

RODRIGO FRANÇA DAGUANO

Sistema avançado de assistência ao motorista - ADAS

São Paulo
2016

RODRIGO FRANÇA DAGUANO

Sistema avançado de assistência ao motorista - ADAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia

Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Rideki
Yoshioka

São Paulo

2016

RODRIGO FRANÇA DAGUANO

Sistema avançado de assistência ao motorista - ADAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Elétrica com ênfase em
Sistemas Eletrônicos

Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Rideki
Yoshioka

São Paulo

2016

Dedicado ao meu padrinho, minha madrinha, minha família e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a ajuda de vários colegas politécnicos com suas ideias e opiniões. Obrigado a Felipe Chaud, Edgar Righi e Leonardo Amorese pelo apoio durante o seu desenvolvimento.

Obrigado ao professor Leopoldo Yoshioka pelas orientações tanto para este projeto, como discussões para trabalhos futuros.

RESUMO

Este projeto trata da construção do protótipo de um sistema que identifica obstáculos ao redor de um carro, motivado pelos dados de acidentes causados por falta de percepção espacial do motorista. O sistema construído busca diminuir a sobrecarga da visão do motorista durante manobras. Assim, são usados sensores ultrassônicos no para-choque do carro para detectar obstáculos, de forma semelhante aos sensores de estacionamento comerciais. O *feedback* que o motorista recebe é a vibração de motores localizados no assento, tanto pela posição como intensidade. Esta solução foi inspirada por uma patente da General Motors, que trata de um assento que vibra para alertar o motorista que sai da sua faixa na pista. O protótipo requer apenas a alimentação do acendedor de cigarro do carro. Sua montagem não é suficientemente robusta para a instalação em um veículo, mas seu funcionamento serve de validação para o que pode vir a ser um produto comercial. O trabalho apresenta o processo de concepção da solução, suas etapas de implementação, e por fim analisa a performance do protótipo frente aos requisitos propostos para o projeto, como tempo de resposta, alcance e restrições energéticas.

Palavras-Chave: Sensor ultrassônico. Advanced Driver Assistance System. Atuador haptico. Eletrônica automotiva. Arduino. Segurança automotiva. Sensor de estacionamento.

ABSTRACT

This project involves the design and building of a system that locates obstacles in the surroundings of a car, motived by the data that suggests that poor spatial perception increases the risk of accidents. The system presents a solution to the fact that the driver's vision is under stress while maneuvering. So the proposition is to use ultrasonic sensors (such as in parking sensors) to locate obstacles around the rear of the car. Feedback is given to the driver through localized vibration on his seat, giving information about position and intensity. The solution was inspired by a patent submitted by General Motors, which describes a seat that vibrates to alert the driver when he leaves the lane on a track. The prototype only needs to be connected to a car plug as its power source, and doesn't interfere with any of the other electronics. However, its build quality is not robust enough for real-world testing, but the system can validate what could become a product in the future. This work presents the concept process of the solution, its steps for the implementation of a prototype, and finally analyses the performance of the prototype compared to the proposed requirements for the project, such as response time, range and energy limitations.

Keywords: Ultrasonic sensor. Advanced Driver Assistance System. Haptic actuator. Arduino. Car safety. Parking sensor. Automotive electronics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Árvore de objetivos com pesos do Sistema ADAS	5
Figura 2 - Solução inicial: mapeamento da traseira do carro em atuadores no assento do motorista	13
Figura 3 - Diagrama de blocos do ADAS em nível 0.....	14
Figura 4 - Diagrama de blocos do ADAS em nível 1.....	14
Figura 5 - Detalhes do bloco de sensores.....	16
Figura 6 – Placa Arduino Uno usada para o bloco microcontrolador.....	17
Figura 7 - Detalhes do bloco de motores de vibração.....	18
Figura 8 – Circuito conversor de tensão	19
Figura 9 – Módulo HC-SR04	20
Figura 10 – Motor DC de vibração	21
Figura 11 – Conector de acendedor de cigarro automotivo (12V)	22
Figura 12 – Pulso curto de trigger (sinal 2 - cima) e resposta de echo (sinal 1 - baixo)	23
Figura 13 – PCB do módulo de sensores	24
Figura 14 – Os shields HC-SR04 em array	24
Figura 15 – PCB do driver dos motores DC	25
Figura 16 – Verificação do PWM em uma das saídas de potência do driver.....	26
Figura 17 – PCB do regulador chaveado de tensão	26
Figura 18 – Saída do regulador chaveado sob a carga de 4 motores operando	27
Figura 19 – Módulos conectados e montados em uma caixa	28
Figura 20 – Diagrama geométrico da estimativa da distância do obstáculo	30
Figura 21 – Medição do tempo de resposta do sistema ADAS.....	33
Figura 22 - Módulo HC-SR04.....	44
Figura 23 – Dimensões e diagrama de radiação do HC-SR04.....	45
Figura 24 – Uso dos HC-SR04 por sinais trigger e echo.	46
Figura 25 - Transdutores do sensor de estacionamento comercial.	48
Figura 26 - Placa de controle do sensor de estacionamento comercial.....	49
Figura 27 – Sinais de trigger e echo no osciloscópio.	50
Figura 28 – Esquemático da PCB do módulo de sensores.....	54
Figura 29 – Esquemático da PCB do módulo de motores	55
Figura 30 – Esquemático da PCB do regulador chaveado de alimentação.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Morbidade Hospitalar do SUS por Causas Externas - por local de Internação - SP	1
Tabela 2 - Pesos dos objetivos do Sistema ADAS	6
Tabela 3 - Pesos dos sub-objetivos do grupo Fácil instalação	6
Tabela 4 – Pesos dos sub-objetivos do grupo Funcional.....	6
Tabela 5 - Relação entre requisitos de Marketing e Engenharia	8
Tabela 6 – Compromissos de engenharia/marketing.....	10
Tabela 7 - Compromissos de engenharia	10
Tabela 8 – Comparação de produtos semelhantes	11
Tabela 9 - Conceitos gerados em Brainstorming	12
Tabela 10 - Análise de forças e fraquezas das opções (continua)	12
Tabela 11 – Descrição do bloco ADAS em nível 0	14
Tabela 12 – Descrição do bloco de sensores em nível 1.....	15
Tabela 13 – Descrição do bloco microcontrolador em nível 1	15
Tabela 14 – Descrição do bloco de motores em nível 1	15
Tabela 15 – Descrição do bloco conversor de tensão em nível 1.....	16
Tabela 16 – Descrição do bloco de sensores em nível 2.....	17
Tabela 17 – Descrição do bloco microcontrolador em nível 2	18
Tabela 18 – Descrição do bloco de motores em nível 2	19
Tabela 19 – Descrição do bloco conversor de tensão em nível 2.....	19
Tabela 20 – Sinais dos pinos da placa Arduino Uno.....	29
Tabela 21 – Excitação dos motores de acordo com a distância	29
Tabela 22 – Verificação dos requisitos de engenharia	32
Tabela 23 - Estrutura Analítica do Projeto (Continua).....	38
Tabela 24 – Cronograma do projeto	41
Tabela 25 – Tabela de custos do projeto	42

SUMÁRIO

1.	Introdução	1
1.1	Especificação do problema.....	1
1.2	Necessidades do Cliente	2
1.3	Objetivos do Projeto.....	3
1.4	Situação atual e pesquisa relacionada	3
1.4.1	Visão Geral	3
1.4.2	Tecnologias relevantes	3
1.5	Árvore de Objetivos	5
2.	Especificação de requisitos	7
2.1	Requisitos	7
2.2	Restrições	8
2.2.1	Econômicas	8
2.2.2	Utilização	9
2.2.3	Contexto.....	9
2.2.4	Ambiental	9
2.2.5	Manufaturabilidade	9
2.3	Matrizes de compromisso	10
2.4	Benchmark competitivo.....	11
3.	Projeto	12
3.1	Geração de conceitos	12
3.2	Análise de conceitos	12
3.3	Nível 0.....	13
3.4	Nível 1.....	14
3.5	Nível 2.....	16
3.6	Análise de acoplamento e coesão	19
3.7	Seleção de componentes	20
4.	Verificação do projeto	23
4.1	Resultados	23
4.1.1	Módulo de sensores.....	23
4.1.2	Módulo de motores	25
4.1.3	Regulador chaveado de alimentação	26
4.1.4	Integração com microcontrolador e software	28
4.2	Verificação de requisitos	32
4.3	Padrões.....	33

5. Discussão e conclusões	35
Referências Bibliográficas.....	36
Apêndice A – Gerenciamento de projeto	38
A.1 Estrutura Analítica de Projeto	38
A.2 Cronograma do Projeto.....	41
A.3 Lista de materiais e custos	42
A.4 Análise de Riscos	42
A.4.1 Risco Alto	42
A.4.2 Risco Médio	43
A.4.3 Risco Baixo	43
Apêndice B – Prova de conceito	44
Apêndice C – Estudo do kit de sensor de estacionamento comercial	48
Apêndice D – Software do Arduino	51
Apêndice E – Esquemáticos das PCBs construídas.....	54

1. Introdução

1.1 Especificação do problema

O estado de São Paulo tem uma população de 41,3 milhões (2010) e uma frota de 20,5 milhões de veículos (2010). Um dado alarmante é que ocorrem mais de 40 mil mortes anuais no estado de São Paulo em decorrência de acidentes de transporte, conforme dados do SUS[1] (Tabela 1).

Tabela 1 - Morbidade Hospitalar do SUS por Causas Externas - por local de Internação - SP

Período	2008	2009	2010	2011	2012
Grupo de Causas					
V01-V99 Acidentes de transporte	30.934	35.425	39.829	44.027	40.477
V01-V09 Pedestre traumatizado acid transporte	8.263	9.194	9.986	10.398	9.994
V10-V19 Ciclista traumatizado acid transporte	3.162	3.260	3.183	3.386	3.068
V20-V29 Motociclista traumatizado acid transp	13.140	15.624	17.915	19.811	18.683
V30-V39 Ocup triciclo motor traumatiz acid transp	72	76	112	180	350
V40-V49 Ocup automóvel traumatiz acid transporte	2.895	3.722	4.197	4.240	3.813
V50-V59 Ocup caminhonete traumatiz acid transporte	62	84	84	94	98
V60-V69 Ocup veíc transp pesado traumát acid trans	222	256	328	318	231
V70-V79 Ocup ônibus traumatizado acid transporte	165	122	116	123	89
V80-V89 Outros acid transporte terrestre	2.351	2.457	2.505	2.610	2.482
V90-V94 Acidentes de transporte por água	14	41	156	174	95
V95-V97 Acidentes de transporte aéreo e espacial	12	10	115	13	12
V98-V99 Outros acid transporte e os não específic	576	579	1.132	2.680	1.562
Total	30.934	35.425	39.829	44.027	40.477

Fonte: [1] SUS (2013)

A segurança no trânsito é uma questão problemática nas metrópoles brasileiras. Segundo as estatísticas do DNIT[2], numa avaliação por tipo e gravidade, os três maiores índices foram de colisões traseiras, abalroamentos no mesmo sentido e choques com objetos fixos. Segundo um artigo da revista Quatro Rodas [3], 80% das colisões são causadas por distração do motorista.

As distrações ocorrem porque dirigir é uma atividade tanto estressante quanto monótona. Em longas rodovias ou preso em um congestionamento, o motorista tenta ocupar-se ouvindo música, conversando com passageiros ou observando a paisagem.

A construção do carro tem pontos cegos que limitam a percepção do motorista ao seu redor, o que é um fator agravante. Alguns formatos de capô e porta-malas também iludem a noção de distâncias. Além disso as janelas, espelhos e painel de instrumentos forçam o motorista a dividir a sua atenção entre 5 ou mais pontos.

1.2 Necessidades do Cliente

Há um problema em como o motorista divide a sua atenção enquanto dirige. A falta de percepção espacial que ele tem do carro é o maior agravante para acidentes. Quanto mais ciente dos arredores o motorista estiver, menor a chance de ele ser surpreendido e, no susto, ter uma reação exagerada na direção. Alguns pontos importantes da direção assistida por equipamentos são:

- É necessária atenção especial para acompanhar o que entra e o que sai dos pontos cegos. Especialmente motos oferecem alto risco.
- Sensores de estacionamento dão uma ideia da distância dos obstáculos por som, mas este som não os localiza nos arredores do carro.
- Câmeras de ré ou *displays* ainda forçam o motorista a prestar atenção na tela e ignorar o que acontece na frente do carro durante a manobra.
- A instalação de algumas funções e botões no volante é positiva porque o motorista não precisa fazer grandes movimentos, o que reduz distrações.

É interessante que o motorista tenha outras formas de observar um espelho sem negligenciar tanto o que ocorre nos outros. É também de interesse que, no caso de sensores de estacionamento que auxiliam manobras, o motorista perceba os obstáculos não só pela sua distância, mas também pela sua localização.

1.3 Objetivos do Projeto

O objetivo do projeto é desenvolver e construir o protótipo de um sistema que melhora a percepção espacial do motorista. O sistema deve identificar a presença de obstáculos nos pontos cegos do carro, informar as distâncias e posições ao condutor e ajudá-lo a monitorar de forma menos estressante os instrumentos e espelhos, sendo importante diminuir a sobrecarga visual de quem dirige.

1.4 Situação atual e pesquisa relacionada

1.4.1 Visão Geral

Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) é um termo já presente no mercado automotivo e aborda tudo o que se refere ao auxílio de condução. Mais especificamente, o interesse é especial em sistemas que usam a interface homem-máquina para aumentar a segurança do carro.

Segundo uma apresentação da Strategy Analytics [4] este é um dos segmentos da eletrônica automotiva que mais crescem no momento. Há vários exemplos já existentes como sistemas anti-colisão, sensores de estacionamento, detecção de motorista com sono, assistentes de conversão, auto-regulação de faróis, alerta de mudança de faixa entre outros. ADAS usam os mais variados tipos de sensores, câmeras, atuadores, sistemas de rede entre veículos ou com a infraestrutura da pista.

Os benefícios de segurança do ADAS são tão evidentes que há muita discussão sobre a obrigatoriedade de alguns sistemas para o carro atender requisitos mínimos de segurança. Um exemplo é o governo dos Estados Unidos que determinou um prazo para a obrigatoriedade de um sistema de câmera traseira em carros, após uma trágica fatalidade [5].

A GM foi a pioneira com a patente de um assento que alerta o motorista [6]. Os lados deste assento vibram caso o motorista saia de sua faixa, além de dar um pulso de vibração em ambos os lados no caso de um perigo identificado à frente.

1.4.2 Tecnologias relevantes

Sensor de ultrassom

Um dos sensores mais comuns para se medir distâncias de obstáculos, e é o mais utilizado nos atuais sistemas para estacionamento. Um alto-falante juntamente com um microfone na faixa de ultrassom permitem o cálculo da distância por reflexão das ondas acústicas.

Sensor eletromagnético

Este sensor é oferecido como uma alternativa ao sensor de ultrassom mas possui restrições com relação à velocidade de aproximação do obstáculo. No contexto automotivo geralmente é auxiliar a um sistema de câmera traseira.

Microcontroladores

Microcontroladores são circuitos integrados programáveis que são utilizados para as mais variadas aplicações. São especialmente usados em sistemas embarcados pelo baixo consumo de energia e grande número de pinos para entrada e saída de dados. Em um sistema de sensores e atuadores eles servem como os elementos para realização de cálculos.

FPGA (Field-Programmable Gate Array)

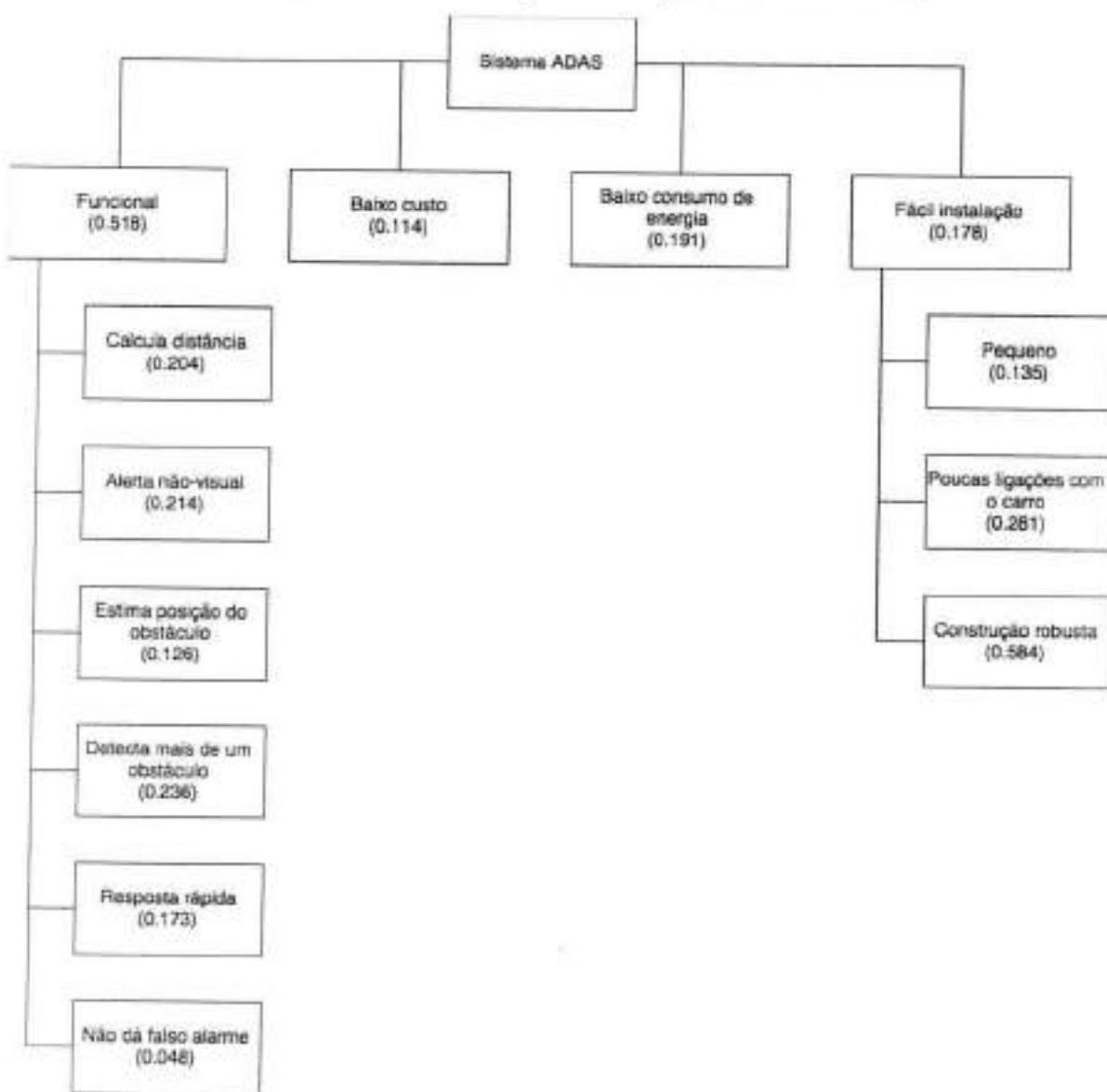
É um outro tipo de circuito programável que permite resolver qualquer problema que seja computável. Geralmente a FPGA é configurada usando uma linguagem de descrição de hardware, sendo o paralelismo dos circuitos lógicos a característica que dá à FPGA a vantagem em uma série de aplicações. O ramo automotivo é um dos segmentos de interesse pela sua robustez e performance.

Atuadores de vibração

A vibração pode ser gerada por um motor elétrico que gira um peso desbalanceado, ou então por um solenoide que vibra uma peça metálica sob a aplicação de tensão alternada. O uso fornece um feedback que não é visual (no caso do assento da GM [6] nem auditivo (comum em telefones celulares no modo silencioso).

1.5 Árvore de Objetivos

Figura 1 - Árvore de objetivos com pesos do Sistema ADAS



Fonte: Autor

A legenda de pesos é dada por importância: 1- Igual à, 2- Levemente mais que, 3- Mais que, 4- Muito mais que, 5- Extremamente mais que.

Tabela 2 - Pesos dos objetivos do Sistema ADAS

	Funcional	Custo	Consumo	Instalação	Média G.	ω
Funcional	1	3	3	4	2.449	0.518
Custo	1/3	1	1/2	1/2	0.537	0.114
Consumo	1/3	2	1	1	0.904	0.191
Instalação	1/4	2	1	1	0.841	0.178

Fonte: Autor

Tabela 3 - Pesos dos sub-objetivos do grupo Fácil instalação

	Pequeno	Ligações	Robusto	Média G.	ω
Pequeno	1	1/3	1/3	0.481	0.135
Ligações	3	1	1/3	1	0.281
Robusto	3	3	1	2.08	0.584

Fonte: Autor

Tabela 4 – Pesos dos sub-objetivos do grupo Funcional

	Distância	Não-visual	Posição	Múltiplos obstáculos	Resposta rápida	Falso alarme	M.G	ω
Distância	1	4	1	1/3	1	5	1.372	0.204
Não-visual	1/4	1	2	3	2	3	1.442	0.214
Posição	1	1/2	1	1/2	1/2	3	0.849	0.126
Múltiplos obstáculos	3	1/3	2	1	2	4	1.587	0.236
Resposta rápida	1	1/2	2	1/2	1	5	1.165	0.173
Falso alarme	1/5	1/3	1/3	1/4	1/5	1	0.322	0.048

Fonte: Autor

2. Especificação de requisitos

2.1 Requisitos

Os requisitos de marketing são:

1. Calcular distância.
2. Alerta não-visual.
3. Estimar posição do obstáculo.
4. Detectar mais de um obstáculo.
5. Resposta rápida.
6. Não dá falso alarme.
7. Baixo custo.
8. Baixo consumo de energia.
9. Tamanho pequeno.
10. Poucas ligações com o carro.
11. Construção robusta.

A relação entre os requisitos de marketing e de engenharia são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Relação entre requisitos de Marketing e Engenharia

<i>Requisitos</i>		<i>Justificativa</i>
<i>Marketing</i>	<i>Engenharia</i>	
1, 5	A - Tempo de resposta menor que 0,4s	Foi verificado que o padrão britânico [7] de segurança é o que determina maior tempo de reação do motorista (3s). O veículo precisa atender ao tempo de um de dois cenários: trafegar em alta velocidade ou manobrar lentamente. Manobras de até 5km/h com distância de segurança de 30cm a 50cm fornecem um tempo limite aproximado de 0,4s.
1, 3, 4, 6	B - Identificar obstáculos com alcance de 30cm até 1,80m	O projeto envolverá a interconexão de sistemas, e os sistemas de identificação de obstáculos mais comuns no meio automotivo são sonares que trabalham com esta faixa de alcance. Para exemplo a referência [8].
7, 8, 10	C - Ter tensão e potência compatíveis com a saída elétrica do carro (12V no acendedor de cigarro)	Sendo um dispositivo que busca aumentar a segurança, é importante que a alimentação elétrica não seja uma preocupação. A maioria dos eletrônicos automotivos trabalha sob essa condição.
11	D - Suportar mecanicamente as vibrações do carro	Mesmo que o dispositivo seja utilizado em algumas situações específicas, como por exemplo manobras de estacionamento, ele estará instalado no veículo sob todas as outras condições de direção.
9	E - Ter tamanho do módulo de processamento computacional compatível com a instalação no carro (dimensões de altura, largura ou profundidade menor que 15cm)	Um sistema de sensor de estacionamento [8] usado como referência apresenta dimensões semelhantes a essa e atende ao requisito de instalação fácil e rápida. A dimensão especificada não é rigorosa, mas apenas uma referência.

Fonte: Autor

2.2 Restrições

2.2.1 Econômicas

O custo do protótipo para apresentação não deve ultrapassar R\$300,00. Custos extras de desenvolvimento, como a compra de partes extras para reposição, são toleráveis.

2.2.2 Utilização

De acordo com a proposta do projeto, o alerta não-visual é preferível e não deve assustar o motorista ou perturbar os outros motoristas da pista. Sistemas que fazem apelo apenas à visão periférica do motorista, sem causar muito estresse, são também válidos.

2.2.3 Contexto

O objetivo do projeto é aumentar a percepção do motorista para evitar colisões, e isto pode ser abordado em dois contextos. Quando se dirige em velocidades médias e altas, o interesse é observar os pontos cegos e arredores do carro com resposta rápida para a simples presença de outros carros e principalmente motos.

Já quando se trata de manobras de baixa velocidade, como em congestionamentos intensos ou estacionamento, o interesse é determinar com precisão os obstáculos ao redor. O motorista costuma estar bastante alerta, mas está sobrecarregado por prestar atenção a 3 retrovisores, painel de instrumentos e para-brisa à frente. Este último cenário foi o foco deste projeto.

2.2.4 Ambiental

O sistema deve ser possível de instalação em qualquer carro comum.

2.2.5 Manufaturabilidade

O sistema deve ser construído com componentes ou integrando módulos facilmente encontrados no mercado e ser de fácil reprodução. Como se trata de um acessório com eletrônica separada, não há a necessidade de atender às regulações de fabricação da indústria automotiva, já que não interfere com as funções críticas, como a operação da Unidade de Controle Eletrônico do motor (ECU).

2.3 Matrizes de compromisso

Tabela 6 – Compromissos de engenharia/marketing

	↑↑ Correlação positiva forte	↑ Correlação positiva	↓ Correlação negativa	↓↓ Correlação negativa forte	+ aumentando melhora	- diminuindo melhora	A - Tempo resposta	B - Alcance identificação	C - Tensão alimentação	D - Robustez mecânica	E - Tamanho
1 – Calcular distância	+	↓↓					-	+	-	+	-
2 – Alerta não-visual	+	↓									
3 – Estimar posição	+	↓↓									
4 – Detecta múltiplos	+	↓									
5 – Resposta rápida	+	↑↑									
6 – Falso alarme	-										
7 – Custo	-						↑	↑	↑	↓	
8 – Consumo	-	↓					↑↑				↑
9 – Tamanho	-						↑	↓	↑	↑↑	
10 – Ligações carro	-							↓		↑↑	
11 – Robustez	+						↑↑	↑			

Fonte: Autor

Tabela 7 - Compromissos de engenharia

	↑↑ Correlação positiva forte	↑ Correlação positiva	↓ Correlação negativa	↓↓ Correlação negativa forte	+ aumentando melhora	- diminuindo melhora	A - Tempo resposta	B - Alcance identificação	C - Tensão alimentação	D - Robustez mecânica	E - Tamanho
A - Tempo resposta	-				→		-	+	-	+	-
B - Alcance identificação	+										
C - Tensão alimentação	-										↑
D - Robustez mecânica	+										↓↓
E - Tamanho	-										

Fonte: Autor

2.4 Benchmark competitivo

Para comparação foram escolhidos outros dois produtos semelhantes.

Tabela 8 – Comparação de produtos semelhantes

Nome	[8] Sonar com LED	[9] Sonar com display LCD	[10] Sensor de aproximação Orbe	Nosso projeto
Preço	R\$ 89,10	R\$118,90	R\$ 389,00	<R\$300,00
Alimentação	12V	12V	12V	12V
Dimensões	1,8cm x 10cm x 2,7cm	4cm x 10cm x 5,5cm	Display de 3" LCD	Dimensões <15cm
Alcance	0,3m a 1,8m	0,3m a 1,8m	0,3m a 1,8m	0,3m a 1,8m
Tipo de alerta	Visual e sonoro	Visual e sonoro	Visual e sonoro	Não-visual
Tipo de sensor	Sonar	Sonar	Sonar	Sonar
Número de sensores	4	4	8	Entre 4 e 8

Fonte: Autor

3. Projeto

3.1 Geração de conceitos

Tabela 9 - Conceitos gerados em Brainstorming

Sensor	Unidade Computacional	Atuador
Sonar	Microcontrolador	Som
Sensor eletromagnético	FPGA	Vibração no assento
	Círculo Integrado dedicado	Vibração no volante
		LEDs

Fonte: Autor

3.2 Análise de conceitos

Tabela 10 - Análise de forças e fraquezas das opções (continua)

Opção	Forças	Fraquezas
Sonar	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor barato ++ • Módulos sensores prontos ++ • Opção mais comum em aplicações automotivas + 	<ul style="list-style-type: none"> • Alarme falso não é incomum - • Instalação envolve perfurar o para-choque --
Sensor eletromagnético	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação menos invasiva + 	<ul style="list-style-type: none"> • Mais caro -- • Mais difícil de encontrar - • Limitações físicas de velocidade de resposta -
Microcontrolador	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento rápido ++ • Mais barato + • Fácil integração modular ++ 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior tempo de resposta - • Maior consumo de energia -
FPGA	<ul style="list-style-type: none"> • Maior velocidade que o microcontrolador + • Menor consumo de energia que o microcontrolador + 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento mais lento que o microcontrolador -- • Mais caro que o microcontrolador -
Círculo Integrado	<ul style="list-style-type: none"> • Menor consumo de energia possível ++ • Melhor tempo de resposta possível ++ 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento muito lento -- • Desenvolvimento muito caro --
Atuação por som	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil implementação + 	<ul style="list-style-type: none"> • Codificação de informação limitada --

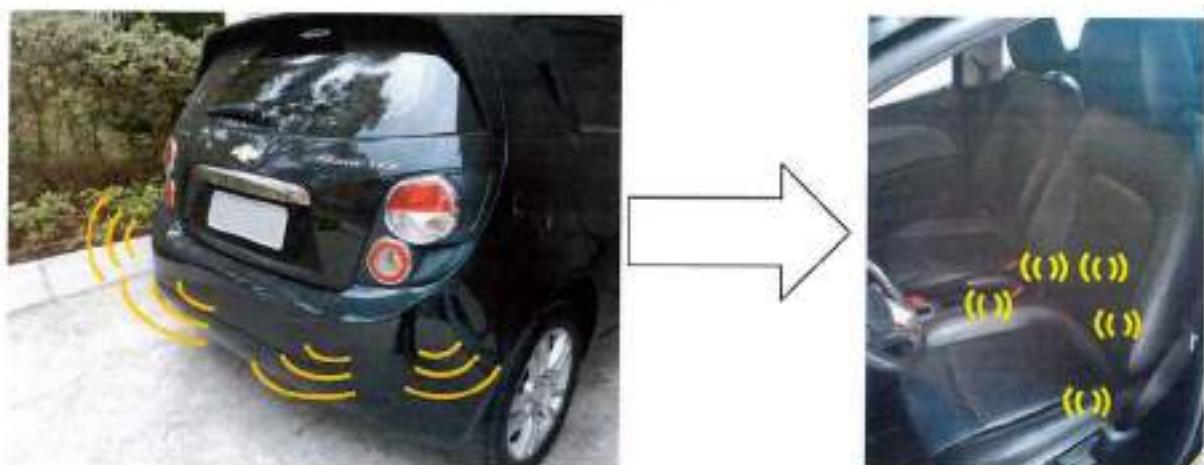
Opção	Forças	Fraquezas
Atuação por LEDs	<ul style="list-style-type: none"> Apelo à visão periférica é válido + Fácil implementação + 	<ul style="list-style-type: none"> Transmite apenas informação binária - Pouco diferencial na solução -
Vibração no volante	<ul style="list-style-type: none"> Alerta não visual + Permite codificar bastante informação + Solução inovadora ++ 	<ul style="list-style-type: none"> Inclui limitações de tamanho do atuador - Prejudica a ergonomia e potencialmente a segurança -
Vibração no assento	<ul style="list-style-type: none"> Alerta não visual + Permite codificar bastante informação + Solução inovadora ++ 	<ul style="list-style-type: none"> Custo de motores vibratórios é elevado - Maior consumo de energia -

Conclusão – Fonte: Autor

3.3 Nível 0

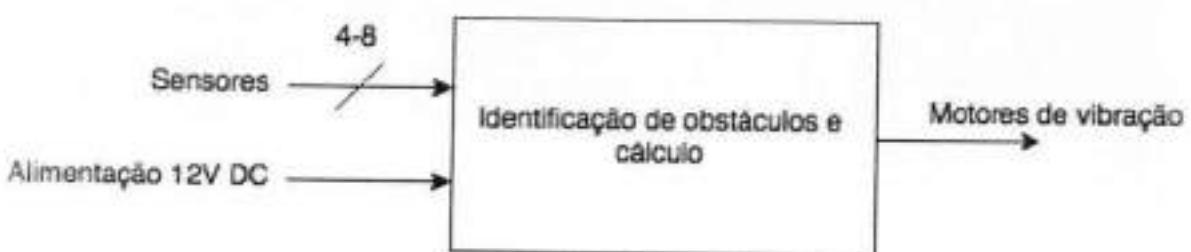
Um sistema que faz leituras por sensores ultrassônicos e alerta o motorista por meio de vibrações no assento. Essas vibrações são localizadas em determinadas posições, correspondendo ao mapeamento da traseira do carro. Esse mapeamento busca tornar melhor a percepção dos obstáculos próximos, aliviando o gargalo que é a sobrecarga visual do motorista.

Figura 2 - Solução inicial: mapeamento da traseira do carro em atuadores no assento do motorista



Fonte: Autor

Figura 3 - Diagrama de blocos do ADAS em nível 0



Fonte: Autor

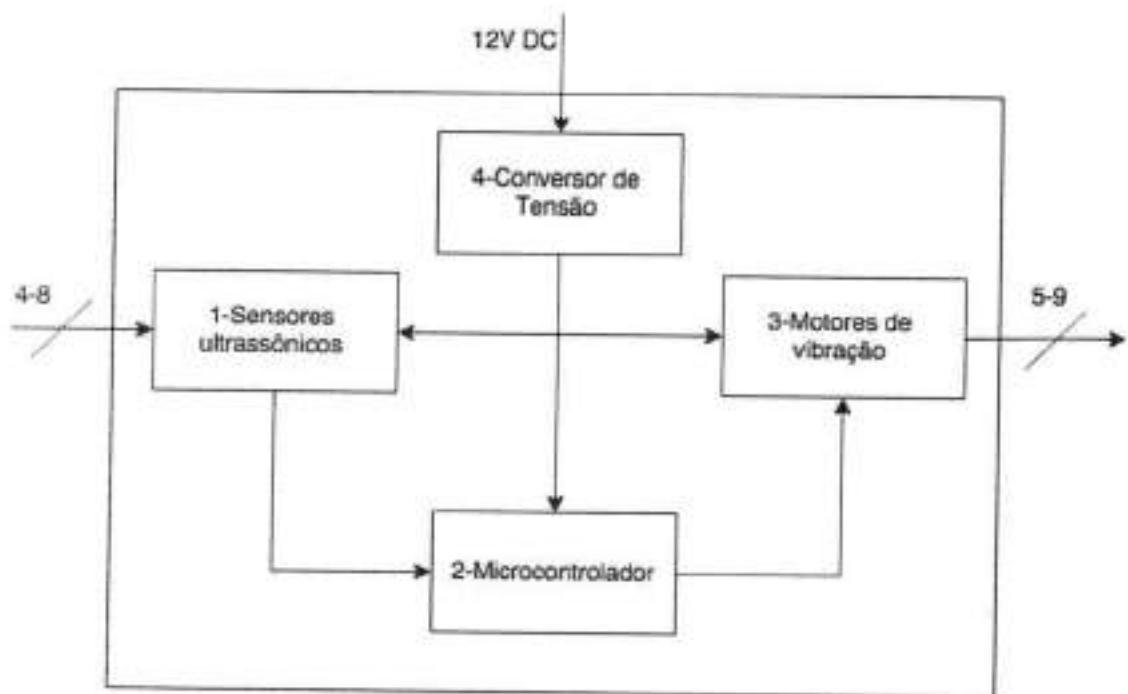
Tabela 11 – Descrição do bloco ADAS em nível 0

Nome do bloco	Projeto ADAS
Entradas	Leituras dos sensores ultrassônicos (4 a 8 sensores), alimentação 12V DC.
Transformação	Conversão das leituras em medidas de intensidade (que corresponde à informação de distância) e posição (que mapeia o exterior do carro nos vários motores de vibração).
Saiadas	Sinal para os atuadores (motores vibratórios) alertarem ao motorista do obstáculo.

Fonte: Autor

3.4 Nível 1

Figura 4 - Diagrama de blocos do ADAS em nível 1



Fonte: Autor

Tabela 12 – Descrição do bloco de sensores em nível 1

Nome do bloco	1 – Sensores ultrassônicos
Entradas	A presença de objeto na frente do sensor, tensão de alimentação.
Transformação	O sensor emite um pulso na faixa do ultrassom e captura a reflexão do sinal por um microfone acoplado. O sinal de eco no microfone é a saída do sensor.
Saidas	Com a medição precisa do intervalo de eco é possível detectar se há um obstáculo na frente do sensor e qual a sua distância.

Fonte: Autor

Tabela 13 – Descrição do bloco microcontrolador em nível 1

Nome do bloco	2 – Microcontrolador
Entradas	Saída do bloco de sensores, tensão de alimentação.
Transformação	O microcontrolador possui duas funções principais. Com a saída dos sensores ele deve determinar quais atuadores serão ativos e qual será a intensidade de vibração.
Saidas	Sinal para ativação dos atuadores (motores vibratórios).

Fonte: Autor

Tabela 14 – Descrição do bloco de motores em nível 1

Nome do bloco	3 – Motores de vibração
Entradas	Sinal do microcontrolador, tensão de alimentação.
Transformação	A vibração é feita pela ativação de um motor elétrico com um peso desbalanceado no seu eixo. A conversão é elétrica/mecânica e implementada em meios digitais por modulação por largura de pulso (PWM).
Saidas	Vibração no assento, com posição mapeada e intensidade determinada pela entrada.

Fonte: Autor

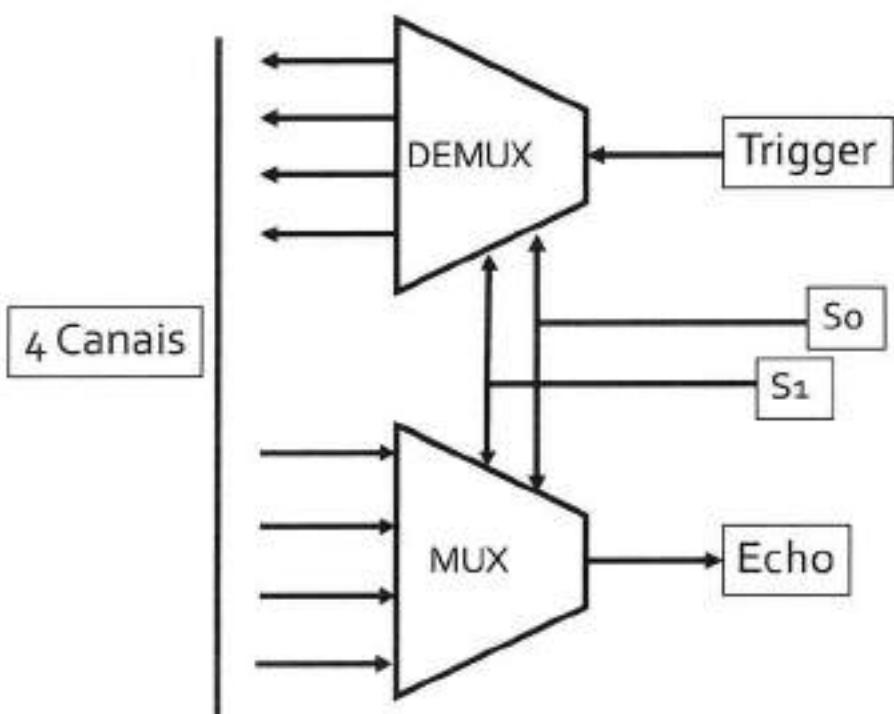
Tabela 15 – Descrição do bloco conversor de tensão em nível 1

Nome do bloco	4 – Conversor de tensão
Entradas	Alimentação 12V DC.
Transformação	Esse bloco tem a função de fornecer a tensão de alimentação dos outros blocos do sistema. O microcontrolador possui limitações de fornecimento de corrente, de forma que há uma interface de desacoplamento entre o sinal digital de ativação, e o sinal "de potência" que efetivamente aciona os motores.
Saidas	Tensões adequadas para operação dos outros blocos.

Fonte: Autor

3.5 Nível 2

Figura 5 - Detalhes do bloco de sensores



Fonte: Autor

Tabela 16 – Descrição do bloco de sensores em nível 2

Nome do bloco	1 – Sensores ultrassônicos
Entradas	Alimentação, e pulsos de trigger e seleção de canal S0/S1. (Eco sonoro do ambiente como entrada não-elétrica).
Transformação	<p>Para os módulos de sensores ultrassônicos são usados shields HC-SR04 para Arduino.</p> <p>O CI tem elementos ressonadores (alto-falante e microfone), e em termos de eletrônica digital usa um sinal de trigger para ativar o envio de pulsos de ultrassom.</p> <p>O bloco responde através do sinal de eco. Este sinal mantém-se em um nível digital alto e então muda de nível quando detecta o eco, de forma que a distância é medida pela largura deste pulso.</p> <p>São usados um par multiplexador/demultiplexador para intercalar entre 4 shields HC-SR04, através dos sinais de seleção S0/S1.</p>
Saídas	O sinal de eco muda para um nível lógico quando o pulso de ultrassom é emitido, e muda de volta quando o eco é detectado. Assim a largura de pulso do sinal de eco dá a informação de distância do obstáculo. (Também tem como saída não-elétrica os pulsos de ultrassom para o ambiente).

Fonte: Autor

Figura 6 – Placa Arduino Uno usada para o bloco microcontrolador

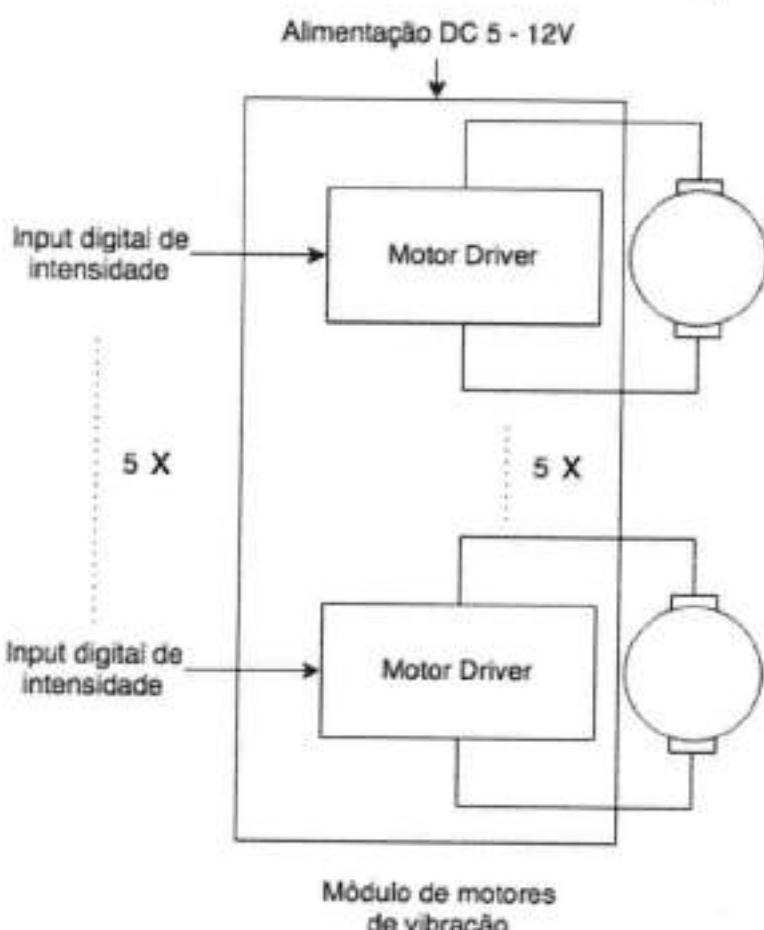
Fonte: [12] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

Tabela 17 – Descrição do bloco microcontrolador em nível 2

Nome do bloco	2 – Microcontrolador
Entradas	Sinais de eco do bloco 1 – Sensores, alimentação.
Transformação	O microcontrolador coordena a ativação dos sensores de ultrassom pelo sinal de trigger, lê os sinais de eco para estimar a distância e posição dos obstáculos, e envia os sinais de ativação para os motores de vibração que atuam no assento do motorista.
Saidas	Sinais de trigger para o bloco 1 – Sensores, sinais de ativação do bloco 3 – Motores de vibração.

Fonte: Autor

Figura 7 - Detalhes do bloco de motores de vibração



Fonte: Autor

Tabela 18 – Descrição do bloco de motores em nível 2

Nome do bloco	3 – Motores de vibração
Entradas	Sinais de ativação, de acordo com a intensidade de vibração, vindos do bloco 2 – Microcontrolador, alimentação.
Transformação	Segundo a coordenação do bloco 2 – Microcontrolador, os motores vibram de forma a mapear os obstáculos detectados, no assento do motorista. Em aplicações elétrica é comum os motores DC usarem um circuito de Motor Drive, que usa um sinal digital (geralmente PWM) para ativar os motores, mas drena a corrente de uma fonte desacoplada da circuitaria lógica.
Saiadas	Vibração no assento do usuário

Fonte: Autor

Figura 8 – Circuito conversor de tensão

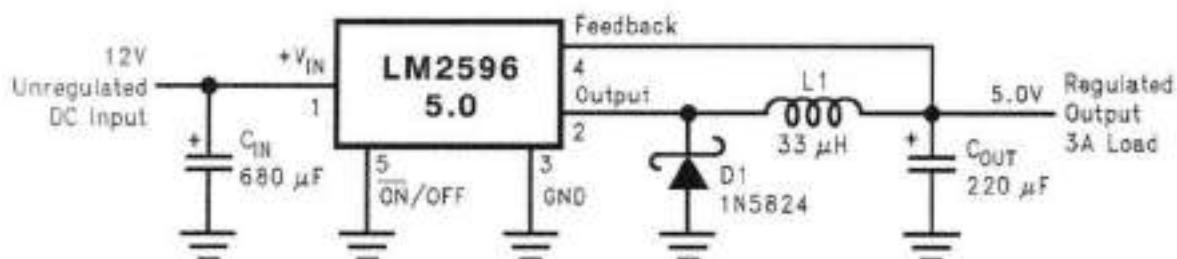
Fonte: Datasheet do CI LM2596 [16] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>

Tabela 19 – Descrição do bloco conversor de tensão em nível 2

Nome do bloco	4 – Conversor de tensão
Entradas	Alimentação 12V DC.
Transformação	Utiliza o componente eletrônico LM2596 (regulador chaveado) para fornecer uma tensão regulada de 5V DC conforme o circuito da Figura 8.
Saiadas	Tensão regulada de 5V DC via circuito ou conexão direta da tensão de alimentação 12V DC.

Fonte: Autor

3.6 Análise de acoplamento e coesão

Todos os blocos dependem da tensão de alimentação adequada, além de estarem estruturados como um encadeamento de operações. Há, portanto, um grau de acoplamento que está já minimizado para esta aplicação.

Os blocos descritos são altamente coesos, possuindo funções muito específicas e independentes, a ponto de alguns blocos serem módulos comercialmente disponíveis.

3.7 Seleção de componentes

Sensor ultrassônico

Inicialmente pensou-se em extrair os sensores ultrassônicos de um kit de sensor de estacionamento comercial [9]. Porém, os componentes deste produto são os transdutores puros, sem o circuito ressonador necessário e que deveriam ser chaveados entre funções de microfone e alto-falante. Além disso, o controle do kit é feito por um CI dedicado, de forma que uma vez ligada, é somente possível ser um "observador" dos sinais da placa principal, sem qualquer interferência para controle (ou sincronismo) possível. Assim foram escolhidos shields HC-SR04, que contém o microfone e o alto-falante separados, além do fácil acionamento por pinos de *trigger* e *echo* projetados para trabalhar com o kit Arduino.

Figura 9 – Módulo HC-SR04



Fonte: Autor

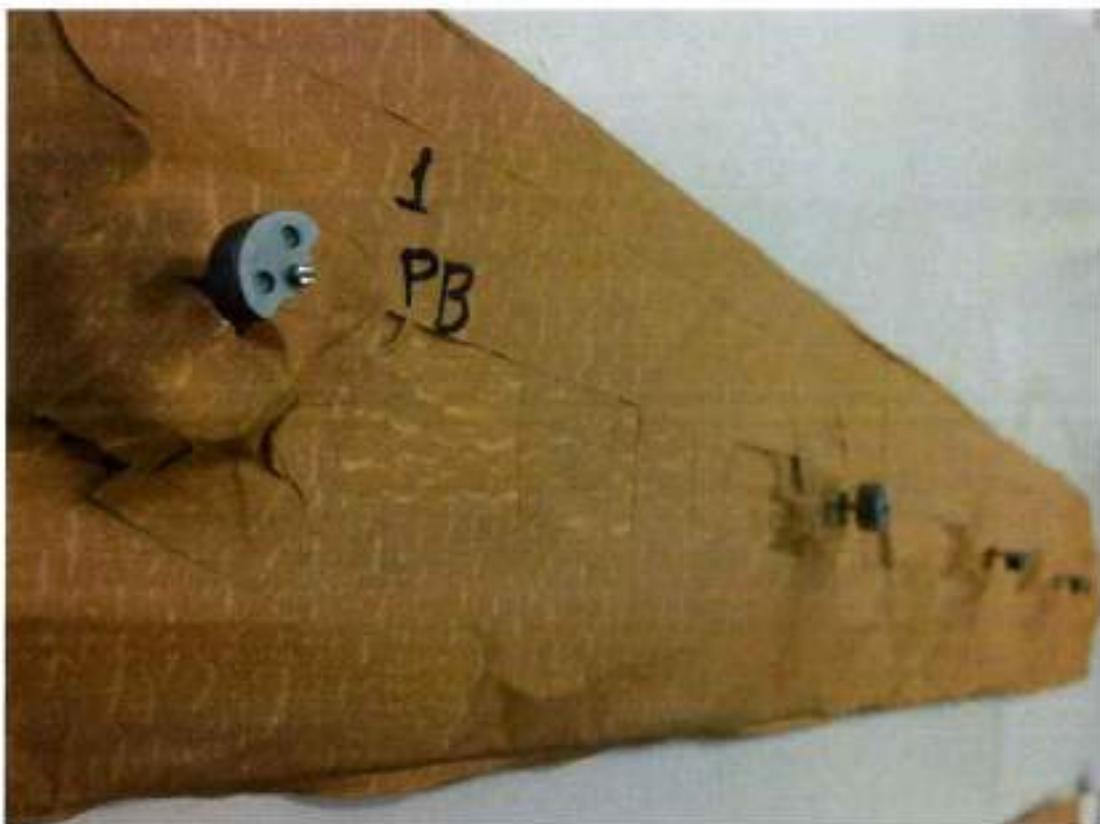
Multiplexadores/Demultiplexadores

Seguindo o padrão TTL para trabalhar com a placa Arduino selecionada, foram usados os Cls 74LS251 e 74HC238 (o componente CMOS foi testado por indisponibilidade do modelo LS).

Motores de vibração

Foram usados motores DC encontrados em controles de videogame, que possuem um peso desbalanceado no seu eixo e têm o seu acionamento controlado por modulação por largura de pulso (PWM), com tensão nominal de 3,3V.

Figura 10 – Motor DC de vibração



Fonte: Autor

Driver de motor

Acionar motores DC exigem corrente elevada e, portanto, é comum o uso de um driver de motor que utiliza uma fonte de alimentação secundária para fornecer a corrente, enquanto é ativado pelos sinais digitais do microcontrolador. Foi escolhido o

CI L293D para implementar esse driver, que pode acionar vários motores em paralelo, e em uma única direção.

Microcontrolador

O microcontrolador da placa Arduino Uno é o ATmega328P, selecionado por conta da experiência prévia do autor com a programação.

Regulador chaveado

O regulador chaveado foi implementado pelo CI LM2596 e seu circuito de funcionamento da Figura 8.

Conecotor de alimentação

Foi usado um conector automotivo de acendedor de cigarro, para fornecer a alimentação de 12V estipulada como requisito.

Figura 11 – Conecotor de acendedor de cigarro automotivo (12V)



Fonte: Autor

4. Verificação do projeto

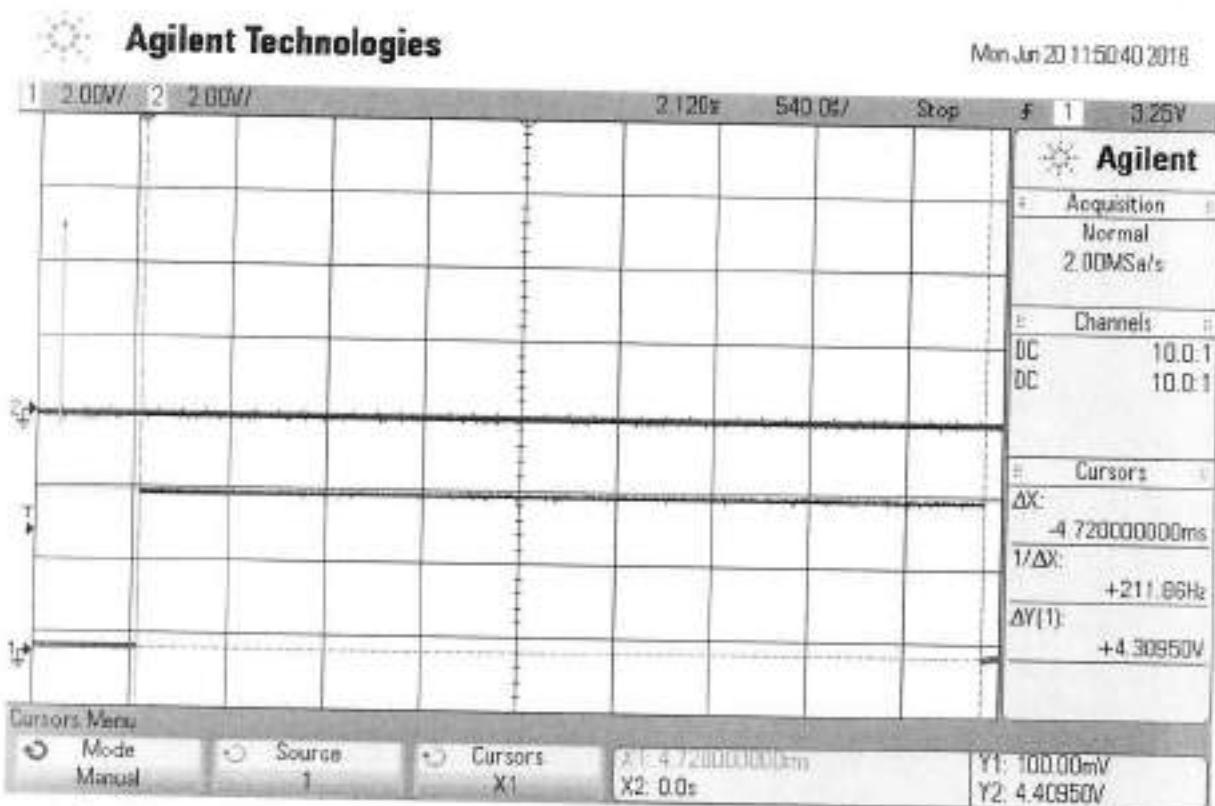
4.1 Resultados

4.1.1 Módulo de sensores

A PCB deste módulo implementa a multiplexação dos canais de ultrassom, de forma semelhante à observada no sensor de estacionamento comercial [9]. Foram usados um multiplexador e um demultiplexador para circuitaria TTL (CIs 74251 e 74238 respectivamente) para direcionar os sinais de *trigger* e *echo*. O esquemático da PCB encontra-se em detalhes no apêndice E.

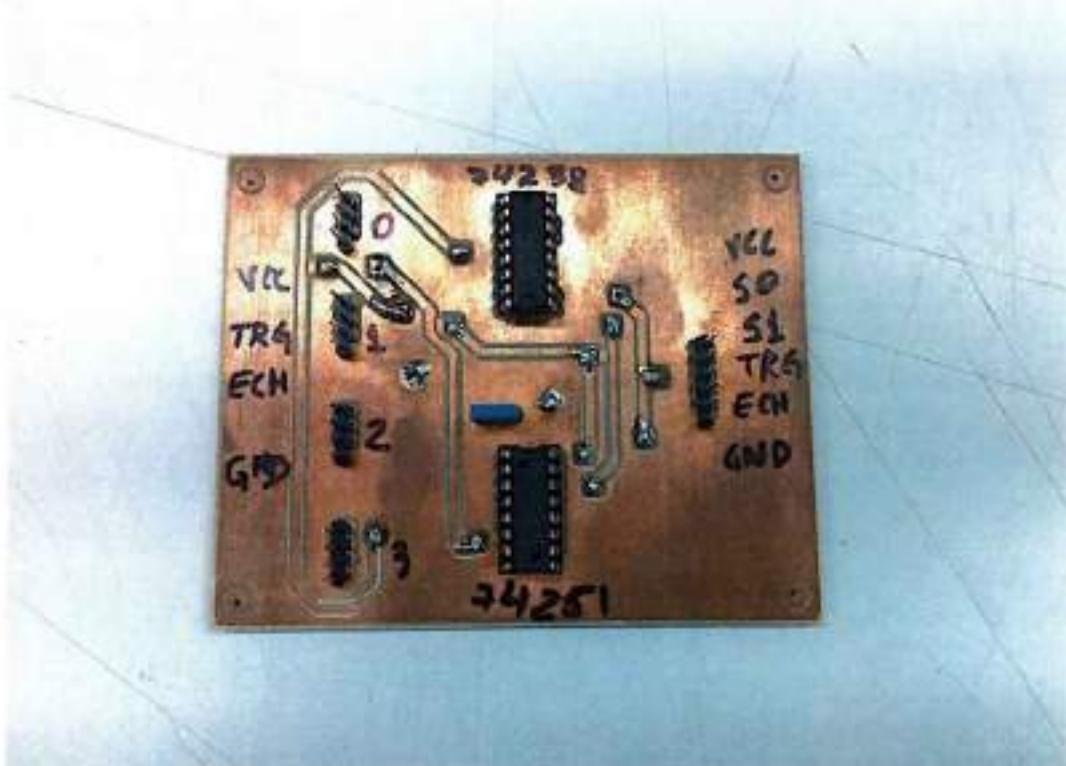
A placa foi validada usando o mesmo código da prova de conceito (ver apêndice B), com a adição dos sinais S0 e S1 para selecionar o canal desejado. Os sensores de ultrassom são conectados à placa por meio de um longo cabo *flat*, que posiciona os sensores com espaçamento semelhante àquele encontrado no para-choque de um carro (de 35cm a 55cm de espaçamento). Uma vez selecionado o canal, as formas de onda obtidas nos pinos de *trigger* e *echo* é apresentada na Figura 12. O pulso curto de *trigger* ativa o sensor, enquanto o sinal de *echo* tem seu comprimento de pulso associado à distância do obstáculo detectado.

Figura 12 – Pulso curto de trigger (sinal 2 - cima) e resposta de echo (sinal 1 - baixo)



Fonte: Autor

Figura 13 – PCB do módulo de sensores



Fonte: Autor

Figura 14 – Os shields HC-SR04 em array

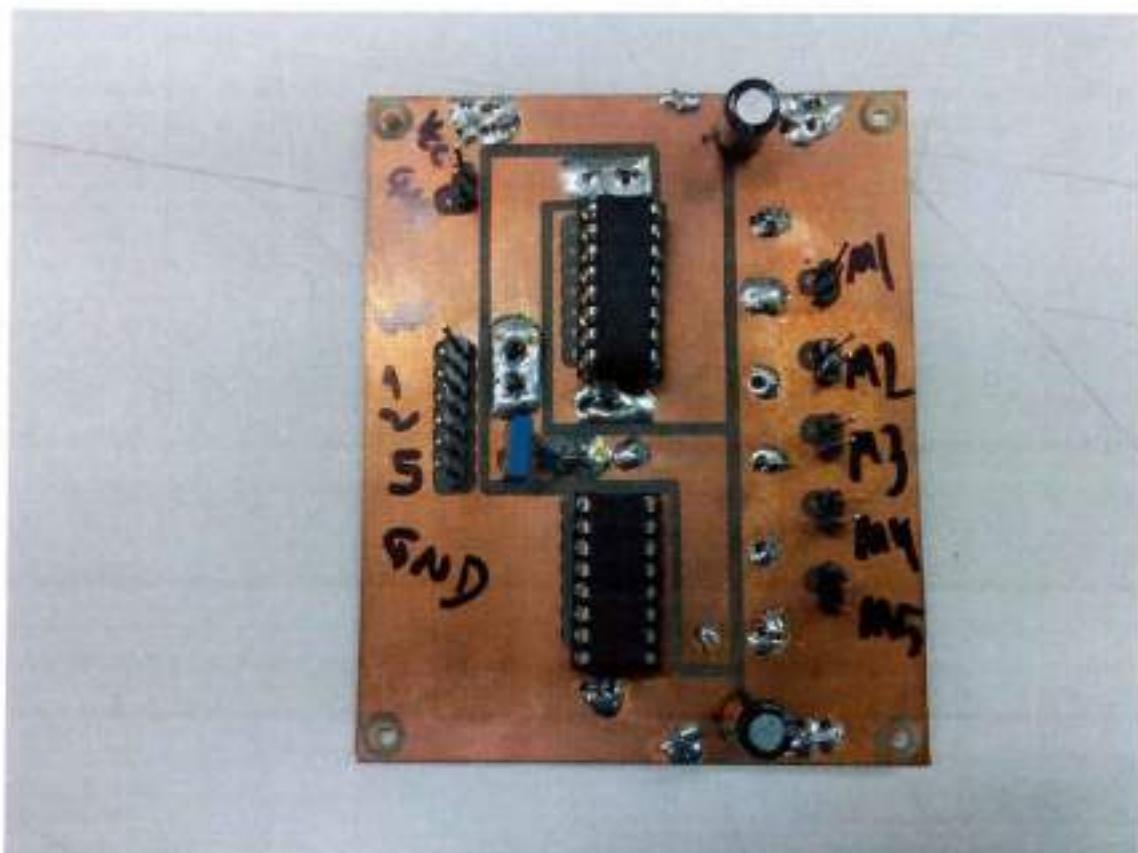


Fonte: Autor

4.1.2 Módulo de motores

O esquemático do circuito implementado, em detalhes, encontra-se no apêndice E. Nesta placa dois CLs L293D são usados como driver para 5 motores DC de vibração em paralelo. A placa recebe os sinais do microcontrolador, modulados na forma de pulsos PWM (Modulação por Largura de Pulso). A alimentação de potência do driver é separada da lógica TTL e vem diretamente do regulador chaveado.

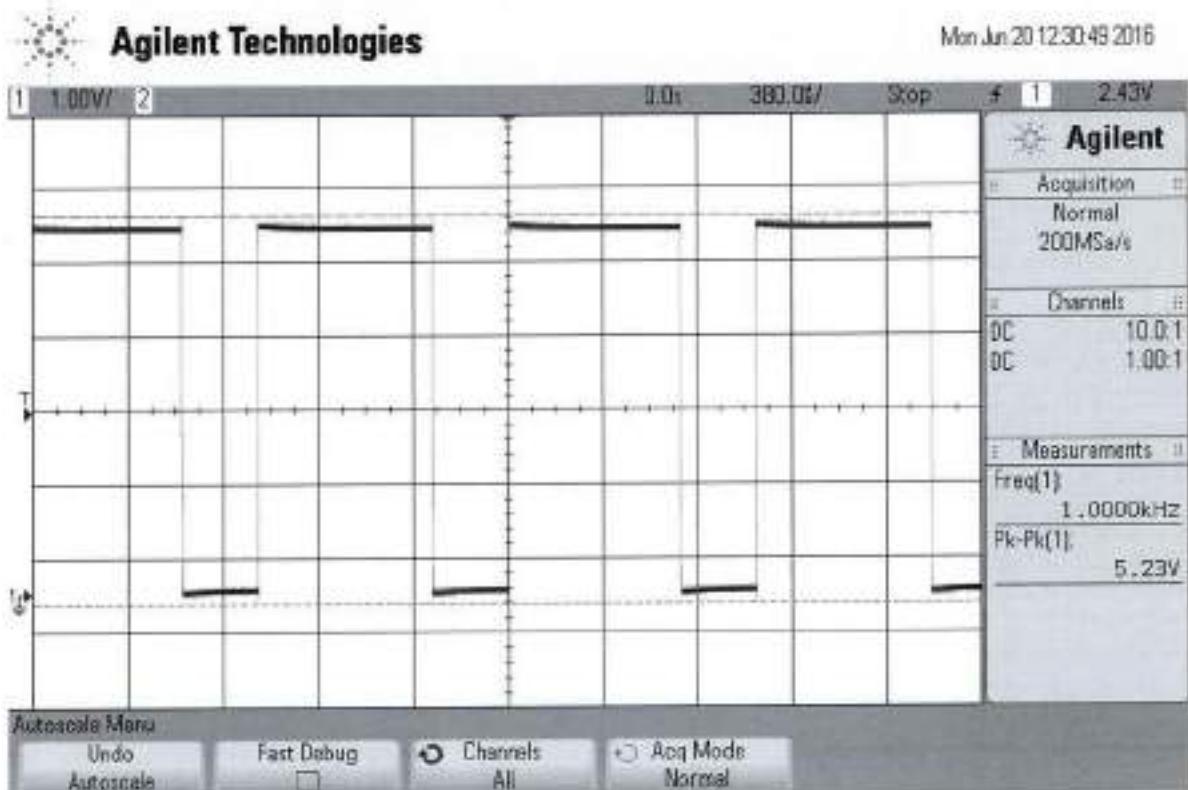
Figura 15 – PCB do driver dos motores DC



Fonte: Autor

A placa foi validada através de testes de bancada com o gerador de funções. O sinal de PWM foi verificado corretamente nas saídas do motor DC (que tem alimentação DC de 3.3V e, portanto, PWM máximo de 70% a 5V). Mesmo sob carga, a corrente drenada para cada entrada é inferior ao limite por pino da placa Arduino Uno, que é de 20mA [12].

Figura 16 – Verificação do PWM em uma das saídas de potência do driver



Fonte: Autor

4.1.3 Regulador chaveado de alimentação

Figura 17 – PCB do regulador chaveado de tensão



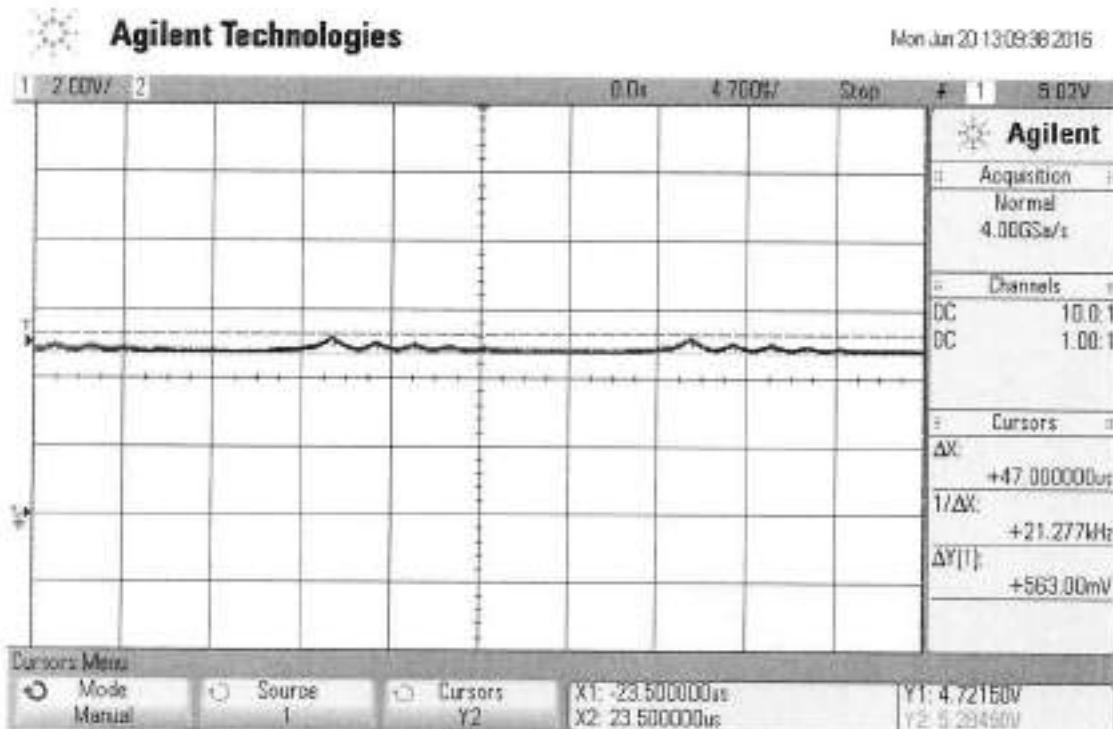
Fonte: Autor

O regulador chaveado foi implementado como solução para suprir a corrente dos motores DC, que a placa do microcontrolador não é capaz de suprir. Foi feita uma estimativa de pior caso de consumo. Para isso, mediu-se a corrente dos motores usados, assim como a corrente de curto-círcuito, para o caso deles travados.

A soma da corrente para os motores em operação normal é de cerca de 360mA, enquanto 920mA para o caso de travamento total. Considerando as especificações da placa Arduino [12] e dos sensores HC-SR04 [11], estimou-se uma corrente total de 530mA a 1A.

Foi usado o CI LM2596 para implementar um regulador chaveado de 5V. O esquemático completo do circuito utilizado, que seguiu as orientações do *datasheet* do CI [15], se encontra no apêndice E. A validação foi feita usando equipamentos de bancada. Foi fornecida a entrada de 12V e observada a saída de 5V com flutuações satisfatórias (sem ficar abaixo do nível crítico de alimentação do microcontrolador do sistema, a 3.3V), mesmo na situação de carga. Trata-se de um regulador eficiente e, considerando o improvável caso de travamento de todos os motores ao mesmo tempo, não foram necessárias modificações em função de excesso de dissipação térmica.

Figura 18 – Saída do regulador chaveado sob a carga de 4 motores operando

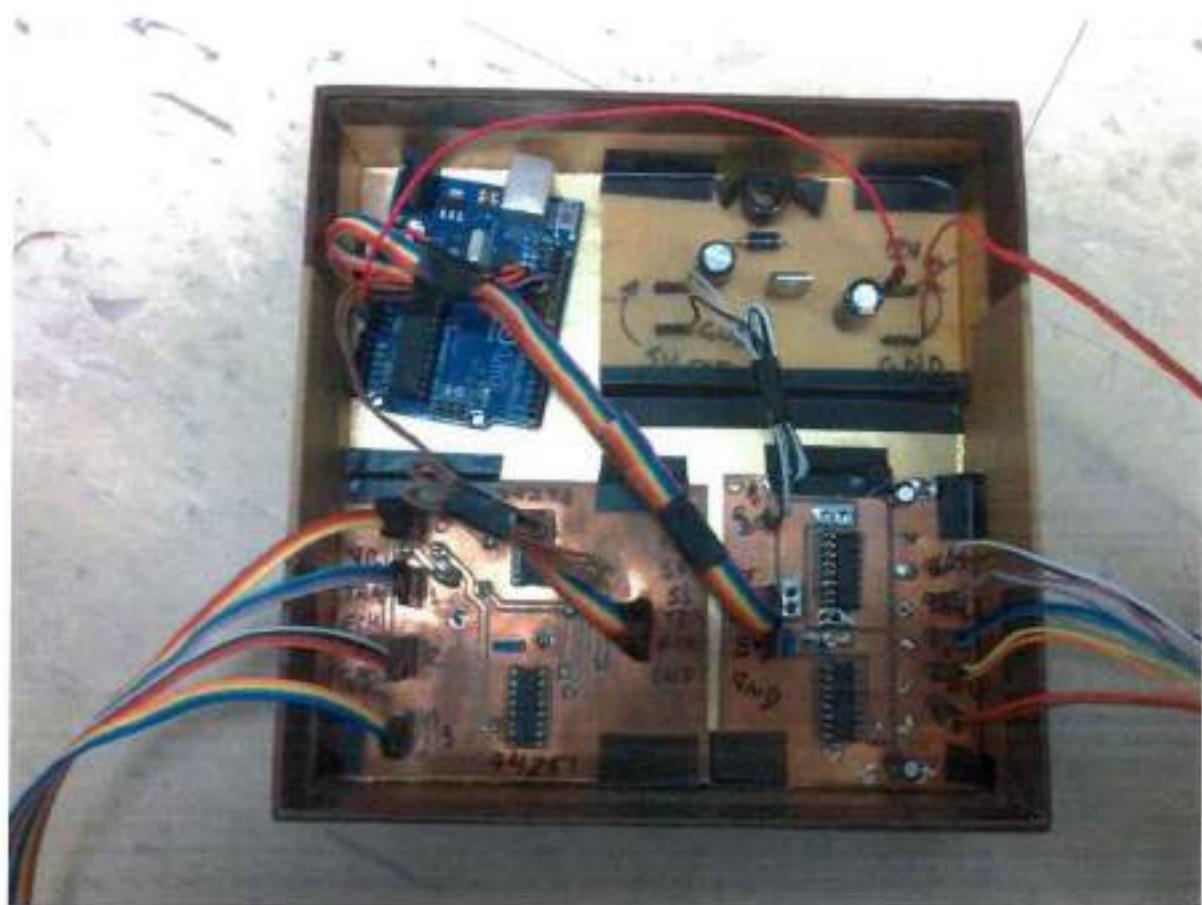


Fonte: Autor

4.1.4 Integração com microcontrolador e software

O sistema é composto pelos quatro módulos descritos na Figura 4: sensores, motores, microcontrolador e alimentação. As conexões foram realizadas por cabos *flat* nos *pinheads* projetados nas placas. Somente 3 cabos saem da caixa montada: aquele que vai para a régua de sensores, aquele que vai para a montagem dos motores, e o par de fios para alimentação via conector automotivo.

Figura 19 – Módulos conectados e montados em uma caixa



Fonte: Autor

Todos os *pinheads* para conexão foram devidamente identificados, sendo finalmente a listagem de pinos da placa Arduino apresentada na tabela a seguir.

Tabela 20 – Sinais dos pinos da placa Arduino Uno

Função	Pino
S0 (seleção sensor)	13
S1 (seleção sensor)	12
Trigger (sensor)	8
Echo (sensor)	7
M1 (PWM motor)	11
M2 (PWM motor)	10
M3 (PWM motor)	9
M4 (PWM motor)	6
M5 (PWM motor)	5

Fonte: Autor

O código está detalhado no apêndice D. O motor selecionado para vibrar deve indicar a posição do obstáculo, enquanto a intensidade corresponde à distância estimada. Foram determinadas algumas faixas de distância para o sistema, e os níveis de PWM usados para que se perceba a mudança de uma faixa para outra foram determinados experimentalmente.

Tabela 21 – Excitação dos motores de acordo com a distância

Faixa de distância	Duty Cycle do PWM
0cm – 30cm	80%
30cm – 100cm	60%
100cm – 180cm	40%
>180cm	0%

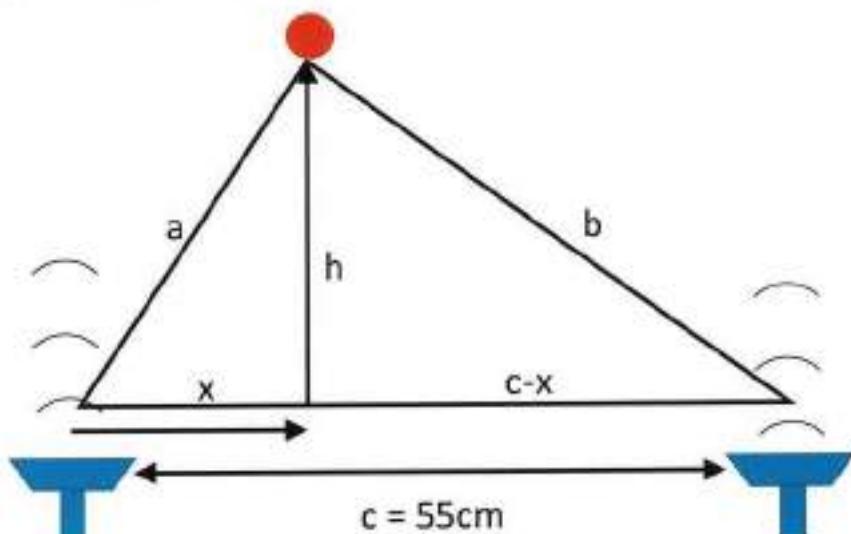
Fonte: Autor

Para o dado número de sensores menor que o de atuadores, o problema é considerado indeterminado caso assuma-se que a função de transferência do sistema é linear, isto é, que a saída é uma combinação linear das entradas.

Para a validação simples do projeto, foi escolhido o mapeamento direto dos 4 sensores sobre os respectivos 4 motores de vibração no assento, restando a um motor adicional (o central) a oportunidade para testar algum tipo de interpolação. Este tipo de estudo foge do escopo do projeto e pode dar origem à uma linha de pesquisa própria.

Por fim, foi implementado um método de estimativa aproximado e baseado em geometria, que possui limitações que não invalidam o projeto.

Figura 20 – Diagrama geométrico da estimativa da distância do obstáculo



Fonte: Autor

A Figura 20 mostra um método simples para estimar a distância que deveria ser lida por um hipotético sensor no centro do *array*. Aqui, dois sensores adjacentes realizam as leituras de distância, com as ondas ultrassônicas percorrendo os lados **a** e **b** do triângulo para alcançar o obstáculo vermelho. A distância **h** do *array* ao obstáculo está tracejada.

Supondo que o obstáculo seja grande e contínuo, as leituras de **a** e **b** serão iguais a **h** e o motor central deverá apenas copiar a informação dos seus dois motores adjacentes. Caso o obstáculo seja um ponto, como na Figura 20, os valores de **a** e **b** podem ser usados para determinar por relações trigonométricas os valores de **x** e **h**. Caso **x** tenha sido identificado como dentro do intervalo entre os sensores (de 0cm a 55cm), então **h** serve como uma estimativa grosseira da distância do obstáculo até o *array* de sensores.

Equacionando, estima-se **h** através de:

Teorema de Pitágoras:

$$a^2 = h^2 + x^2 \quad (1)$$

$$b^2 = h^2 + (c - x)^2 \quad (2)$$

$$h^2 = a^2 - x^2 = -(c - x)^2 + b^2 \quad (3)$$

$$a^2 - x^2 = b^2 - c^2 + 2cx - x^2 \quad (4)$$

$$x = \frac{a^2 - b^2 + c^2}{2c} \quad (5)$$

Substituindo a eq.(5) na eq.(1) e supondo $0 < x < 55$, obtém-se:

$$h = \sqrt{a^2 - \left(\frac{a^2 - b^2 + c^2}{2c} \right)^2} \quad (6)$$

Uma vez obtida esta estimativa de distância, o *duty cycle* do PWM do motor central é determinado seguindo os mesmos intervalos de distância dos outros motores, descritos na Tabela 21.

Esta estimativa somente será computada caso x tenha sido identificado como entre 0 e 55cm, e no caso contrário não haverá atuação no motor central. Por fim, o diagrama de radiação dos sensores garante a leitura precisa para um ângulo de até 30°, conforme a Figura 23, de forma que os diagramas de radiação para sensores paralelos somente se interceptam a partir de aproximadamente 45cm de distância h .

O funcionamento do sistema foi verificado qualitativamente com cinco voluntários, que conseguiram identificar a direção de origem de um obstáculo colocado na frente dos sensores. Eles também conseguiam qualitativamente avaliar a aproximação ou afastamento, baseado nas transições entre níveis de *duty cycle* do PWM dos motores.

4.2 Verificação de requisitos

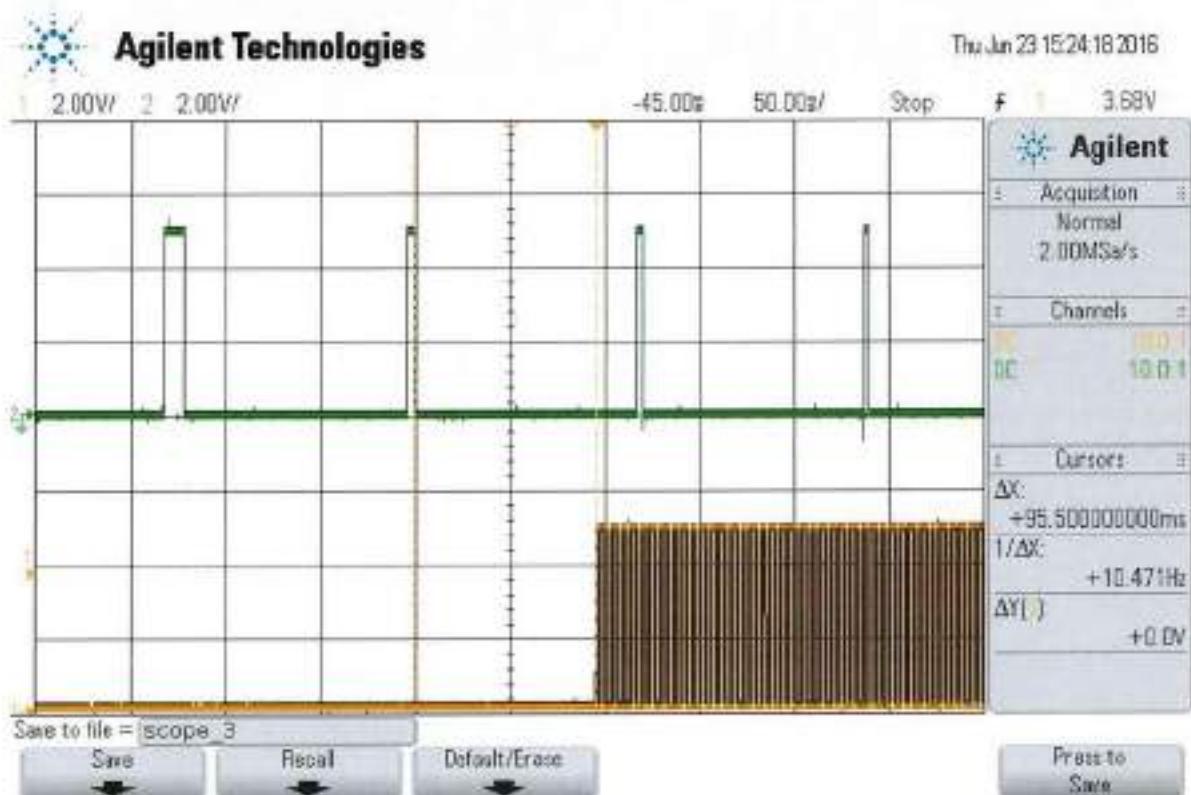
A Tabela 22 compara os requisitos de engenharia propostos inicialmente (Tabela 5) e os resultados verificados.

Tabela 22 – Verificação dos requisitos de engenharia

Requisito	Verificação
A – Tempo de resposta menor que 0,4s	A Figura 21 mostra o resultado de um teste de temporização do sistema. O sinal 2 (verde – cima) mostra pulsos do sinal de echo de um dado canal. O pulso mais largo significa uma distância maior, enquanto o primeiro pulso mais curto determina o momento de detecção de um obstáculo. O intervalo de tempo deste ponto até a ativação do PWM correspondente no sinal 1 (laranja – baixo) foi de cerca de 100ms. O intervalo entre as leituras dos outros 3 sensores é de 20ms, e assim o pior caso totaliza uma estimativa de 180ms.
B – Identificar obstáculos com alcance de 30cm até 1,80m	O sistema conseguiu identificar obstáculos planos e perpendiculares neste intervalo de distâncias, com precisão de 1cm. Também conseguiu identificar dois obstáculos em sensores independentes. A informação das distâncias fica armazenada no microcontrolador e pode ser acessada por alguma função posterior. O timeout dos sensores ultrassônicos é tratado como uma amostra nula.
C – Ter tensão e potência compatíveis com a saída elétrica do carro (12V no acendedor de cigarro)	O sistema funciona com 12V aplicados a um conector automotivo. A corrente máxima consumida experimentalmente está dentro das capacidades de potência do conector (abaixo de 12W).
D – Suportar mecanicamente as vibrações do carro	A montagem do equipamento no carro e testes de vibração fogem do escopo do projeto. O protótipo foi construído para fácil reposição de componentes e testes. Uma montagem mais robusta deve ser desenvolvida caso haja a intenção de criar um produto comercial.
E – Ter tamanho do módulo de processamento computacional compatível com a instalação no carro (dimensões de altura, largura ou profundidade menor que 15cm)	A caixa montada da Figura 19 tem dimensões 18cmx18cm e as PCBs foram posicionadas de forma a permitir fácil acesso às conexões entre os módulos. Uma montagem mais compacta não só é possível, mas necessária caso um produto comercial seja desenvolvido no futuro.

Fonte: Autor

Figura 21 – Medição do tempo de resposta do sistema ADAS



Fonte: Autor

Dentro do escopo de engenharia de sistemas eletrônicos, os requisitos de engenharia A, B e C foram satisfeitos, sendo o tempo de resposta do sistema alvo de maior atenção no início do projeto por ter sido identificado como crítico para a aplicação.

Os requisitos D e E são mecânicos e o protótipo não lhes atendeu rigorosamente, contudo esta flexibilidade é esperada do protótipo inicial, em comparação ao *design* de um produto pronto para reprodução. Por fim, o orientador julgou o protótipo construído adequado para a apresentação e avaliação.

4.3 Padrões

O microcontrolador foi programado usando a linguagem C específica do Arduino. O apêndice D inclui o código completo com os comentários pertinentes localizados em cada seção do código.

O sensor ultrassônico foi usado segundo o protocolo de sinais de *trigger* e *echo* descritos no apêndice B, assim como no manual da referência [11].

Os circuitos integrados utilizados foram o multiplexador digital 74251 [13], o demultiplexador 74238 [14], o driver de motor L293D [15] e o regulador chaveado

LM2596 [16]. Todos devidamente documentados nos *datasheets* listados de referência.

Os sinais trabalhados na interconexão dos módulos são S0/S1, *trigger*, *echo*, *M1*, *M2*, *M3*, *M4* e *M5*. Estão previamente mapeados na Tabela 20.

5. Discussão e conclusões

Este projeto obteve êxito em ter sido concluído no prazo, atendendo aos requisitos e dentro das restrições estipuladas como custo e materiais.

A argumentação sobre a sobrecarga visual a que está submetido o motorista já foi alvo de estudo e a prática anterior de sistemas com resposta auditiva é reforçada por diversos estudos científicos sobre tempo de reação [17] [18] [19]. A proposta de estímulos hapticos também não é nova como evidenciado pela patente que inspirou este projeto [6]. Porém, estender esses conceitos para o que poderia vir a ser um novo produto foi um interessante desafio.

O protótipo não está pronto para ser instalado em um carro para testes, mas já tem plena capacidade de ser a prova de conceito para a elaboração do produto, tendo o foco sido na construção do hardware, abrindo a possibilidade de trabalhos futuros sobre um software mais robusto e refinado. A capacidade da memória do microcontrolador usado foi subutilizada e o tempo de resposta obtido dá margem para melhorias. O desenvolvimento modular do hardware também permite a fácil substituição de componentes. Por fim, o que falta seria um trabalho de design industrial para que a montagem tanto dos sensores, motores no assento e a caixa com os módulos eletrônicos seja compacta, e robusta às vibrações e intempéries.

Em termos da execução das principais etapas de um projeto de engenharia, algumas lições foram aprendidas:

- É necessário o devido tempo e esforço para a concepção do projeto. Esta deve ser robusta como um investimento de longo prazo, a fim de evitar transtornos durante a implementação.
- Utilizar equipamentos e conceitos conhecidos, para combiná-los em algo novo, mesmo que haja uma leve inovação incremental, é uma abordagem válida.
- É necessária flexibilidade para lidar com mudanças de cronograma, e a devida atenção para prever as atividades que travam a execução do projeto. Ainda assim, revisar e alterar etapas passadas é normal.
- O custo de desenvolvimento é diferente do custo de construção do protótipo.
- O protótipo foi validado, mas são necessários testes mais automatizados para de fato atender aos requisitos de robustez de um produto com aplicação tão crítica quanto segurança automotiva.

Referências Bibliográficas

- [1] Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS), Morbidade hospitalar do SUS por causas externas- por local de internação – São Paulo. Disponível em:
<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/fisp.def>. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [2] DNIT, Estatísticas de Acidentes. Disponível em:
<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/estatisticas-de-acidentes>. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [3] CARVALHO, I. Distração ao volante. Quatro Rodas. 26 jun. 2013. Disponível em:
<http://quatorodas.abril.com.br/reportagens/geral/distracao-ao-volante-745137.shtml>. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [4] RICHES, I. Automotive ethernet market growth outlook. Strategy Analytics, Inc. 23 out. 2014. Disponível em:
http://standards.ieee.org/events/automotive/2014/00_Automotive_Ethernet_Market_Growth_Outlook.pdf. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [5] NAYLOR, N. NHTSA Announces Final Rule Requiring Rear Visibility Technology. NHTSA. 31 mar. 2014. Disponível em:
<http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/2014/NHTSA+Announces+Final+Rule+Requiring+Rear+Visibility+Technology>. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [6] GM. Cadillac XTS Safety Seat Alerts Drivers to Dangers. 27 mar. 2012. Disponível em:
http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2012/Mar/0327_cadillac_safety.html. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [7] POLICE RADAR INFORMATION CENTER. Braking Factors. Disponível em:
<http://copradar.com/redlight/factors/index.html#rtime>. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [8] Sensor de Estacionamento Wireless 4 Pontos Display LED Sinal Sonoro Preto Prata ou Branco. Disponível em:
<http://www.arsenalcar.com.br/sensor-de-estacionamento-wireless-4-pontos-display-led-sinal-sonoro-preto-prata-ou-branco-pr-3126-315169.htm>. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [9] Sensor de Estacionamento Ré 4 Pontos Display LCD com Iluminação Ambar ou Azul. Disponível em:
<http://www.arsenalcar.com.br/sensor-de-estacionamento-re-4-pontos-display-lcd-com-iluminacao-ambar-ou-azul-pr-631-315169.htm>. Acesso em 4 de novembro de 2015.

- [10] Sensor De Aproximação Orbe | Prata Display Numérico 8 Pontos. Disponível em:
<<https://www.balaodainformatica.com.br/ProdutoAnuncio/1004813/-Sensor-De-Aproximacao-Orbe-Prata-Display-Numerico-8-Ponto>>. Acesso em 4 de novembro de 2015.
- [11] Manual do módulo de detecção ultrassônica HC-SR04. Disponível em:
<<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>. Acesso em 7 de dezembro de 2015.
- [12] Especificações da placa Arduino Uno. Disponível em:
<<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em 13 de junho de 2016.
- [13] Datasheet do CI 74251. Disponível em:
<http://pdf.dzsc.com/20130115/HD74LS251FPEL_1912197.pdf>. Acesso em 4 de julho de 2016.
- [14] Datasheet do CI 74238. Disponível em:
<<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/cd74hc138.pdf>>. Acesso em 4 de julho de 2016.
- [15] Datasheet do CI L293D. Disponível em:
<https://www.arduino.cc/documents/datasheets/H-bridge_motor_driver.PDF>. Acesso em 4 de julho de 2016.
- [16] Datasheet do CI LM2596. Disponível em:
<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>>. Acesso em 4 de julho de 2016.
- [17] SHELTON, J.; KUMAR, G.P. Comparison between Auditory and Visual Simple Reaction Times. **Scientific Research: Neuroscience & Medicine**, n.1, p. 30-32. 2010.
- [18] PEKKA, N.; RISTO, N. Foreperiod and Simple Reaction Time. **Psychological Bulletin**, v. 89, n.1, p. 133-162, 1981.
- [19] JAIN, A.; BANSAL, R.; KUMAR, A.; SINGH, K. D. A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students. **International Journal of Applied and Basic Medical Research**, v.5(2), p. 124-127, maio-agosto 2015.

Apêndice A – Gerenciamento de projeto

A.1 Estrutura Analítica de Projeto

Tabela 23 - Estrutura Analítica do Projeto (Continua)

ID	Atividade	Descrição	Tempo* (dias)	Predecesso- res	Entregáveis	Recursos
1	Prova de Conceito	Seleção de com- ponentes/plata- forma para a prova de conceito	-	-	-	-
1.1	Seleção	Aquisição/entrega dos componentes para prova de con- ceito	2	-	Lista de com- ponentes	-
1.2	Aquisição	Estudar uso dos componentes/plata- forma	X	1.1	Componentes	-
1.3	Estudo	Montar o modelo que será usado para prova de con- ceito	4	1.2	Conhecimento do equipa- mento	Datasheet e bancada
1.4	Design	Montar prova de conceito	2	1.3	Modelo para montagem pronto	Computador
1.5	Montagem	Validar prova de conceito	3	1.4	Montagem pronta para testes	Laboratório
1.6	Validação	Escrever monogra- fia, pôster e apre- sentação	2	1.5	Prova de Conceito pronta para demonstração	Bancada de laboratório
1.7	Documenta- ção	-	2	1.1 – 1.6	Entregáveis do final de TF1	Computador
2	Protótipo Inicial	Seleção, aquisição e entrega dos com- ponentes para protótipo	X	-	Componentes	-
2.1	Seleção	-	-	-	-	-

ID	Atividade	Descrição	Tempo* (dias)	Predecesso- res	Entregáveis	Recursos
2.2	Estudo	Estudo do equipamento selecionado	4	2.1	Conhecimento do equipamento	Datasheet e bancada
2.3	Design	Concepção da estrutura do protótipo	3	2.2	Modelo para montagem	Computador
3	Módulo de sensores	-	-	-	-	-
3.1	Montagem	Montagem do módulo	3	2.3	Módulo para validação	Laboratório
3.2	Validação	Testes de Funcionamento	2	3.1	Módulo pronto para integração	Bancada de laboratório
4	Módulo de motores de vibração	-	-	-	-	-
4.1	Montagem	Montagem do módulo	3	2.3	Módulo para validação	Laboratório
4.2	Validação	Testes de funcionamento	2	4.1	Módulo pronto para integração	Bancada de laboratório
5	Módulo do microcontrolador	-	-	-	-	-
5.1	Co-Design	Escrever software juntamente com a concepção da placa	4	2.3	Software e modelo para montagem	Computador
5.2	Montagem	Montagem do módulo	3	5.1	Módulo para validação	Laboratório
5.3	Validação	Testes de funcionamento	2	5.2	Módulo pronto para integração	Bancada de laboratório
6	Módulo de conversão de tensão	-	-	-	-	-
6.1	Montagem	Montagem do módulo	3	2.3	Módulo para validação	Laboratório

ID	Atividade	Descrição	Tempo* (dias)	Predecesso- res	Entregáveis	Recursos
6.2	Validação	Testes de funcio- namento	2	6.1	Módulo pronto para integra- ção	Bancada de laboratório
7	Integração	-	-	-	-	-
7.1	Montagem	Ligaçāo dos módu- los	3	3.2, 4.2, 5.3, 6.2	Protótipo pronto para testes	Laboratório
7.2	Validação	Testes de funcio- namento	2	7.1	Protótipo fun- cional	Bancada de laboratório
7.3	Refinamen- tos	Preparação do protótipo para apre- sentação	2	7.2	Protótipo pronto para apresentação	Laboratório
7.4	Documenta- ção**	Escrever monogra- fia, pôster e apre- sentação	2	7.1, 7.2	Entregáveis finais	Computador

Conclusão – Fonte: Autor

* O tempo estimado não é contíguo, assumindo que o projeto não será desenvolvido necessariamente em todos os dias e deixando margem de segurança para imprevistos.

A.2 Cronograma do Projeto

Tabela 24 – Cronograma do projeto

Atividade/Semanas	Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho			
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
2.1 - Seleção																				
2.2 - Estudo																				
2.3 - Design																				
3.1 - Montagem																				
3.2 - Validação																				
4.1 - Montagem																				
4.2 - Validação																				
5.1 - Co-design																				
5.2 - Montagem																				
5.3 - Validação																				
6.1 - Montagem																				
6.2 - Validação																				
7.1 - Montagem																				
7.2 - Validação																				
7.3 - Refinamentos																				
7.4 - Documentação																				

Fonte: Autor

*Esta tabela apresenta o cronograma que efetivamente foi seguido no final. Em função da disponibilidade de equipamentos e materiais para a confecção das placas de circuito impresso, mudou-se a estrutura em relação à proposta inicial.

A.3 Lista de materiais e custos

Tabela 25 – Tabela de custos do projeto

Componente	Preço	Nr. Mo- delo	Fornece- dor	Comentários	Quantidade	Custo
Placa Arduino	US\$24,95	Uno	Arduino LLC	Fornecido pelo laboratório LMAG	1	R\$0,00
Módulo sensor ultrassônico Arduino	R\$12,00	HC- SR04	Mercado Livre	-	4	R\$48,00
Kit sensor es- tacionamento	R\$40,00	3434024	Arsenal Car	Funcionamento estudado e usado como base	1	R\$40,00
Protoboard	R\$10,00	-	-	Disponível an- teriormente	1	R\$0,00
Kit 10 motores vibração	R\$19,90	-	Mercado Livre	-	1	R\$19,90
Componentes Compra #1	R\$50,00	-	Mult Comercial	-	1	R\$50,00
Componentes Compra #2	R\$19,00	-	Dabi	-	1	R\$19,00
Confecção PCB	R\$50,00	-	-	-	1	R\$50,00
Componentes Compra #3	R\$56,80	-	-	-	1	R\$56,80
HC-SR04	R\$10,80	-	-	Reposição de sensor que- brado	2	R\$21,60
TOTAL						R\$305,30

Fonte: Autor

*A restrição de preço do protótipo é de cerca de R\$300,00; embora não seja estritamente rigorosa. Contudo, o custo estimado do protótipo propriamente dito está na faixa de R\$230,00. A diferença decorre da compra de componentes extras para reposição, e também do descarte do kit comercial inicialmente proposto para os sensores.

A.4 Análise de Riscos

Estes trechos foram extraídos do documento de proposta do projeto, prevendo a dificuldade das várias etapas de implementação.

A.4.1 Risco Alto

As atividades identificadas como de maior risco são as que pausam o andamento do projeto por períodos indeterminados. A aquisição de equipamento é o exemplo mais importante, com a dependência de entregas ou disponibilidade da loja.

Atenção especial também é dada à escolha do elemento microcontrolador. Neste caso um projeto de pequeno porte tem a vantagem do design mais flexível e rápido,

mas o andamento do trabalho pode ser prejudicado pela duração da compra do novo equipamento.

Finalmente o item 5.1 (co-design do bloco microcontrolador) também apresenta alto risco, porque escrever e debugar software é um processo demorado. Porém o escopo deste projeto dá mais atenção ao desenvolvimento da eletrônica usada e o software tem a função de validar o sistema. Modelos de reconhecimento de obstáculos mais robustos poderão ser desenvolvidos futuramente em um trabalho à parte.

A.4.2 Risco Médio

As atividades de risco médio são principalmente as de montagem, para todos os blocos funcionais, devido à disponibilidade do equipamento de laboratório e porque a inspeção naturalmente toma tempo. A correção de design ainda é possível durante a etapa de montagem, já que no projeto de pequeno porte é mais fácil trocar componentes ou conexões. Contudo simulações anteriores devem minimizar a possibilidade de correções.

A.4.3 Risco Baixo

As etapas de baixo risco são as etapas de validação e documentação. A validação consiste em definir bem os testes a serem documentados, com possíveis correções mais pontuais nos blocos. A documentação toma tempo, mas está sendo conduzida de forma incremental conforme o andamento do projeto.

Apêndice B – Prova de conceito

Dentre todos os blocos funcionais do sistema ADAS (Figura 4), a função de caráter mais inédito para o autor foi o uso de sensores ultrassônicos para cálculo de distância. O objetivo da prova de conceito é demonstrar o funcionamento de alguma parte crítica do sistema a ser construído, e como esta demonstração se relaciona com o sistema final, como um todo.

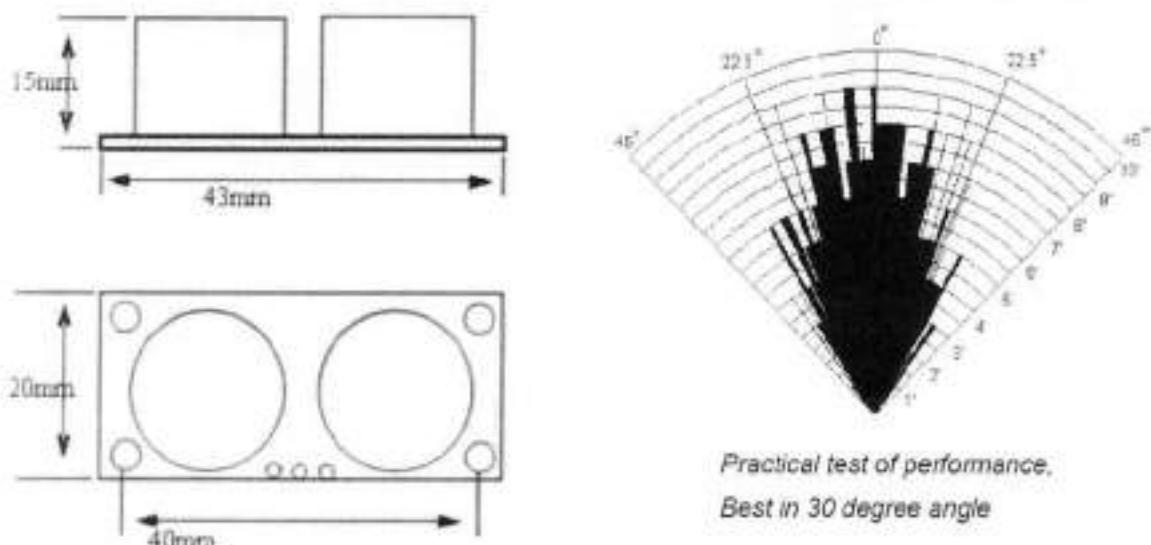
O objetivo do primeiro teste foi a medição de distância de um obstáculo, via sensor ultrassom, para o entendimento do protocolo que é usado para a passagem de informação. O componente usado foi o módulo HC-SR04 [11], que é bastante comum em pequenos projetos que usam a plataforma Arduino.

Figura 22 - Módulo HC-SR04.



Fonte: Manual do HC-SR04 [11] <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

Figura 23 – Dimensões e diagrama de radiação do HC-SR04.

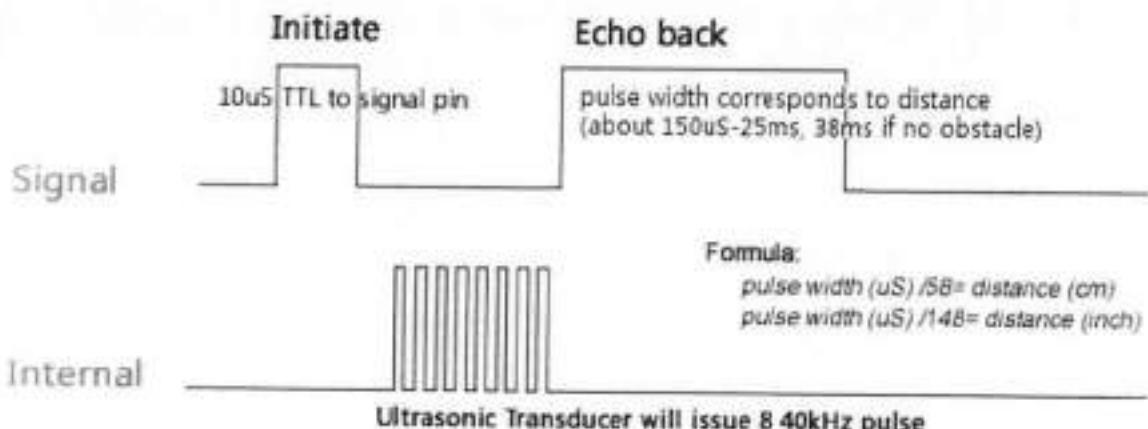


Fonte: Manual do HC-SR04 [11] <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

Notoriamente o HC-SR04 apresenta o alto-falante e o microfone separados. Ele tem 4 pinos: 2 de alimentação (Vcc, GND), trigger e echo. Para realizar uma medida é primeiro necessário um pulso de pelo menos $10\mu s$ no pino de trigger, que resultará na emissão de pulsos de ultrassom pela circuitaria do ressonador interno.

Ao final da emissão de pulsos o sinal de echo vai a nível lógico 1 (HIGH) e assim permanece até a detecção do eco. A medida da largura do pulso de echo permite a estimativa da distância do obstáculo. Para a velocidade do som de cerca de 340m/s, basta dividir o tempo medido em μs por 58 para se obter a distância que o som percorreu e voltou, em centímetros.

Figura 24 – Uso dos HC-SR04 por sinais trigger e echo.



Fonte: Manual do HC-SR04 [11] <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

O diagrama da Figura 24 mostra trigger e echo como sinais de um único pino, já que o ressonador ultrassônico funciona como ambos microfone e alto-falante. Este seria o caso para os sensores ultrassônicos extraídos de um kit comercial de sensor de estacionamento.

Já para o módulo HC-SR04, os pinos são diferenciados e o sistema foi testado com o código abaixo, carregado na placa Arduino Uno.

```

const int trigPin = 12;
const int echoPin = 13;

void setup() {
    serial.begin(9600);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
}

void loop() {
    //pulso trigger
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    //distancia calculada em cm, usando velocidade do som de 340m/s
    unsigned long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    int distance = duration/58;
    serial.print("\ndistancia(cm): ");
}

```

```
Serial.print(distance);
delay(1000);
}
```

Os resultados corresponderam ao esperado, em se tratando de um módulo didático em que não há preocupações com temporização ou interferências secundárias. As medidas de um obstáculo plano, diretamente à frente do sensor, resultaram em leituras com erro máximo verificado de 0,5cm para até 1,5m de distância.

Apêndice C – Estudo do kit de sensor de estacionamento comercial

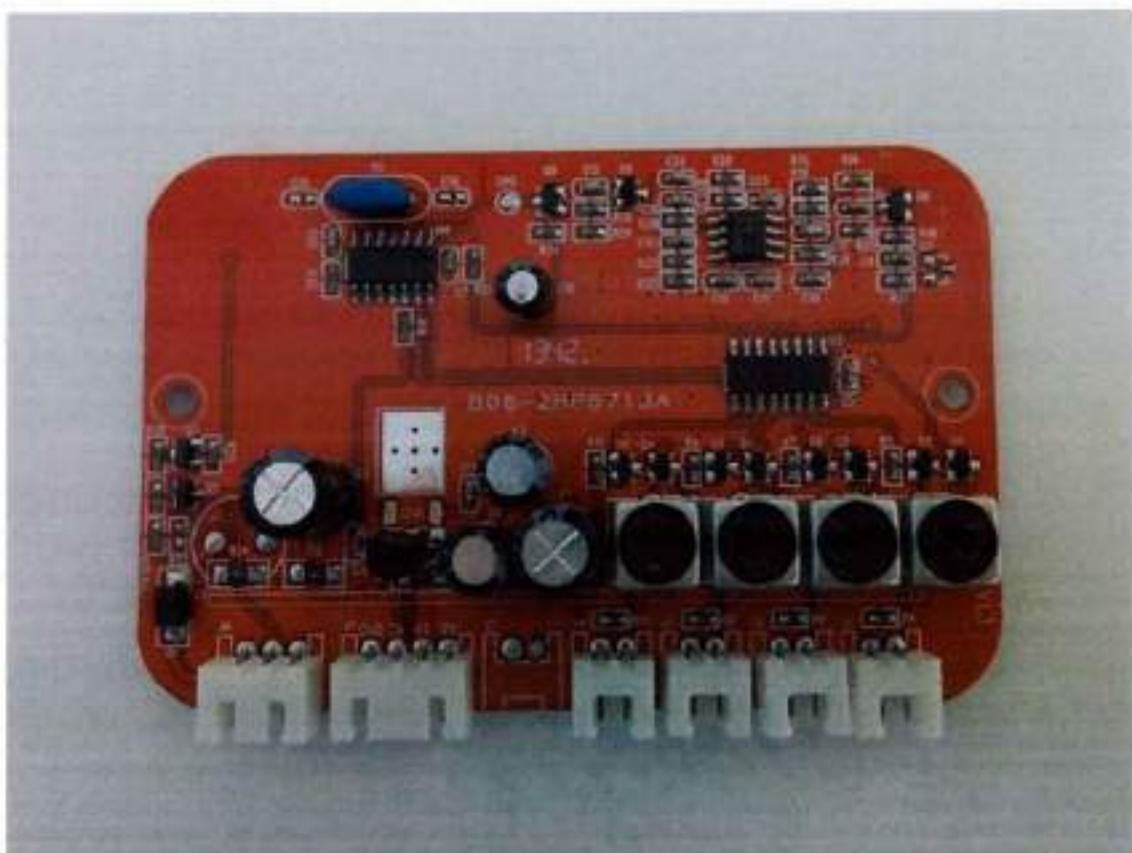
O objeto do segundo estudo foi o módulo extraído de um sensor de estacionamento comercial [9]. Neste, quatro transdutores (Figura 25) são instalados na traseira do veículo e conectados a uma placa de controle (Figura 26). Diferente do módulo HC-SR04, as peças da Figura 25 são os transdutores puros e não podem ser conectados diretamente no Arduino. A placa contém o circuito ressonador e nela deve ser inserido o sinal de trigger e extraído o sinal de echo, uma vez que a parte adequada do circuito é isolada.

Figura 25 - Transdutores do sensor de estacionamento comercial.



Fonte: Autor

Figura 26 - Placa de controle do sensor de estacionamento comercial.

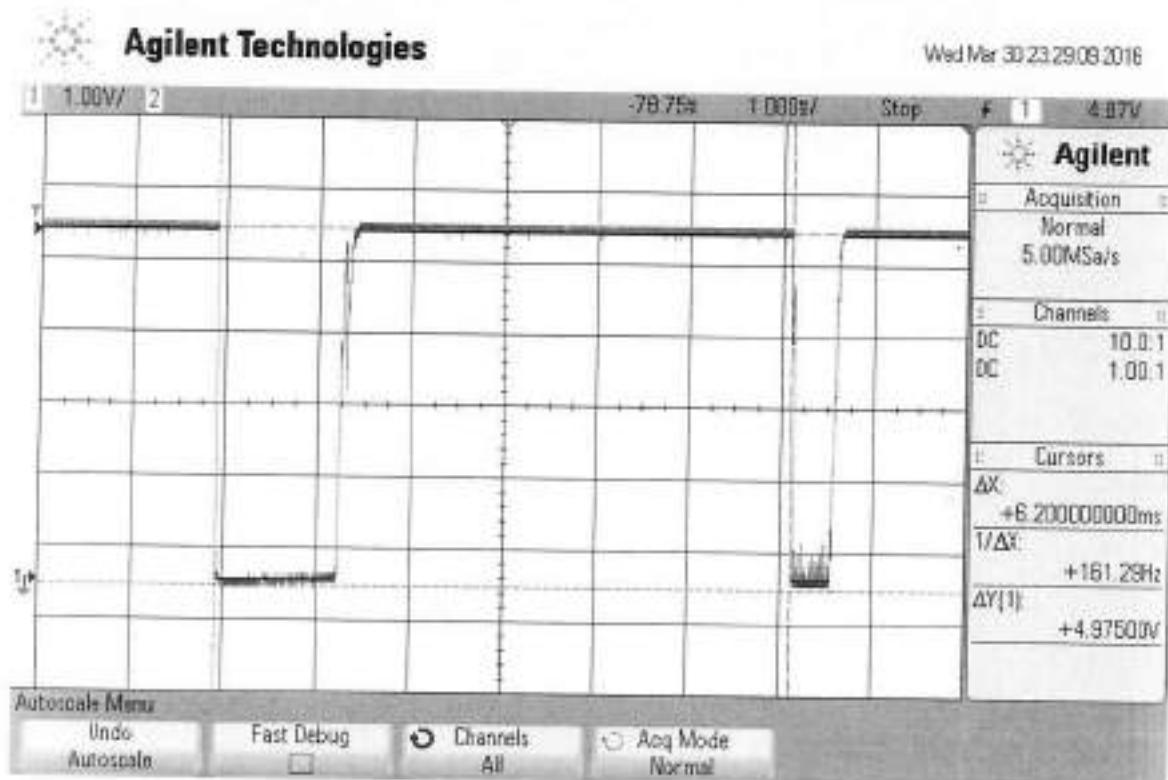


Fonte: Autor

A placa de controle do sensor foi estudada, e feita a sua "engenharia reversa". Conclui-se que o processamento da placa é realizado por circuito digital de aplicação específica (ASIC), que não pode ser reprogramado. Na sua fabricação, contudo, os projetistas deixaram disponível um pino para a observação dos sinais da placa.

Observando este pino no osciloscópio, foi possível identificar que a máquina de estados multiplexa os 4 canais de ultrassom: envia sinais de trigger, aguarda a resposta no mesmo canal, calcula a distância de reflexão e passa para o próximo canal.

Figura 27 – Sinais de trigger e echo no osciloscópio.



Fonte: Autor

A troca de canal ocorre a cada 40ms, e a identificação dos canais ocorre através da largura do pulso de trigger: o canal 1 é “marcado” com duração de trigger de 760 μ s, enquanto os outros três têm duração de 670 μ s. A Figura 27 mostra a detecção de um dos canais, no qual o pulso de eco retorna após 6,2ms.

Dois fatores dificultaram o uso deste kit comercial: como não seria possível alterar os circuitos ressonadores nem o ASIC controlador, restava a possibilidade de apenas ligar a placa e ser um “observador” daquele pino de depuração. Isso colocaria mais restrições de tempo sobre o microcontrolador, além de criar novos problemas com sincronização. O segundo ocorrido é que um dos transdutores sofreu danos e não foi encontrado um novo para reposição, a não ser na compra de um novo kit completo. O custo da compra seria maior do que comprar novos shields HC-SR04 para Arduino, e esta foram os sensores usados até o final do projeto.

Apêndice D – Software do Arduino

```

//Sistema ADAS v3 - RD 2016
//mapeamento de pinos do Arduino Uno
const int S0 = 13;
const int S1 = 12;
const int trigPin = 8;
const int echoPin = 7;

const int M1 = 11;
const int M2 = 10;
const int M3 = 9;
const int M4 = 6;
const int M5 = 5;

unsigned long time_out = 12000; //timeout para obstaculo mais distante que 2m
unsigned long delay_entre_sensores = 20;// determinado experimentalmente

float equalize[5];//equaliza o estímulo nos varios motores, que respondem com
                  //vibracao diferente para o mesmo PWM

float x;
int distance_estimation;// distancia estimada para o motor central
int distance[4];
int vibration[5]; //coeficiente de vibracao usado no PWM
                  //vibration[4] sera usado para testar um metodo de interpolacao entre os
                  //sinais de dois sensores adjacentes

void setup() {

Serial.begin(9600); //Para monitorar os valores de distance[]
pinMode(S0, OUTPUT);
pinMode(S1, OUTPUT);
pinMode(trigPin, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT);

pinMode(M1, OUTPUT);
pinMode(M2, OUTPUT);
pinMode(M3, OUTPUT);
pinMode(M4, OUTPUT);
pinMode(M5, OUTPUT);

//valores de equalizacao dos motores determinados experimentalmente
equalize[0] = 0.8;
equalize[1] = 1;
equalize[2] = 1;
}

```

```
equalize[3] = 1;
equalize[4] = 0.4;
}

void loop() {
delay(delay_entre_sensores);
digitalWrite(s0, LOW);
digitalWrite(s1, LOW);
distance[0] = lerSensor();

delay(delay_entre_sensores);
digitalWrite(s0, HIGH);
digitalWrite(s1, LOW);
distance[1] = lerSensor();

delay(delay_entre_sensores);
digitalWrite(s0, LOW);
digitalWrite(s1, HIGH);
distance[2] = lerSensor();

delay(delay_entre_sensores);
digitalWrite(s0, HIGH);
digitalWrite(s1, HIGH);
distance[3] = lerSensor();

for(int i = 0; i < 4; i++){
  if(distance[i] < 180 && distance[i] > 0){
    if(distance[i] < 30)
      {vibration[i] = (int)255*0.8;}
    else{
      if(distance[i] < 100)
        {vibration[i] = (int)255*0.6;}
      else
        {vibration[i] = (int)255*0.4;}
    }
  }
  else
    {vibration[i] = 0;}
}

//teste de interpolacao dos sensores no motor central
//usa estimativa da distancia do centro do array, baseado em relacoes geometricas
//de triangulo
//estima uma distancia teorica do sensor central e aplica a respectiva intensidade
//de vibracao
//essa estimativa esta restrita ao obstaculo identificado entre os dois sensores do
//meio, e nao mais distante que 180cm
```

```

if(distance[1] == 0 || distance[2] == 0)
{vibration[4] = 0;}
else{
    x = (distance[1]*distance[1]-distance[2]*distance[2]+3025)/110.0;
    if(x > 0 && x < 55){ // significa que a estimativa do obstculo esta entre os dois
        //sensores do meio
        distance_estimation = (float)sqrt(distance[1]*distance[1] - x*x);
        if(distance_estimation < 180 && distance_estimation > 0){
            if(distance_estimation < 30){
                vibration[4] = (int)255*0.8;
            }
            else{
                if(distance_estimation < 100){
                    vibration[4] = (int)255*0.6;
                }
                else{vibration[4] = (int)255*0.4;}
            }
        }
        else{vibration[4] = 0;}
    }
}

analogwrite(M1, equalize[0]*vibration[0]);
analogwrite(M2, equalize[1]*vibration[1]);
analogwrite(M3, equalize[2]*vibration[4]); // nao passa pelo laço for. Usado para
//testar interpolacao
analogwrite(M4, equalize[3]*vibration[2]);
analogwrite(M5, equalize[4]*vibration[3]);

delay(1);
}

int Tersensor(){
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    //distancia calculada em cm, usando velocidade do som de 340m/s
    unsigned long duration = pulseIn(echoPin, HIGH, time_out);
    int distance = duration/58;
    return distance;
}

```

Apêndice E – Esquemáticos das PCBs construídas

Figura 28 – Esquemático da PCB do módulo de sensores

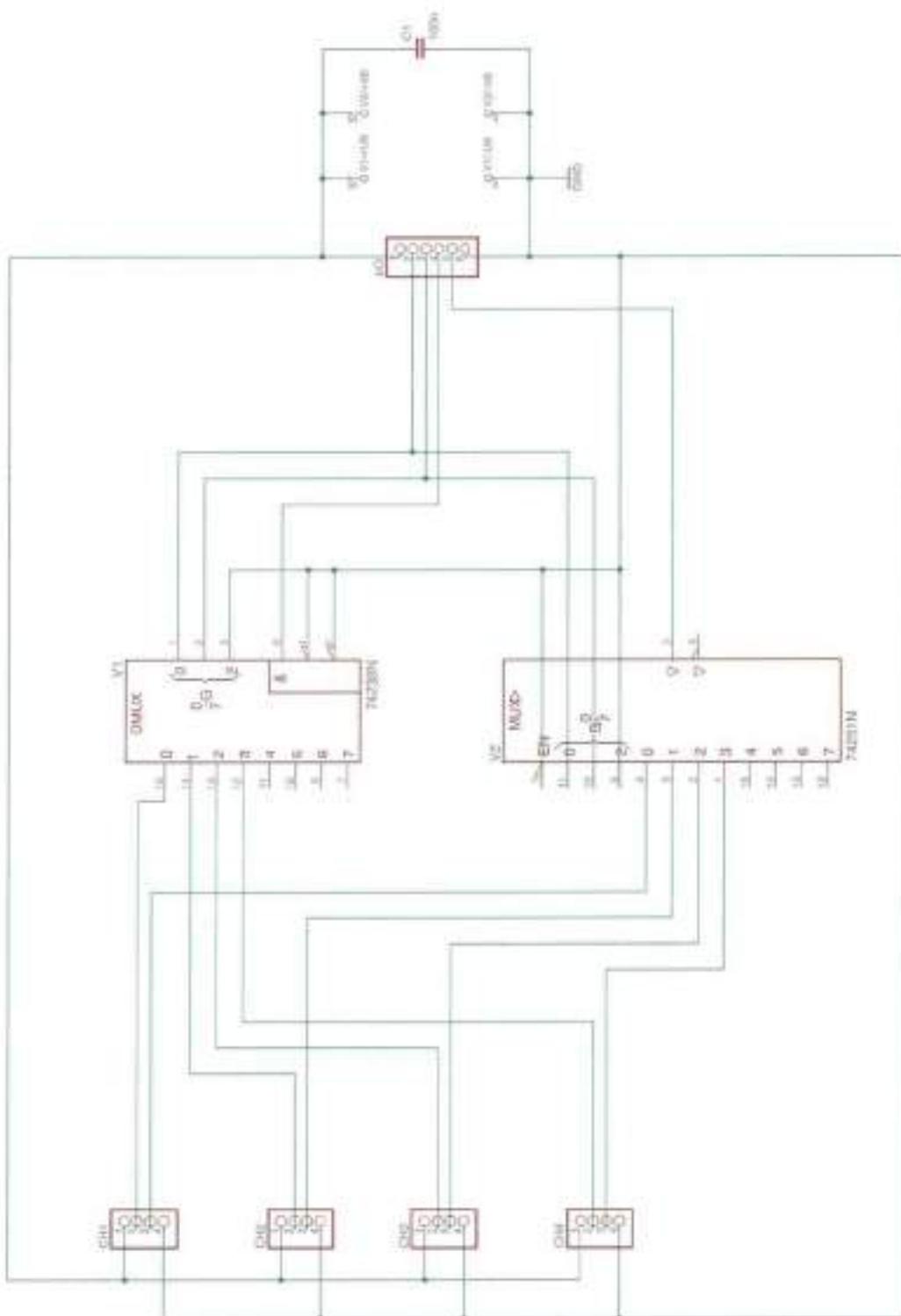


Figura 29 – Esquemático da PCB do módulo de motores

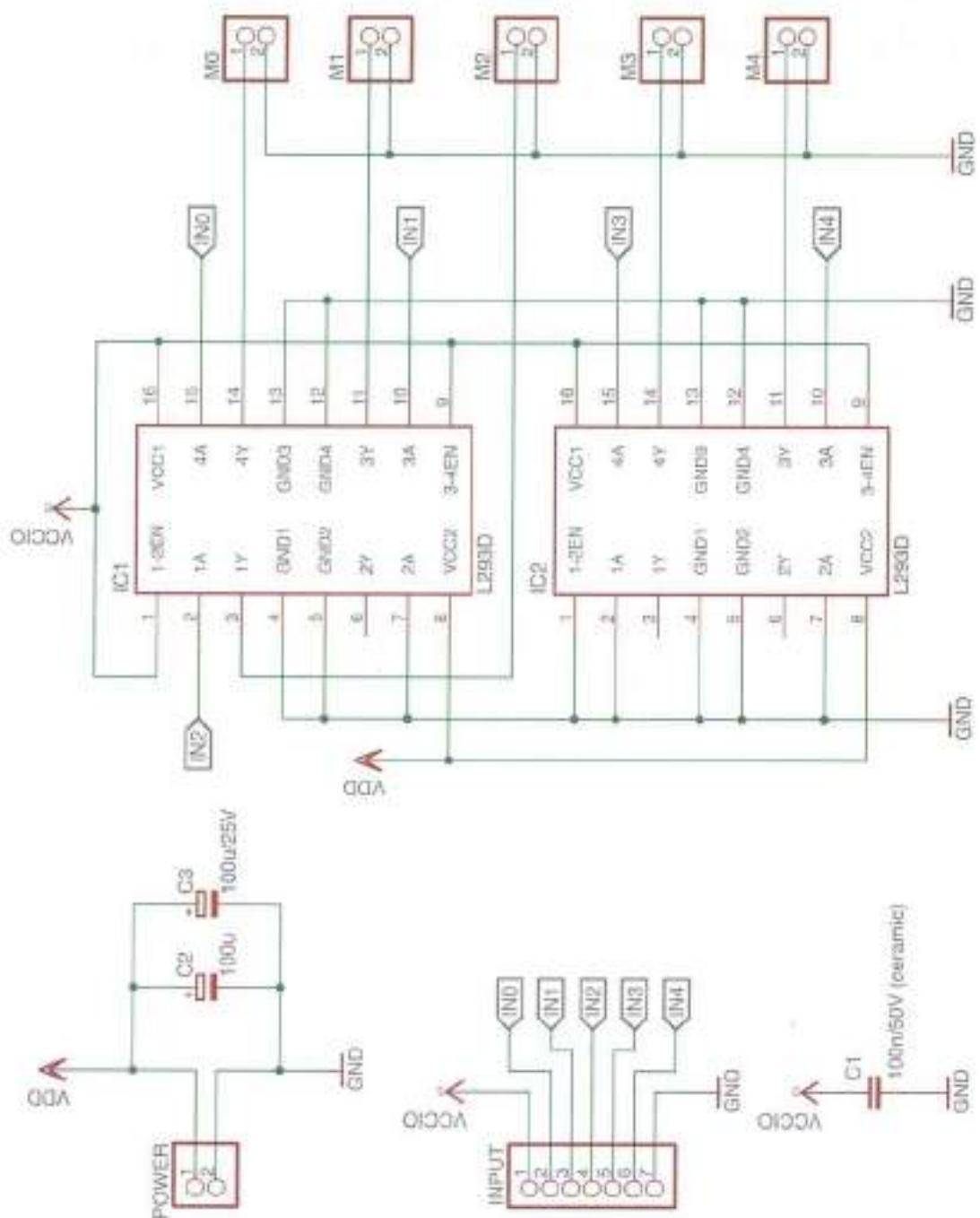


Figura 30 – Esquemático da PCB do regulador chaveado de alimentação

