistema, conseguindo efetuar uma navegação um pouco mais rápida e com mais confiança no resultado.

Apesar de conseguirem detetar descontinuidades numa parede, neste caso uma porta aberta, tiveram dificuldades em detetar o poste. Enquanto que o colaborador número 1 não conseguiu distinguir o poste na navegação com o uso do sistema, o colaborador número 2 conseguiu detetar a existência de um corpo estranho no percurso de ambientação ao sistema. No entanto, nos testes realizados de forma autónoma, revelou-se incapaz de detectar o mesmo em andamento.

Quando se parou o teste por ter quase embatido no poste, foi-lhe pedido para efetuar um varrimento naquela zona e tentar levar a mão ao poste, tarefa que conseguiu concluir com sucesso (figura 65).



Figura 65 – Detecção de um obstáculo no teste do sistema, colaborador número 2.

Ambos os colaboradores tiveram algumas dificuldades em agarrar no dispositivo de forma cómoda, e em orientar o dispositivo virado para a frente e não inclinado para o chão.

Reforçaram também a importância de construir uma versão mais leve do mesmo e de considerar a hipótese de colocar o mesmo junto ao peito, com a possibilidade de adicionar a funcionalidade de um detector de obstáculos, e só no caso de detecção positiva começar a emitir sons.

Assim, o sistema mostra-se capaz de auxiliar na detecção de obstáculos como paredes e portas, mas pouco eficaz na detecção postes cilíndricos. Por outro lado, ambos os colaboradores revelaram uma evolução durante a bateria de testes, percebendo-se assim a importância do treino para o uso da eco localização.

Desse modo, o uso deste dispositivo no futuro terá sempre de ser acompanhado de um treino intensivo, que permita desenvolver a capacidade de eco localização dos seus utilizadores, e que permita fazer essa mesma navegação com a segurança e confiança que a bengala lhes transmite.

Ambos os utilizadores manifestaram algumas reservas em abandonar os seus meios de auxílio habituais, a bengala e o cão guia, uma vez que consideram que o tempo de habituação que lhes permitiu ter uma navegação completamente autónoma é demasiado e parece não justificar a mudança para outro meio. No entanto, mostraram-se entusiasmados com a possibilidade de no futuro surgir um produto baseado nesta tecnologia que lhes permita ter um tempo de habituação menor e que inclua funcionalidades de processamento de detecção de obstáculos.

Por outro lado, acharam interessante incluir a possibilidade de o dispositivo apenas emitir rajadas de sons com o pressionar de um botão, permitindo assim uma navegação mais cómoda sem que o dispositivo incomodasse o utilizador.

6 – CONCLUSÕES

No início dos trabalhos desta dissertação, a questão que se queria ver respondida era se a eco localização poderia efetivamente ser utilizada por invisuais para a localização e navegação autónoma. Para isso, e como casos como o de Ben Underwood são demasiado raros para que possamos generalizar, seria necessário dar de algum modo meios aos invisuais para que pudessem ter um aparelho que gerasse o som necessário e que lhes permitisse desenvolver a capacidade de recolher informação do eco e, a partir daí, conseguir identificar obstáculos no seu caminho e, no extremo, conseguir navegar de forma totalmente autónoma com recurso a este dispositivo.

Nesse sentido, foi estudada a possibilidade de utilizar um altifalante paramétrico constituído por um array de transdutores ultrassónicos.

Esta possibilidade tornou-se numa realidade e na base do projeto. No capítulo 2, foram estudadas as possíveis modulações a utilizar, bem como foram projetados e realizados testes com as mesmas. Visto que os testes efectuados mostraram que através de um sinal modulado em amplitude ou em fase, era possível produzir um som extremamente direcional, cujo eco tornaria mais fácil identificar a fonte da reflexão sonora.

Durante este estudo foi concluído que uma modulação de fase produz um som mais audível e perceptível que a modulação em amplitude.

Mediante os resultados desses testes, e havendo a necessidade de abandonar o setup de laboratório para passar a uma solução verdadeiramente portátil, começou a conceber-se um sistema de amplificação do sinal. No capítulo 4 foi estudado o uso de uma ponte H com *Mosfet's*, por via a que pudessem ser usados reguladores de tensão adequados a uma solução portátil, não esquecendo o facto de o sistema ter de ser alimentado a baterias. Nesse sentido, foi projetado e testado uma ponte H que cumpriu o objectivo proposto. A partir deste ponto, foi necessário projetar a alimentação do sistema, o carregamento da bateria, bem como foi escolhido o microcontrolador a ser utilizado tendo em vista o desempenho energético do sistema.

Ao longo do capítulo 4 é descrita a composição do sistema, sendo descritos os circuitos integrados escolhidos e o seu funcionamento.

Finda a descrição do sistema, no capítulo 5 é elaborado um procedimento experimental que visou verificar se o uso do altifalante paramétrico era ou não adequado para a eco localização.

Revelou-se uma tarefa extremamente enriquecedora, na medida que os dois colaboradores colaboraram empenhadamente neste estudo, respondendo a todas as questões colocadas e dando a sua opinião enquanto utilizadores do sistema. A sua opinião é bastante importante, visto que são pessoas que recorrem diariamente a meios de auxílio convencionais, o cão guia e a bengala, e que permitem ter a noção exata de quais os requisitos que um sistema de auxílio teria que ter para que estes substituíssem o seu auxílio habitual.

No que diz respeito ao uso da eco localização, verificou-se que mediante algum treino se registam evoluções significativas. Usando um ambiente controlado, em que o invisual sabe exatamente a composição do espaço quer a nível de paredes, portas e obstáculos, é possível treinar de uma forma segura a identificação de obstáculos. No entanto, o sistema revelou-se pouco útil na detecção de obstáculos cilíndricos, sendo que os utilizadores revelaram que o som reflectido não era direcional como o som reflectido numa parede, por exemplo, pelo que tornava bastante difícil ter percepção da origem da reflexão.

Foi também transmitida a preocupação com o tipo de som utilizado, tanto a nível do conforto do utilizador do sistema como a nível da sua eficácia na detecção de obstáculos. Desse modo, foi possível concluir que no futuro será necessário efetuar um estudo acerca do som, utilizando testes que permitam categorizar os sons segundo variados parâmetros.

Por outro lado, os utilizadores mostraram algumas reservas a nível social, visto que afirmam ser desconfortável usar um meio de auxílio que faz barulho, visto que as pessoas à sua volta ouvem esse mesmo som. Reforça-se mais uma vez a necessidade de efetuar estudos aprofundados dos sons a utilizar.

Como evolução do sistema, os invisuais que participaram neste estudo sugeriram que o sistema tivesse forma de detectar os obstáculos de forma silenciosa, e que perante essa mesma detecção emitisse rajadas de sons para os utilizadores poderem perceber onde está e de que tipo de obstáculo se trata.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Marília Lima, *Saúde Da Criança: Para Entender O Normal*. Editora Universitária UFPE.
- [2] “Deficiências visuais na criança - S. Hugonnier-Clayette, M. Bourron-Madignier, P. Magnard & A. Hullo.” [Online]. Available: <http://deficienciavisual.com.sapo.pt/txt-defsvisuaiscrianca.htm>.
- [3] “A cidade à vista do cego - Informação, Mobilidade e Cidadania - Maria Paula Trigueiros da Silva Cunha.” [Online]. Available: http://deficienciavisual.com.sapo.pt/txt-Cidade_a_vista_do_cego.htm.
- [4] “WHO | Visual impairment and blindness.”
- [5] “Our Mission | UNMC.” [Online]. Available: <http://www.unmc.edu/eye/internationalmission.htm>.
- [6] “WHO | Causes of blindness and visual impairment.”
- [7] S. A. Kirk and J. J. Gallagher, *Educação da criança excepcional*. Martins Fontes, 1996.
- [8] “Resultados provisórios Censos 2011.” [Online]. Available: http://www.acapo.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=605:censos&catid=1:noticias&Itemid=189.
- [9] “White Cane Safety Day in United States.” [Online]. Available: <http://www.timeanddate.com/holidays/us/white-cane-safety-day>.
- [10] “Deficiência Visual.” [Online]. Available: <http://deficienciavisual.com.sapo.pt/txt-bengala.h>.

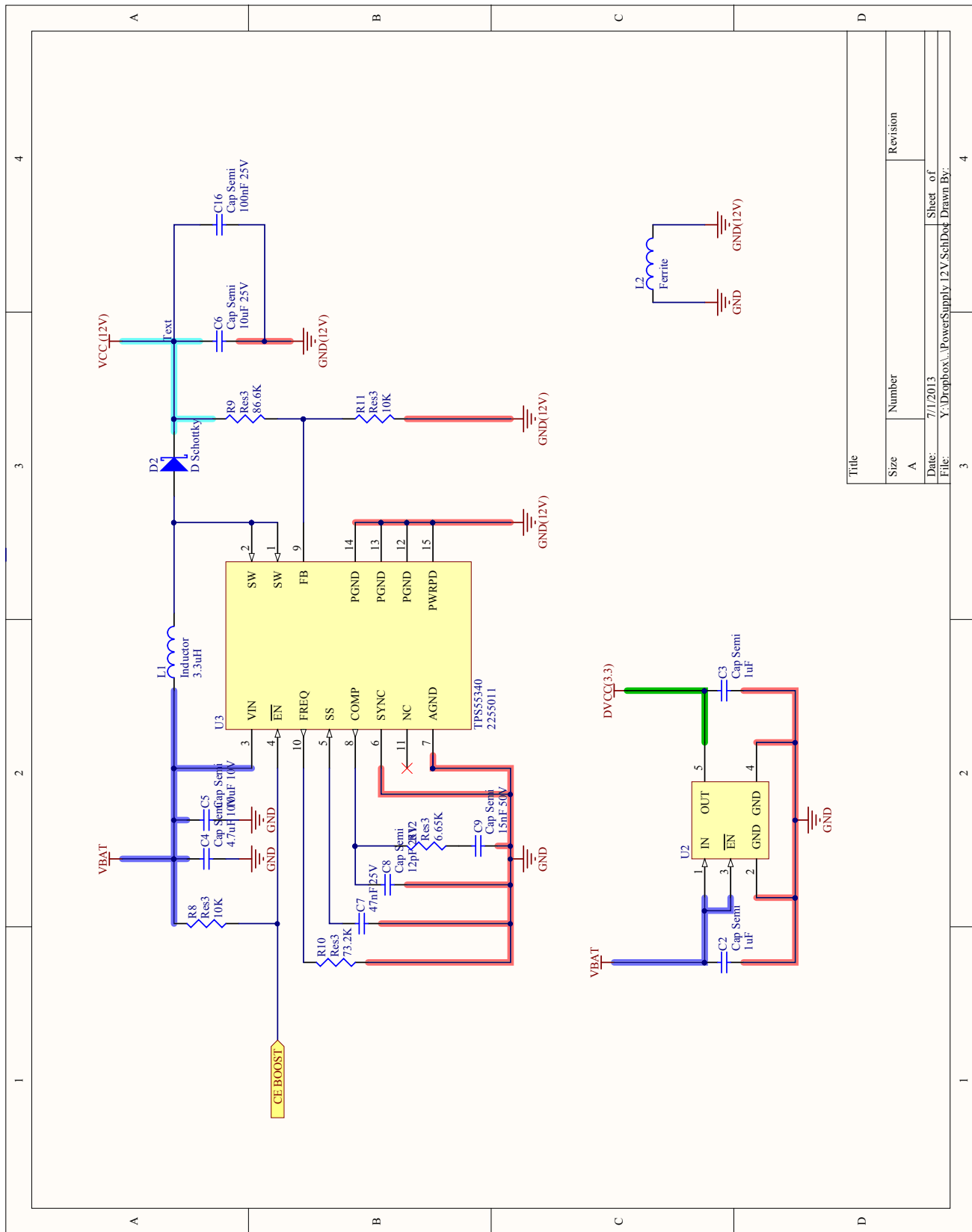
- [11] D. Dakopoulos and N. G. Bourbakis, "Wearable Obstacle Avoidance Electronic Travel Aids for Blind: A Survey," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part C (Applications Rev.)*, vol. 40, no. 1, pp. 25–35, Jan. 2010.
- [12] T. Ifukube, T. Sasaki, and C. Peng, "A blind mobility aid modeled after echolocation of bats," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 38, no. 5, pp. 461–5, May 1991.
- [13] "Dogs in Service: Neela, The Guide Dog, Savagely Attacked By Pit Bull." [Online]. Available: <http://dogsinservice.blogspot.pt/2012/04/neela-guide-dog-savagely-attacked-by.html>.
- [14] "Adestramento Cães e CIA." [Online]. Available: <http://www.caesguia.com.br/>.
- [15] "Guide Dogs UK Charity for the Blind and Partially Sighted." [Online]. Available: <http://www.guidedogs.org.uk/>.
- [16] W. R. Wiener, R. L. Welsh, and B. B. Blasch, *Foundations of Orientation and Mobility: Volume 2, Instructional Strategies and Practical Applications*. AFB Press, 2010.
- [17] D. Dakopoulos and N. G. Bourbakis, "for Blind : A Survey," vol. 40, no. 1, pp. 25–35, 2010.
- [18] "The NavBelt: A Computerized Travel Aid for the Blind." [Online]. Available: <http://www-personal.umich.edu/~johannb/navbelt.htm>.
- [19] "The vOICe Learning Edition - Synthetic Vision Software for the Blind." [Online]. Available: <http://www.seeingwithsound.com/winvoice.htm>.
- [20] "An Experimental System for Auditory Image Representations." [Online]. Available: <http://www.seeingwithsound.com/voicebme.html>.
- [21] J. L. Gonzalez-Mora, A. F. Rodriguez-Hernaindez, E. Burunat, F. Martin, and M. A. Castellano, "Seeing the world by hearing: Virtual Acoustic Space (VAS) a new

- space perception system for blind people.,” in *2006 2nd International Conference on Information & Communication Technologies*, vol. 1, pp. 837–842.
- [22] “Measuring Distance with Sound Waves - Activity - www.TeachEngineering.org.” [Online]. Available: http://www.teachengineering.org/view_activity.php?url=collection/nyu_/activities/nyu_soundwaves/nyu_soundwaves_activity1.xml.
- [23] “Radiated Fields of Ultrasonic Transducers.” [Online]. Available: <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/radiatedfields.htm>.
- [24] F. J. Pompei, “Sound From Ultrasound : The Parametric Array as an Audible Sound Source Sound From Ultrasound : The Parametric Array as an Audible Sound Source,” 2002.
- [25] “The Encyclopedia of Science - SONAR.” [Online]. Available: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/sonar.html>.
- [26] “Ultrasound images save lives, change hearts | Live Action News.” [Online]. Available: <http://liveactionnews.org/ultrasound-images-save-lives-change-hearts/>.
- [27] E.-L. Tan, P. Ji, and W.-S. Gan, “On Preprocessing techniques for Bandlimited Parametric Loudspeakers,” *Appl. Acoust.*, no. 71, pp. 486–492, 2010.
- [28] S. S. Haykin, *An introduction to analog and digital communications*. Wiley, 1989.
- [29] “PRINCÍPIOS DE TELECOMUNICAÇÕES I.” [Online]. Available: <http://pt.scribd.com/doc/27841225/PRINCIPIOS-DE-TELECOMUNICACOES-I>.
- [30] Ó. F. F. Lopes, “Mobifree — Equipamentos Eletrónicos de Apoio à Mobilidade do Cego,” Universidade de Aveiro, Portugal, 2012.
- [31] “Parametric speaker | Ultrasonic sensor | Products | NICERA.” [Online]. Available: <http://www.nicera.co.jp/pro/ut/ut-04e.html>.

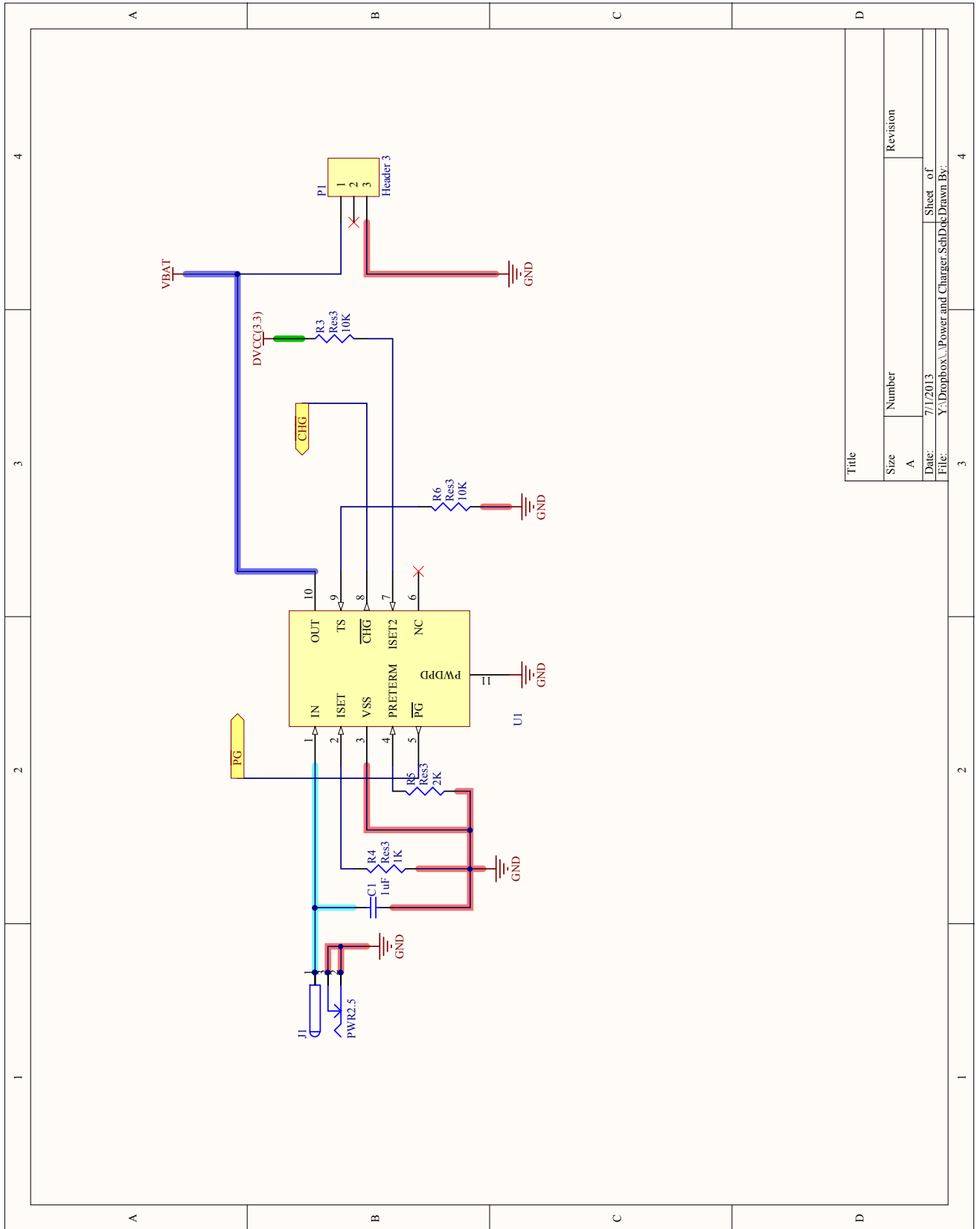
- [32] “FAN7382.” [Online]. Available:
<http://www.fairchildsemi.com/ds/FA/FAN7382.pdf>.
- [33] “MSP430 Ultra-Low Power 16-bit MCUs - Value Line - MSP430G2553 - TI.com.”
[Online]. Available: <http://www.ti.com/product/msp430g2553>.
- [34] I. Q. Low, “TPS783xx 500nA I Q , 150mA , Ultra-Low Quiescent Current Low-Dropout Linear Regulator TPS783xx,” no. February, 2010.
- [35] “Converter (Integrated Switch) - Step-Up (Boost) Converter - TPS55340 - TI.com.”
[Online]. Available: <http://www.ti.com/product/tps55340>.
- [36] “Battery Management Products - Battery Charger Solutions - BQ24040 - TI.com.”
[Online]. Available: <http://www.ti.com/product/bq24040>.
- [37] S. Schauer and C. S. Msp, “Interfacing the MSP430 With MMC / SD Flash Memory Cards,” no. March, pp. 1–5, 2008.

ANEXOS

ANEXO A – ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO

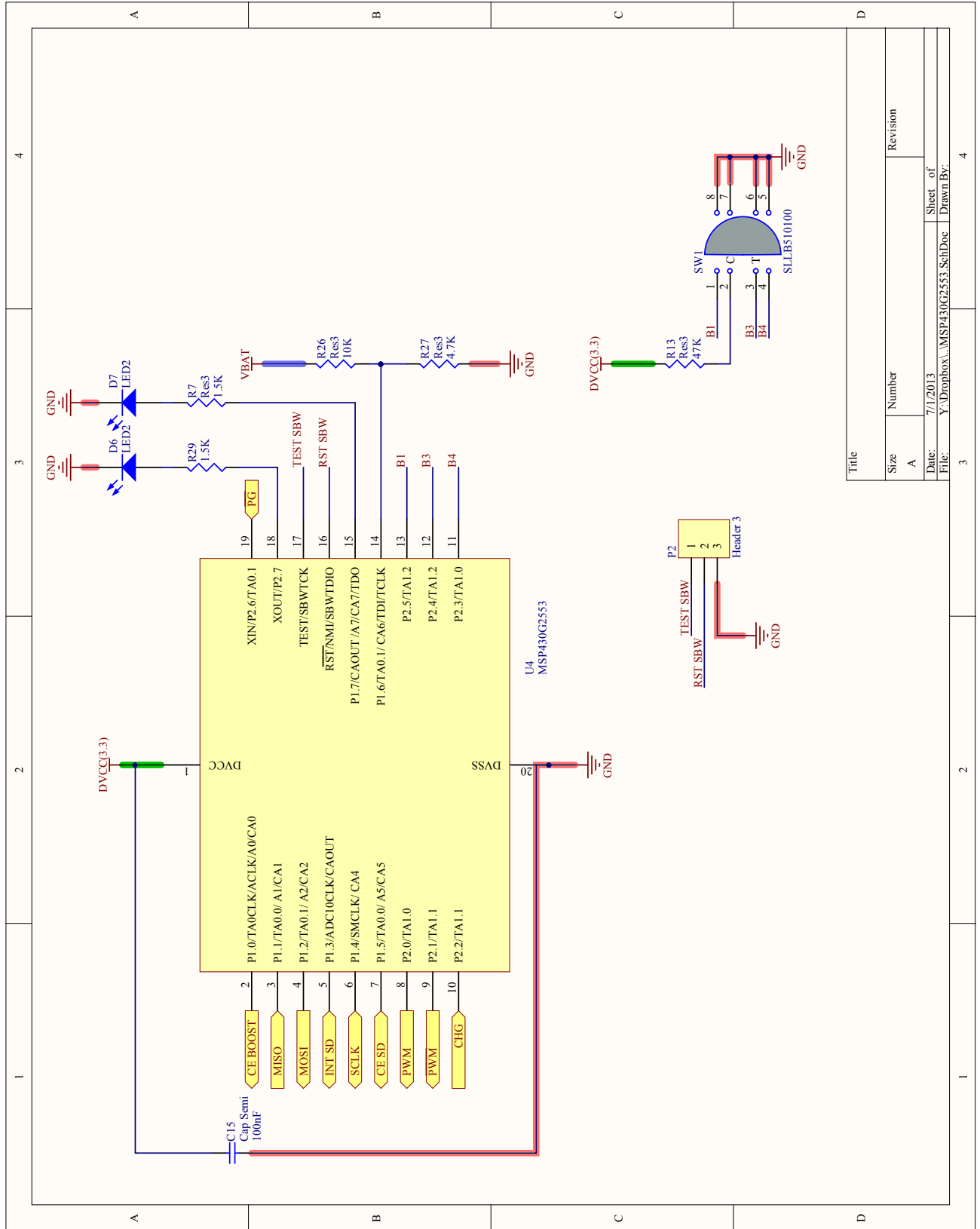


ANEXO B – CARREGADOR DA BATERIA



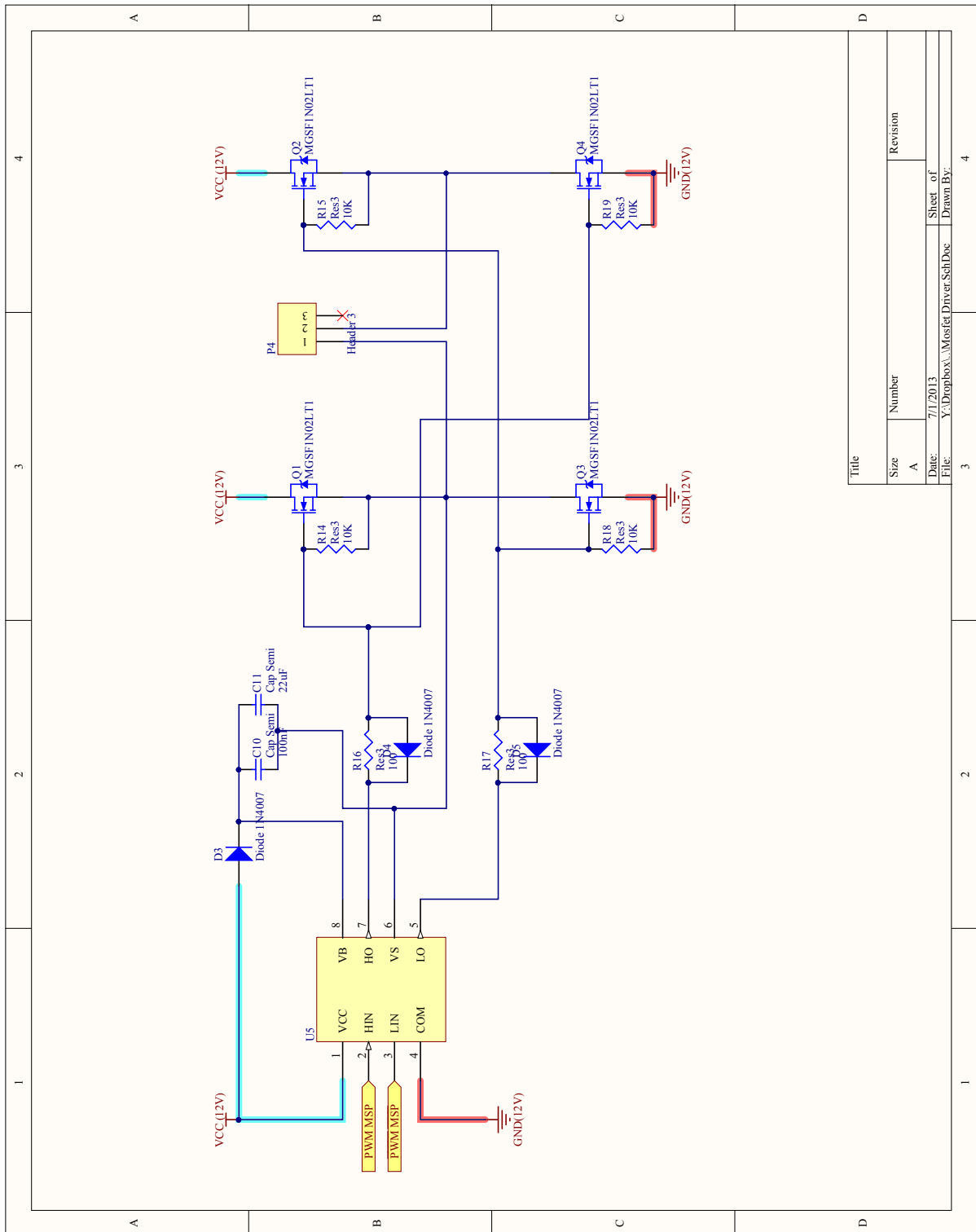
Title		Revision	
Size	Number		
A			
Date:	7/1/2013	Sheet of	
File:	Y:\Dropbox\...Power and Charger.SchDoc	Drawn By:	

ANEXO C – MSP430



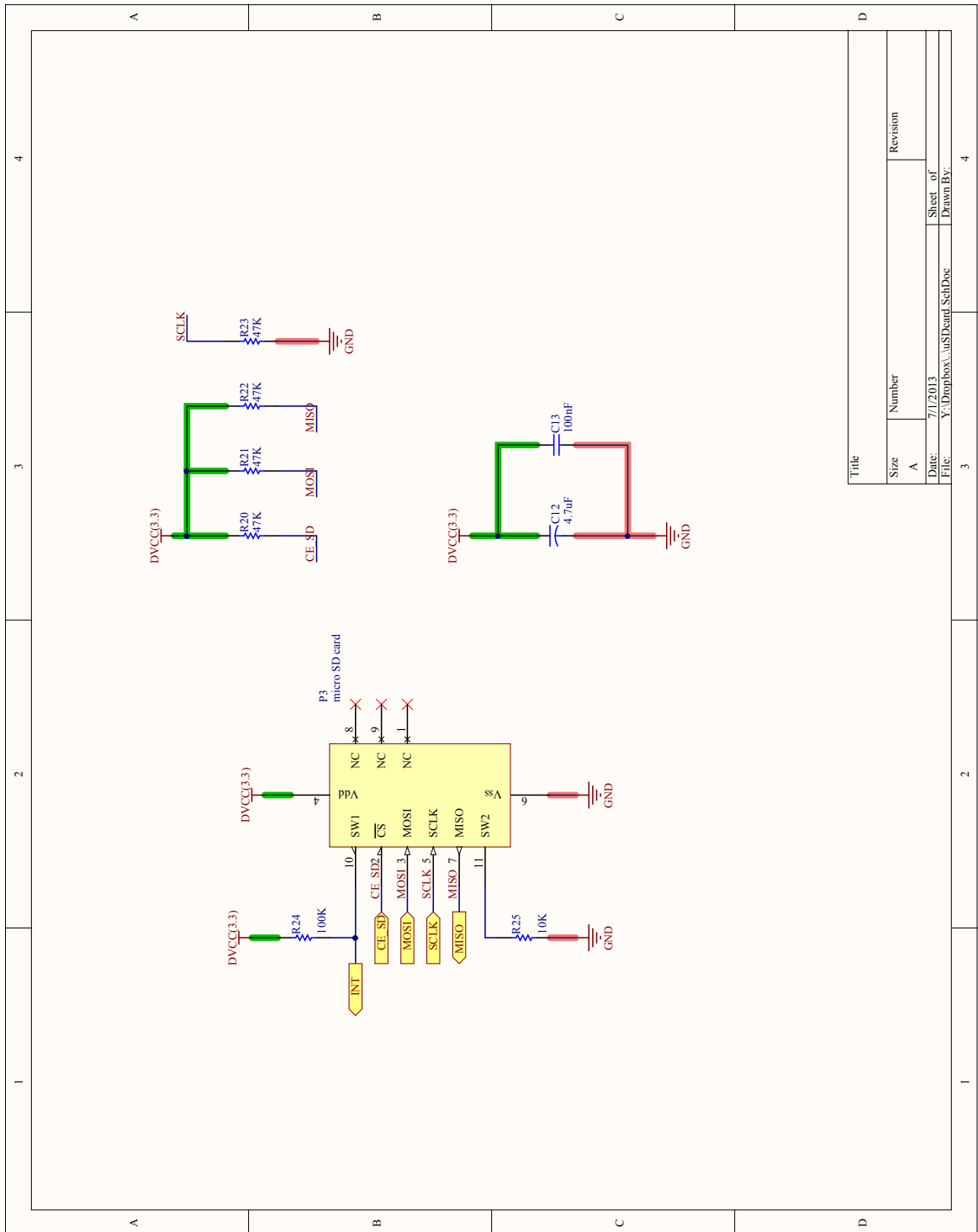
Title		Revision	
Size	Number		
A	A		
Date:	7/1/2013	Sheet of	4
File:	Y:\Dropbox\...MSP430G2553_SchDoc	Drawn By:	

ANEXO D – ANDAR DE AMPLIFICAÇÃO

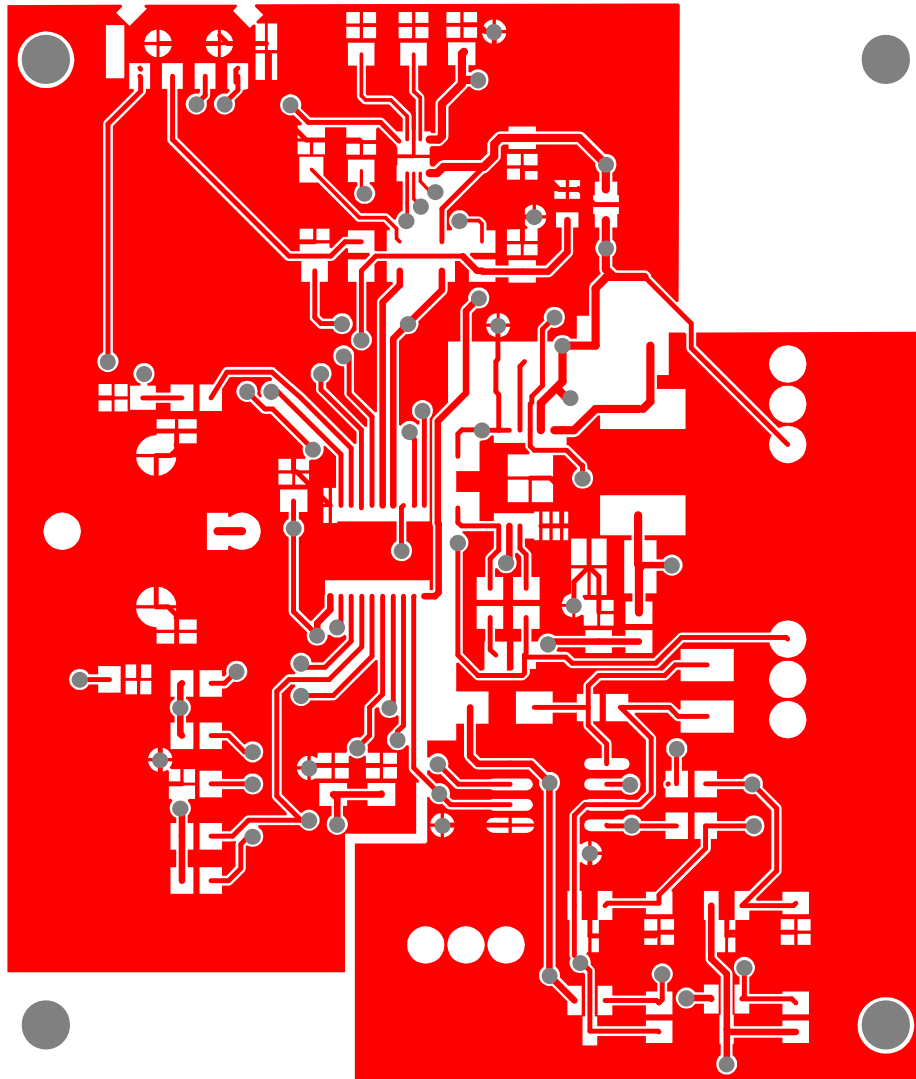


Title		Revision	
Size	Number	Size	Number
A		A	
Date:	7/1/2013	Sheet of	4
File:	Y:\Drombox\1_Mosfet_Driver_SchDoc	Drawn By:	

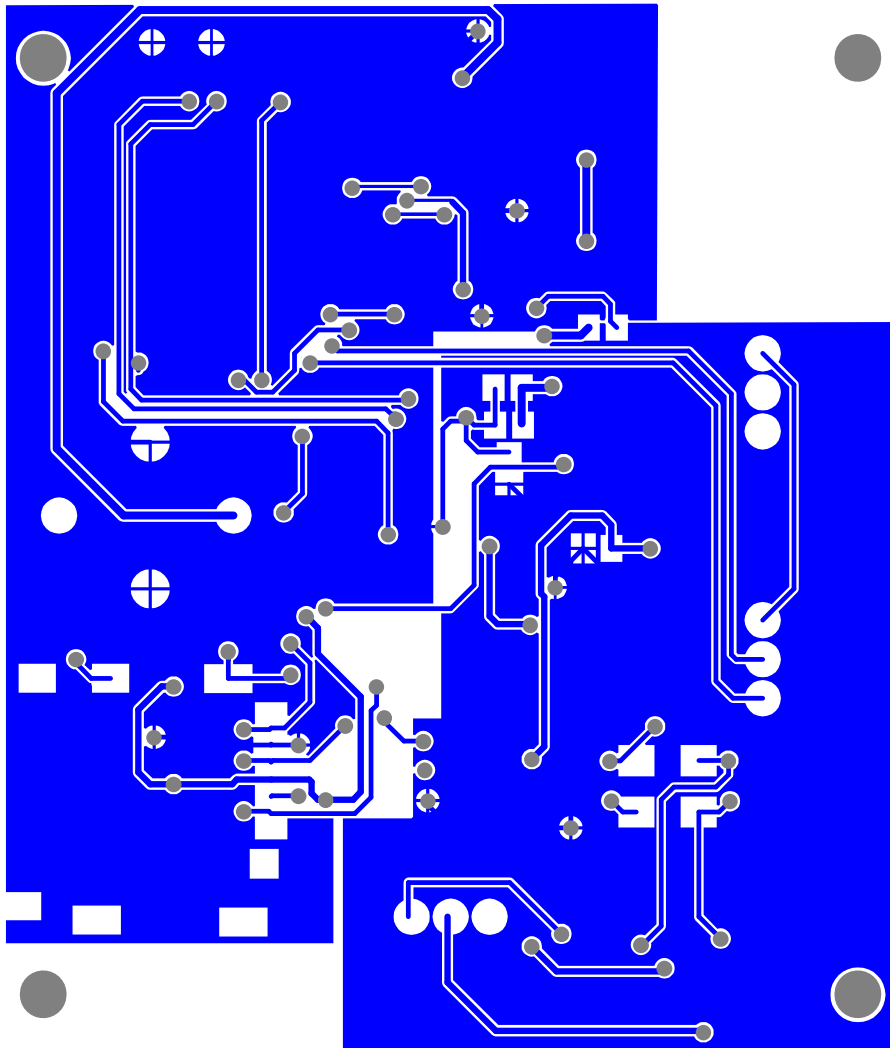
ANEXO E – CARTÃO SD



ANEXO F – TOP LAYER



ANEXO G – BOTTOM LAYER



ANEXO H – MODELO 3D DO SISTEMA MOBIFREE ECHO

