

iscte

INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Feedback Háptico para Reconhecimento Situacional em Carros Autónomos

João José Pestana Magalhães

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:

Prof. Doutor José Luís Cardoso da Silva, Professor Assistente
ISCTE-IUL

Outubro, 2020

Abstract

Automation is expected to play an increasingly active role in our daily lives. In the automotive industry, particularly in the driving sector, cars that allow semi-automated driving are being released (e.g. Tesla cars or Google self-driving cars). Most of the time, drivers can dedicate themselves to other tasks (for example, reading, movies, work) or simply relax while the driving task will be performed automatically. Despite these advances, it is necessary, occasionally or in more complex situations, that driving be performed by the driver. This transition of control requires the driver to acquire Situation Awareness in a short period of time. It is therefore crucial that the driver is aware of the current state and what is planned to happen in the following moments. In this dissertation, a haptic belt is proposed which, through haptic stimuli, provides the Situation Awareness while the driver is performing another task and the car is being driven autonomously. The haptic belt was evaluated with users in a virtual environment in various test scenarios and a comparison was made with the non-use of a haptic belt and verified that its use brings significant improvements mainly in the reaction time and seems to indicate a tendency for improvement in the action taken during the control passage. It was also verified through the evaluation by the participants that the haptic feedback sent to the by the haptic belt is intuitive enough to be easily perceived by the driver.

Keywords: Self-Driving; Situation Awareness; Haptic Belt; Haptic Feedback.

Resumo

Prevê-se que a automatização venha a ter um papel cada vez mais ativo no nosso dia a dia. No ramo automóvel, em particular na condução, tem vindo a ser introduzidos automóveis que permitem uma condução semi automatizada (e.g. automóveis Tesla ou Google self-driving cars). Na maioria das vezes os condutores poderão dedicar-se a outras tarefas (e.g. leitura, ver filmes, trabalhar) ou simplesmente relaxar enquanto que a tarefa de conduzir será realizada autonomamente. Apesar desses avanços é necessário, ocasionalmente ou em situações mais complexas, que a condução seja realizada pelo condutor. Essa transição de controlo necessita que o condutor adquira Situation Awareness num reduzido período de tempo. É, portanto, crucial que o condutor esteja ciente do estado atual e do que está planeado acontecer nos momentos seguintes. Nesta dissertação, é proposto um cinto de segurança háptico que através de estímulos hápticos proporciona a obtenção da Situation Awareness enquanto o condutor está a realizar outra tarefa e o automóvel está a ser dirigido autonomamente. O cinto de segurança háptico foi avaliado com utilizadores num ambiente virtual em vários cenários de teste tendo sido feita a comparação com a não utilização de cinto de segurança háptico e verificado que a sua utilização traz melhorias significativas principalmente no tempo de reação e parece indicar uma tendência de melhoria na ação tomada aquando da passagem de controlo. Verificou-se ainda através da avaliação por parte dos participantes que o feedback háptico enviado ao pelo cinto de segurança háptico é intuitivo o suficiente para que seja facilmente perceptível pelo condutor.

Palavras-chave: Condução autónoma; Consciência Situacional; Cinto de Segurança Háptico; Feedback Háptico.

Agradecimentos

Ao meu coordenador da dissertação Professor José Luís Cardoso da Silva pelo apoio constante persistência, compreensão, dedicação e disponibilidade que demonstrou sempre ao longo do desenvolvimento deste projeto.

À Karina por ter acompanhado mais um passo importante da minha vida, por todo o tempo que perdeu por estar a fazer a tese quer seja ajudar-me noutras tarefas como a apoiar-me e motivar-me nas alturas mais difíceis. Sei que posso contar em todos os momentos.

À minha família por terem apoiado sempre os meus sonhos e por sempre acreditarem e motivarem a realizar os meus objetivos.

Aos meus amigos de faculdade por todo o percurso partilhado, união, apoio e entre-ajuda ao longo dos anos.

Aos meus amigos de infância por sempre serem o porto seguro, acreditarem nas minhas capacidades e apoiarem sempre.

Agradeço a todos os docentes que fazem parte do Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática por me terem ajudado a desenvolver como pessoa e como profissional.

Índice

Abstract	iii
Resumo	v
Agradecimentos	vii
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Abreviaturas	xix
1 Introdução	1
1.1 Motivação e Contexto	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Questões de Investigação	3
1.4 Contribuições	3
1.5 Estrutura da Dissertação	3
2 Contextualização	5
2.1 Condução Autónoma	6
2.1.1 Situação Atual	8
2.1.2 Desafios da Implementação de Veículos Autónomos e Semi- Autónomos	9
2.1.3 Principais causas de desativação do modo autónomo	12
2.2 Sistemas de assistência à condução	20
2.2.1 Sistemas de alerta	21
2.2.2 Perceção Háptica	22
2.3 Processo de Tomada de Decisão Dinâmica	25
2.3.1 Tomada de decisão dinâmica aplicada à Condução	26
2.3.2 Situation Awareness	27
3 Estado de Arte	31
3.1 Trabalho Relacionado	32
3.1.1 Solução Háptica de Cinto e Volante	32
3.1.2 Solução Háptica de Banco de Automóvel	33

3.1.3	Solução Háptica de Pulseira	34
3.1.4	Solução Háptica de Luva Multimodal	35
3.1.5	Cinto Háptico para Operação de Robôs	37
3.1.6	Estudo de Vibração e Toque	38
3.1.7	Discussão	41
4	Proposta de Dispositivo Háptico	43
4.1	Considerações na Criação do Protótipo	44
4.2	Arquitetura do Sistema	45
4.3	Hardware	46
4.3.1	Lilypad Vibe Board	46
4.3.2	Particle Photon	47
4.3.3	Photon Wearable Shield	47
4.4	Software	49
4.4.1	Particle Web IDE	49
4.4.2	Cliente	49
4.4.3	Servidor	50
4.4.4	Protótipo	50
5	Avaliação do Protótipo	53
5.1	Objetivos e Resultados	54
5.2	Procedimento de Teste	56
5.2.1	Descrição das fases e questionários de teste	59
5.2.2	Elementos da Simulação	60
5.2.3	Medição da Situation Awareness	61
5.3	Cenários de Teste	63
5.4	Resultados	65
5.4.1	Porcentagem de Acerto dos Estímulos Hápticos enviados via Cinto de Segurança Háptico	65
5.4.2	Tempo de reação com e sem a utilização do cinto de segurança háptico	66
5.4.3	Porcentagem de ações tomadas corretamente com e sem a utilização do cinto de segurança háptico	67
5.4.4	Método SART	69
5.4.5	Método SAGAT	71
5.4.6	Classificação Cinto de Segurança Háptico (Intrusivo/Complexidade/Perceptibilidade)	75
6	Conclusões e Trabalho Futuro	77
6.1	Conclusões	77
6.2	Trabalho Futuro	79
	Anexos	81

A Mapas de Sequência de Estímulos de Vibração	83
B Questionário Demográfico	87
C Questionário SART	89
D Questionário SAGAT	91
E Questionário de <i>User Experience</i>	93
F Diagrama Completo de Procedimentos de Teste	95
G Relação entre procedimentos, objetivos e resultados	97
Bibliografia	101

Lista de Figuras

2.1	Níveis de Condução Autónoma [13]	6
2.2	Níveis de Automação, Comparação de Regulamentação (SAE, BAST, NHTSA) [59]	7
2.3	Previsão de comercialização de automóveis autónomos por região, estudo de Navigant Research [6]	8
2.4	Enquadramento do nível de automação atual com identificação das diferenças entre níveis [59]	9
2.5	Número de desativações em que o condutor está presente e em que o Veículo tem a capacidade de operar sozinho	13
2.6	Número de desativações por tipo de desativação, desencadeada pelo sistema ou manualmente	14
2.7	Número de desativações por localização	14
2.8	Total de desativações por Macro categoria (System Failure, Other, Human Factors e External Condition)	15
2.9	Total de desativações por Micro categoria	16
2.10	Número de desativações da Macro Categoria <i>System Failure</i> por Micro Categoria	17
2.11	Número de desativações da Macro Categoria <i>External Condition</i> por Micro Categoria	18
2.12	Número de desativações da Macro Categoria <i>Human Factors</i> por Micro Categoria	19
2.13	Cronologia de aparecimento de novas tecnologias tendo em conta o tipo e o nível de Automação <i>SAE Levels</i> , datas adaptadas de	20
2.14	Advanced driver assistance systems (ADAS) [30]	21
2.15	Teste tátil de limiar de dois pontos [34]	23
2.16	Sensibilidade à vibração nos locais do corpo aplicada à condução [9]	24
2.17	Modelo de <i>Situation Awareness</i> no processo de tomada de decisão dinâmica. [19]	25
2.18	Modelo de <i>Situation Awareness</i> no processamento de informação aquando da condução [40]	26
2.19	Níveis de <i>Situation Awareness</i> [7]	27
3.1	Volante e cinto háptico [12]	32
3.2	Taxa de prevenção de colisão [12]	33
3.3	Distância a que o sistema evita a colisão [12]	33
3.4	Banco Háptico [23]	34

3.5 Solução háptica de pulseira utilizada para informar pilotos de avião	
Avião [58]	35
3.6 Luva Multimodal [31]	36
3.7 Teste utilizando aplicação de smartphone [31]	36
3.8 Teste utilizando a luva multimodal [31]	36
3.9 Cenário de teste - Centro da cidade com locais de interesse [31]	37
3.10 Cinto háptico <i>TactaBelt</i> [57]	37
3.11 Dispositivo <i>wearable</i> para testes de vibração e toque [56]	38
3.12 Grelha de 3 por 3 motores de vibração e de toque [56]	38
3.13 Padrões para toque (a) e vibração (b) [56]	39
3.14 Resultados experiência 1 [56]	39
3.15 Resultados experiência 2 [56]	40
3.16 Resultados experiência 3 [56]	41
4.1 Esquema do Cinto de Segurança Háptico com identificação dos mo- tores de vibração	45
4.2 Arquitetura do Sistema	45
4.3 Lilypad Vibe Board [1]	46
4.4 Lilypad Vibe Board cosida ao cinto de segurança háptico	47
4.5 <i>Particle Photon</i> [3]	47
4.6 <i>Photon Wearable Shield</i> [2]	48
4.7 Conjunto do Photon Particle com o Wearable Shield ligados no cinto de segurança háptico	48
4.8 Particle Web IDE	49
4.9 Protótipo de Cinto de Segurança Háptico - Utilização	51
4.10 Protótipo de Cinto de Segurança Háptico - Componentes cosidos e fita de velcro	51
5.1 Procedimento de Teste - Fase P.1 e Questionário Q.1	56
5.2 Procedimento de Teste - Fase P.2 e P.3	57
5.3 Procedimento de Teste - Fase P.4	57
5.4 Procedimento de Teste - Fase P.5 e Questionário Q.2 e Q.3	58
5.5 Procedimento de Teste - Questionário Q.4	58
5.6 Ambiente de simulação	60
5.7 Tempo de Reação	62
5.8 Diagrama representativo do cenário de teste 1	63
5.9 Diagrama representativo do cenário de teste 2	64
5.10 Diagrama representativo do cenário de teste 3	64
5.11 Tempo de Reação (Grupo A - Com Cinto de Segurança Háptico / Grupo B - Sem Cinto de Segurança Háptico)	67
5.12 Ações tomadas corretamente com e sem a utilização do cinto de segurança háptico (Grupo A - Com Cinto de Segurança Háptico / Grupo B - Sem Cinto de Segurança Háptico)	69

5.13 Resultados do Método SART na medição de SA (Situation Awareness) (Grupo A - Com Cinto de Segurança Háptico / Grupo B - Sem Cinto de Segurança Háptico)	71
5.14 Resultados do Método SAGAT na medição de SA (Situation Awareness) (Grupo A - Com Cinto de Segurança Háptico / Grupo B - Sem Cinto de Segurança Háptico)	74
F.1 Diagrama Completo de Procedimentos de Teste	96

Lista de Tabelas

2.1	Marcações da Via e Sinalização: Fatores Impeditivos e Fatores que Favorecem o Reconhecimento.(Adaptado de EuroRAP, Roads that Cars Can Read: A quality standard for road markings and traffic signs on major rural roads, 2013) [22]	10
2.2	Túneis: Fatores Impeditivos e Fatores que Favorecem o Bom Funcionamento do Sistemas Autónomos.(Adaptado de EuroRAP, Roads that Cars Can Read: A quality standard for road markings and traffic signs on major rural roads, 2013) [22]	11
2.3	Fabricantes em âmbito dos relatórios da DMV Califórnia) [47]	12
4.1	Comandos Interface de Teste	50
5.1	Relação entre objetivos e resultados	55
5.2	Descrição das fases de teste	59
5.3	Descrição dos questionários a realizar durante o teste	59
5.4	Descrição dos questionários a realizar durante o teste [11] [42] [54] [64]	61
A.1	Mapa de estímulo de viragem à direita, W1-W4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1	83
A.2	Mapa de estímulo de viragem à Esquerda, W1-W4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1	84
A.3	Mapa de Abrandamento, W1-W4	84
A.4	Mapa de estímulo de Abrandamento, W1-W4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1	84
A.5	Mapa de estímulo de Abrandamento, H1-H4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1	84
A.6	Mapa de estímulo de Aceleração, W1-W4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1	85
A.7	Mapa de estímulo Aceleração, H1-H4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1	85
G.1	Relação entre procedimentos, objetivos e resultados	99

Abreviaturas

BASt	Federal Highway Research Institute
BBR	Bluetooth Basic Rate
BLE	Bluetooth Low Energy
BR	Basic Rate
DMV	Department of motor Vehicles
Euro NCAP	The European New Car Assessment Programme
EuroRAP	European Road Assessment Programme
GPS	Global Positioning System
IDE	Integrated Development Environment
IOT	Internet of Things
LE	Low Energy
LIDAR	Light Detection And Ranging
MSR	Max Signal Rate
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
QoS	Quality of Service
SA	Situation Awareness
SAE	Society of Automotive Engineers International
SAGAT	Situation Awareness Global Assessment Technique
SART	Situation Awareness Rating Technique
SS	Sensory Saltation
USAR	Urban Search and Rescue
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
WBAN	Wireless Body Area Network

Abbreviations

WLAN	Wireless Local Area Network
WSN	Wireless Sensor Networks

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação e Contexto

Prevê-se que a automatização venha a ter um papel cada vez mais ativo no nosso dia a dia. No ramo automóvel, em particular na condução, tem vindo a ser introduzidos automóveis que permitem uma condução semi-automatizada (e.g. automóveis Tesla [43] ou Google (Waymo) [4] self-driving cars). Na maioria das vezes os condutores poderão dedicar-se a outras tarefas (e.g. leitura, ver filmes, trabalhar) ou simplesmente relaxar enquanto que a tarefa de conduzir será realizada autonomamente.

Apesar desses avanços irá ser necessário, ocasionalmente ou em situações mais complexas, que a condução seja realizada pelo condutor. Essa transição de controlo irá, usualmente, necessitar que o condutor adquira Situation Awareness num reduzido período de tempo, com pouco tempo de reação [10]. Tornar-se-á, portanto, crucial que o condutor esteja ciente do estado atual e do que está planeado acontecer nos momentos seguintes para que esteja preparado para assumir o controlo de forma mais célere e acertada. Assim, soluções que facilitem ao condutor obter Situation Awareness enquanto está a realizar outra tarefa e o automóvel está a ser dirigido autonomamente serão benéficas.

Este trabalho visa mitigar esta situação, produzindo um dispositivo sem necessidade de wearables e sem alterações na estrutura dos carros. O dispositivo, idêntico ao cinto de segurança tradicional podendo ser colocado sobre o cinto de segurança háptico já existente vai facilitar a aquisição de Situation Awareness por parte do condutor do veículo semi-autônomo. Devido à saturação de informação passada aos condutores via canais visuais e sonoro, o canal háptico é uma opção menos utilizada tendo portanto maior abertura para ser explorada. O feedback háptico será dado através de sequências de vibração produzidas por parte dos motores de vibração presentes no cinto. Com recurso a um computador de bordo são transmitidas as instruções do que o carro vai fazer e da situação atual do carro, esta informação vai traduzir-se em estímulos para o condutor mantendo-o ciente da situação futura próxima.

1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é desenvolver uma solução que facilita a aquisição de Situation Awareness por parte do condutor de veículo semiautônomo através de Feedback Háptico, identificar o equilíbrio da passagem de informação de forma a que o condutor consiga ter a perceção de forma apropriada das informações que lhe são passadas e avaliar potenciais melhorias ao executar avaliações com utilizadores.

É proposto desenvolver um protótipo de um cinto de segurança háptico com a possibilidade de ser colocado sobre o cinto já existente composto por vários motores de vibração utilizados para transmitir sequências de estímulos que se traduzem em informações do estado atual e futuro próximo do veículo e desenvolver um dicionário de sequências de estímulos.

O dicionário de sequências deverá ter por base avaliações do sistema podendo as sequências definidas inicialmente ser adaptadas dependendo das avaliações.

1.3 Questões de Investigação

Foram definidas as seguintes questões de investigação:

- Será o feedback háptico fornecido, intuitivo o suficiente para que seja facilmente perceptível pelo condutor?
- Será o feedback háptico transmitido pelo sistema capaz de melhorar a aquisição de Situation Awareness por parte do condutor em situações que o mesmo necessite assumir o controlo do veículo rapidamente?

De forma ser possível atingir todos os objetivos presentes na secção [1.2](#) e responder a todas as questões de investigação serão utilizados métodos de investigação quantitativos. Estes métodos utilizam variáveis quantitativas por forma a recolher informação que irá ser utilizada tanto para responder aos objetivos e questões de investigação como para interpretar a informação de forma a melhorar o sistema. Nesta investigação, a melhoria passará por identificar as sequências de estímulos hápticos mais perceptíveis.

1.4 Contribuições

Para este projeto de investigação foi construído um Protótipo de Cinto de Segurança Háptico, foi testado com dois grupos homogêneos de 10 pessoas cada em ambiente virtual e foi realizada uma análise estatística com o intuito de aferir sobre as melhorias resultantes da utilização do Cinto de Segurança Háptico em sistemas de condução semi-autónoma.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos, os 3 primeiros são uma introdução dos temas relacionados e trabalhos relacionados, o quarto capítulo

aborda a proposta de dispositivo háptico, o quinto aborda os procedimentos de teste os objetivos e resultados esperados em cada procedimento de teste os objetivos e resultados esperados, é ainda feito um enquadramento dos cenários de teste e dos elementos da simulação e explicado os métodos utilizados para medir a Situation Awareness e finalizando com a apresentação dos resultados obtidos. Por último, são apresentadas as principais conclusões e trabalho futuro.

Capítulo 2

Contextualização

Neste capítulo são introduzidos temas que permitem uma contextualização dos principais conceitos, tecnologias e soluções utilizadas na construção do cinto de segurança háptico.

Inicialmente são abordadas as Redes Sem Fios e os protocolos de comunicação existentes numa perspectiva de concluir sobre o mais adequado ao dispositivo háptico.

De seguida é abordado o estado atual do desenvolvimento veículos autónomos tanto ao nível regulamentar como ao nível da tecnologia dos sistemas autónomos, as dificuldades que estes apresentam na atual infraestrutura rodoviária e as principais causas de desativação do modo de condução autónomo.

São aprofundados ainda os sistemas de assistência à condução com enfoque nos sistemas de alerta, a forma como o corpo humano percebe estímulos hápticos e o processo de tomada de decisão dinâmica.

2.1 Condução Autónoma

Os veículos autónomos ainda não estão preparados para circular sem a supervisão humana neste sentido, existem vários Standards relativamente à condução autónoma que regulam a atividade não dando espaço para ambiguidades. Em todos os regulamentos é possível verificar a divisão da condução autónoma em níveis mapeando-os com as funções do condutor e do automóvel em cada nível, ver Figura 2.1.

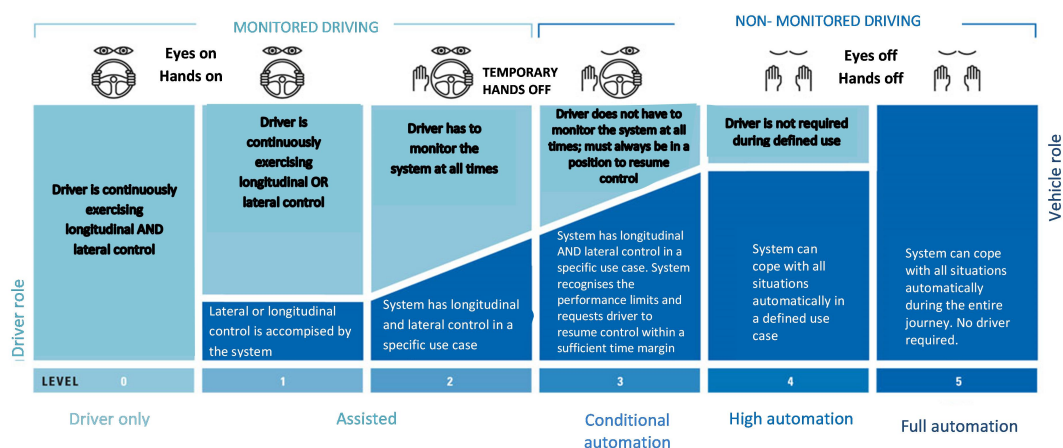


FIGURA 2.1: Níveis de Condução Autónoma [13]

A Figura 2.2 pretende comparar os vários standards existentes, tendo estes sido concebidos por parte da Society of Automotive Engineers International (SAE), da Federal Highway Research Institute (BASt, Instituto Alemão) e pela National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA, Instituto Americano). Podemos verificar que as diferenças são relativamente à divisão em 5 ou 6 níveis de condução autónoma sendo que nos níveis BASt não é referido o último nível visto que o BASt – Fully Automated refere que o sistema pode vir a pedir ao condutor para assumir o controlo em certas situações não sendo considerado SAE – Full Automation.

SAE level	SAE name	SAE narrative definition	Execution of steering and acceleration/deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)	BASt level	NHTSA level
Human driver monitors the driving environment								
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver only	0
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partially automated	2
Automated driving system ("system") monitors the driving environment								
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes	Highly automated	3
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes	Fully automated	3/4
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes		

FIGURA 2.2: Níveis de Automação, Comparação de Regulamentação (SAE, BASt, NHTSA) [59]

A responsabilidade do condutor à medida que o nível de SA aumenta vai diminuindo. No nível 0 de SA apenas o condutor tem o controlo, no nível 1 o condutor tem o controlo e é assistido por sistemas, no nível 2 em algumas situações o condutor pode ceder o controlo tendo no entanto que monitorizar sempre, no nível 3 pode ceder o controlo, não necessita de monitorizar a tempo inteiro no entanto deve estar em posição de assumir o controlo do automóvel sempre que o sistema o requeira, no nível 4 o sistema assume o controlo não sendo necessário que o condutor monitorize, no entanto por vezes é necessário que o condutor assuma o controlo, no nível 5 o condutor não necessita de monitorizar nem de assumir o controlo do automóvel.

2.1.1 Situação Atual

Na realidade atual, testes realizados pela Euro NCAP [44] concluíram que, os sistemas existentes no mercado oferecem assistência ao condutor e não uma automação completa e autónoma e que aquando da correta utilização da tecnologia, esta pode ser útil para manter uma distância segura, velocidade e o veículo na faixa de rodagem.

Dos testes realizados, é possível concluir que ainda não existem sistemas autónomos mas sim uma junção de sistemas de assistência à condução [44] pelo que não deve ser confundido com condução autónoma o que pode levar a uma confiança excessiva do condutor na entrega da tarefa condução e posterior desatenção o que significa um risco. O condutor mantém a responsabilidade de uma condução segura devendo permanecer consciente da *Situation Awareness* de forma a poder assumir o controlo do automóvel caso seja necessário.

As tecnologias para automóveis autónomos encontram-se em investigação e desenvolvimento, estando mais próximo por isso de uma tecnologia do futuro (Figura 2.3) do que da sua comercialização nos próximos anos [6]

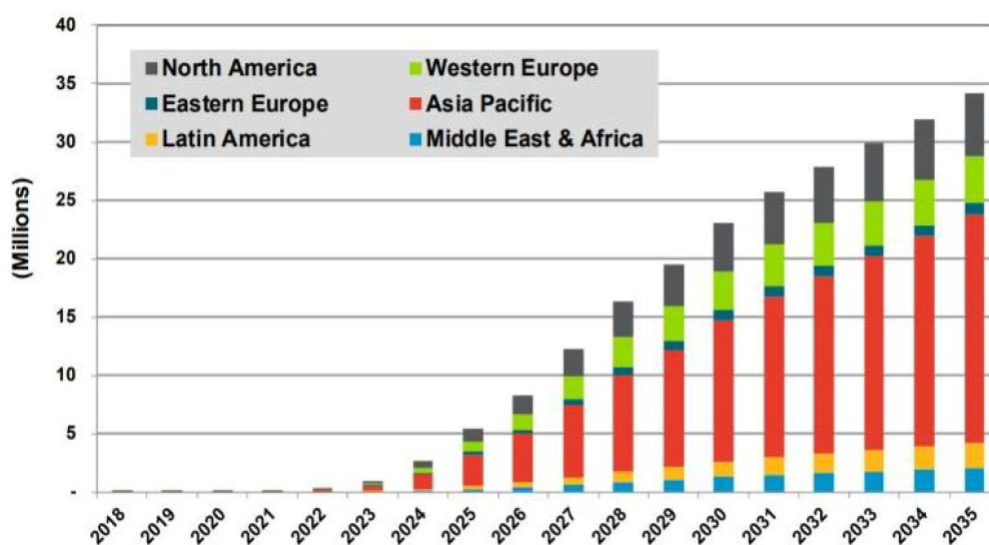


FIGURA 2.3: Previsão de comercialização de automóveis autónomos por região, estudo de Navigant Research [6]

Portanto é possível concluir que o estado atual de implementação da automação no mercado se encontra alinhado com os níveis 2 e 3 definidos na Figura 2.4 pela *SAE International* [60] pelo que, ainda que exista um nível de automação que permita que o condutor se liberte da tarefa de condução por momentos este ainda é responsável por uma condução segura e pode ser obrigado a assumir o controlo do automóvel.

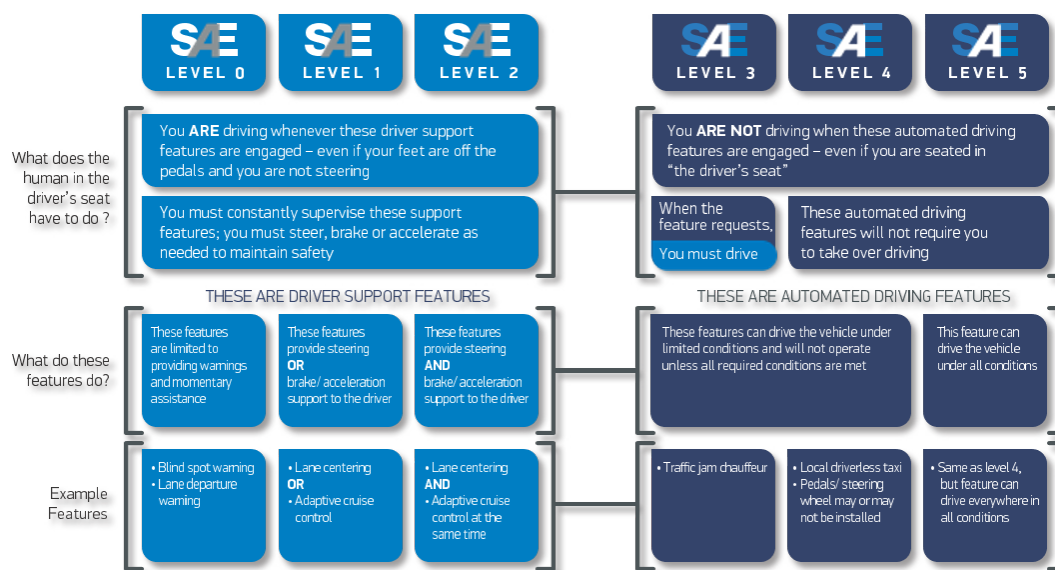


FIGURA 2.4: Enquadramento do nível de automação atual com identificação das diferenças entre níveis [59]

2.1.2 Desafios da Implementação de Veículos Autónomos e Semi-Autónomos

Os desafios que as equipas de desenvolvimento da tecnologia de veículos autónomos trabalham para implementar uma tecnologia avançada na sociedade que não está desenhada para este tipo de veículos tendo então que adaptar a tecnologia à sociedade atual. Ao implementar esta tecnologia e introduzir veículos autónomos na sociedade tem que se ter em consideração a presença maioritária de veículos tradicionais, a infraestrutura rodoviária que se encontra desenhada para esse tipo de veículos, as limitações ao nível de tecnologia e de regulamentação. [24]

Existe uma dependência por parte dos veículos autônomos e semi-autônomos numa infraestrutura rodoviária normalizada, com marcações e sinalização visível e padronizada e com um elevado nível de conectividade. Ao nível de marcações e sinais, uma vez que estes veículos fazem uso destes para se poder orientar, é imperativo que sejam claramente visíveis, padronizados, consistentes e em bom estado para que possam ser decifrados pelos veículos da forma mais eficaz e eficiente. [22]

(Tabela 2.1)

Marcações da Via	
Fatores Impeditivos do seu Reconhecimento	Fatores que Favorecem o seu Reconhecimento
<ul style="list-style-type: none"> - Vandalismo / grafite, posição dos sinais, sinais obscurecidos - Confusão com sinais de trânsito em estradas adjacentes, sinais mal posicionados, ângulo do sinal - Qualidade da superfície do sinal, colocação inconsistente dos sinais, variações da cor e forma dos sinais - Confusão de vários sinais no mesmo local, iluminação ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Estradas devidamente marcadas e as marcações devem ser claramente visíveis e bem definidas - Marcações refletoras visíveis em todas as condições climáticas - Uniformização das cores e dimensões das marcações - Uso de marcações contínuas para delimitar as margens da estrada
Sinalização	
Fatores Impeditivos do seu Reconhecimento	Fatores que Favorecem o seu Reconhecimento
<ul style="list-style-type: none"> - Condição da superfície da estrada (molhada, com gelo, etc.) - Marcações desgastadas - Marcações múltiplas e confusas - Marcações antigas visíveis - Inclinação da estrada - Curvatura da estrada - Limites entre faixas - Largura da faixa (estreita, larga) - Visibilidade (por exemplo, neblina) 	<ul style="list-style-type: none"> - Harmonização dos sinais de trânsito (cores, formas, fontes) - Diretrizes padronizadas para posições de montagem, número de sinais e ângulo de instalação - Uso de materiais mais duráveis que não perdem seus recursos de visibilidade ao longo do tempo - Manutenção sistemática de sinais

TABELA 2.1: Marcações da Via e Sinalização: Fatores Impeditivos e Fatores que Favorecem o Reconhecimento. (Adaptado de EuroRAP, Roads that Cars Can Read: A quality standard for road markings and traffic signs on major rural roads, 2013) [22]

Ao nível da conectividade, os veículos autónomos necessitam de manter sinal GPS e conectividade com outros veículos ou até com a infraestrutura. Elementos da infraestrutura como os túneis e pontes podem limitar a sua conectividade e consequente circulação pelo que poderá ser necessário adaptar estes elementos para que promovam uma comunicação automóvel-infraestrutura (vehicle-to-infrastructure - V2I). Nos túneis verifica-se uma interrupção / degradação dos canais wireless utilizados tanto para comunicação com a infraestrutura ou outros veículos como para localização da posição atual utilizada pelos sistemas de navegação por satélite. Esta degradação de sinal pode levar a incorrecções e falhas na orientação que poderão culminar em acidentes. [62] (Tabela 2.2)

Túneis	
Fatores Impeditivos do Bom Funcionamento nos Túneis	Fatores que Favorecem o Bom Funcionamento nos Túneis
<ul style="list-style-type: none"> - Falta de luminosidade - Degradação dos canais wireless de comunicação e localização 	<ul style="list-style-type: none"> - Iluminação ao longo do túnel - Instalação de redes GPRS

TABELA 2.2: Túneis: Fatores Impeditivos e Fatores que Favorecem o Bom Funcionamento do Sistemas Autónomos. (Adaptado de EuroRAP, Roads that Cars Can Read: A quality standard for road markings and traffic signs on major rural roads, 2013) [22]

Quanto às limitações tecnológicas estas encontram-se divididas em 2 vetores principais, perceção ambiental e cadeia funcional. Relativamente à perceção ambiental, fatores como condições climatéricas adversas podem limitar a eficácia dos sistemas de veículos autónomos. Assim, é necessário que sistemas de sensores robustos, complementares e altamente confiáveis sejam implementados em redundância por forma a mitigar possíveis erros quer seja na deteção de objetos, de peões como de obstáculos. Toda a cadeia funcional, desde a perceção até à tomada de decisão e à ação, deve cumprir com redundâncias e determinadas falhas operacionais. Tanto a perceção ambiental como a cadeia funcional funcionam com base em sensores e câmaras que geram dados posteriormente tratados por algoritmos de inteligência artificial, que devem focar-se na compreensão de cenários, previsão de comportamento e estratégias de direção. É ainda necessário que sejam desenvolvidos padrões comuns de segurança relativos às tecnologias de conectividade e

a computação de bordo aplicadas à condução autónoma por forma a cumprir com os requisitos da condução autónoma. [21]

2.1.3 Principais causas de desativação do modo autónomo

Os automóveis totalmente autónomos não são ainda uma realidade, com o objetivo de perceber o nível de maturidade destes sistemas e as dificuldades, a DMV (Department of Motor Vehicles) produz anualmente dois relatórios [47] para a comunidade que contêm as desativações de modo autónomo e as milhas autónomas percorridas pelos detentores de licenças que relataram testes nas vias públicas da Califórnia entre 1 de Dezembro de 2018 e 30 de Novembro de 2019. Existem 28 fabricantes detentores de licenças de teste na Califórnia no período em âmbito que enviaram os dois relatórios, encontrando-se na Tabela 2.3.

Fabricantes			
Almotive Inc.	Drive.ai Inc	Phantom AI, Inc.	Tesla, Inc.
Apple Inc.	Lyft	PlusAI, Inc.	Toyota Research Institute
Aurora Innovation, Inc.	Mercedes Benz Research	PONY.AI, INC.	Udelv, Inc
AutoX Technologies, Inc.	Nissan North America, Inc	Qualcomm Technologies, Inc.	Valeo North America Inc.
Baidu USA LLC	Nullmax	SAIC Innovation Center	Waymo LLC
BMW of North America	Nuro	SF Motors, Inc.	WeRide Corp
CRUISE LLC	NVIDIA	Telenav, Inc.	Zoox, Inc

TABELA 2.3: Fabricantes em âmbito dos relatórios da DMV Califórnia) [47]

Os dois relatórios contêm informação agregada dos fabricantes da Tabela acima, o relatório “2019 Autonomous Vehicle Disengagement Reports” [46] contém o detalhe de cada desativação, com a descrição da causa, o local de desativação, quem iniciou a desativação, se tinha um condutor presente, o fabricante e detalhe de identificação do veículo e possibilidade de operar sem um condutor, já o relatório

“2019 Autonomous Mileage Reports” [45] apresenta o detalhe do número de milhas autônomas percorridas, o número de desativações, o fabricante e detalhe de identificação do veículo. Através de uma análise alto nível tendo-se convertido as milhas em quilômetros verificou-se que foram percorridos 4.595.866,63 km autônomos nas estradas da Califórnia no período entre 1 de Dezembro de 2018 e 30 de Novembro de 2019 pelos fabricantes acima, tendo existido 8884 desativações tendo-se verificado que por cada 517,32 km existiu uma desativação. Verificou-se ainda que todas as desativações registadas apresentavam um condutor dentro do veículo e que apenas em 565 destas os veículos têm capacidade para operar sem condutor e que nos restantes casos, 8319 têm que ter um condutor. (Figura 2.5)

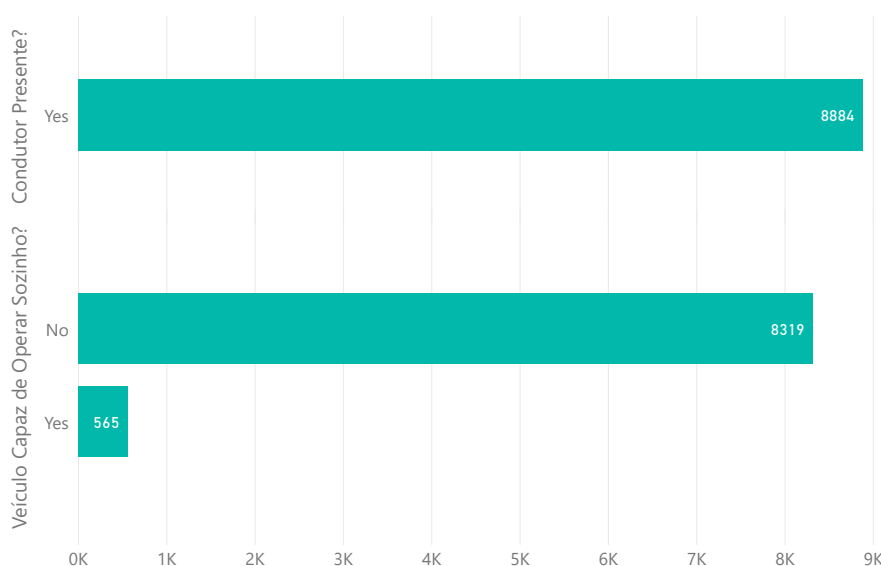


FIGURA 2.5: Número de desativações em que o condutor está presente e em que o Veículo tem a capacidade de operar sozinho

Relativamente ao tipo de desativação foram identificados dois tipos, desativação produzida pelo sistema e manual. As desativações manuais englobam desativações por *Test Driver* e por *Vehicle Operator* e representam 69,63% do total com 6186 desativações e desativações pelo sistema efetivadas pelo *AV System* que representam 30,37% do total com 2698 desativações. (Figura 2.6)

Em relação à localização de desativação identificou-se 3 grupos de localizações, Estrada Normal que representa 99,68% do total de desativações e engloba *Street*

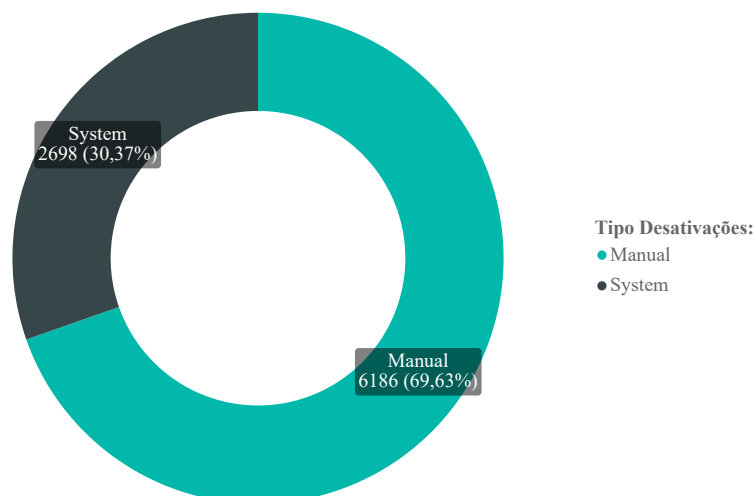


FIGURA 2.6: Número de desativações por tipo de desativação, desencadeada pelo sistema ou manualmente

com 7.757 desativações, *Freeway* com 837 desativações e *Highway* com 262 desativações, Meio rural que representa 0,24% do total de desativações e engloba *Rural* com 13 desativações e *Rural Road* com 8 desativações, e Parque de Estacionamento que representa 0,08% do total de desativações e engloba *Parking Facility* com 5 desativações e *Parking Lot* com 2 desativações. (Figura 2.7)

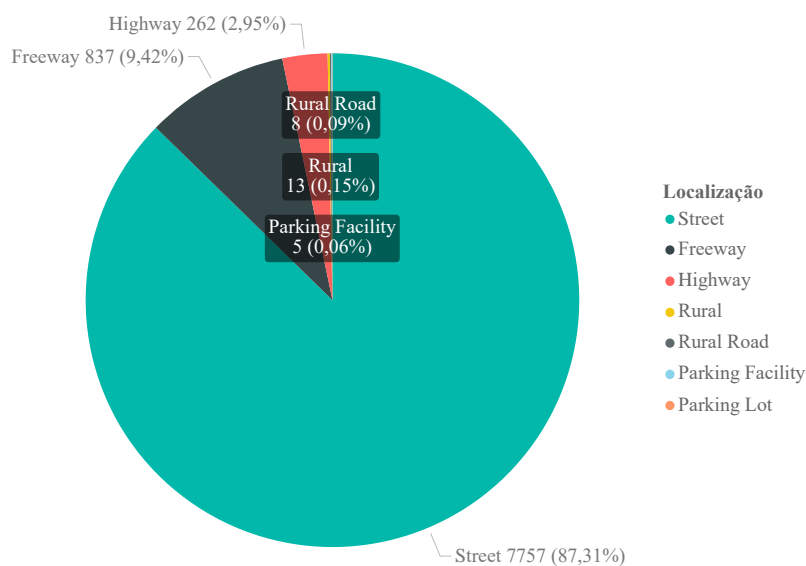


FIGURA 2.7: Número de desativações por localização

Ao analisar os descritivos de causa de desativação foi possível identificar 4 categorias, *System Failure* com 6.125 desativações e 68,94% do total de desativações,

Human Factors com 906 desativações e 10,2% do total de desativações, *External Condition* com 62 desativações e 0,7% do total de desativações e *Other* com 1.791 desativações e 20,16% do total de desativações. (Figura 2.8)

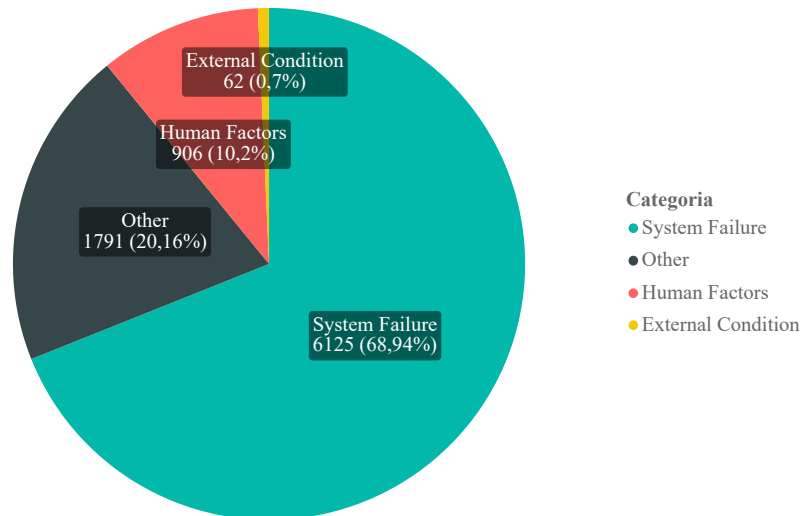


FIGURA 2.8: Total de desativações por Macrocategoria (System Failure, Other, Human Factors e External Condition)

As quatro categorias encontram-se divididas em 18 subcategorias tendo-se verificado que as subcategorias que apresentam um número mais elevado de desativações são a subcategoria *System Issues* com 1898 desativações que representam 21,36% do total, a subcategoria *Safety Driver Proactive Disengagement* com 1780 desativações que representam 20,04% do total e a subcategoria *Unwanted Maneuver* com 1645 desativações que representam 18,52% do total. (Figura 2.9)

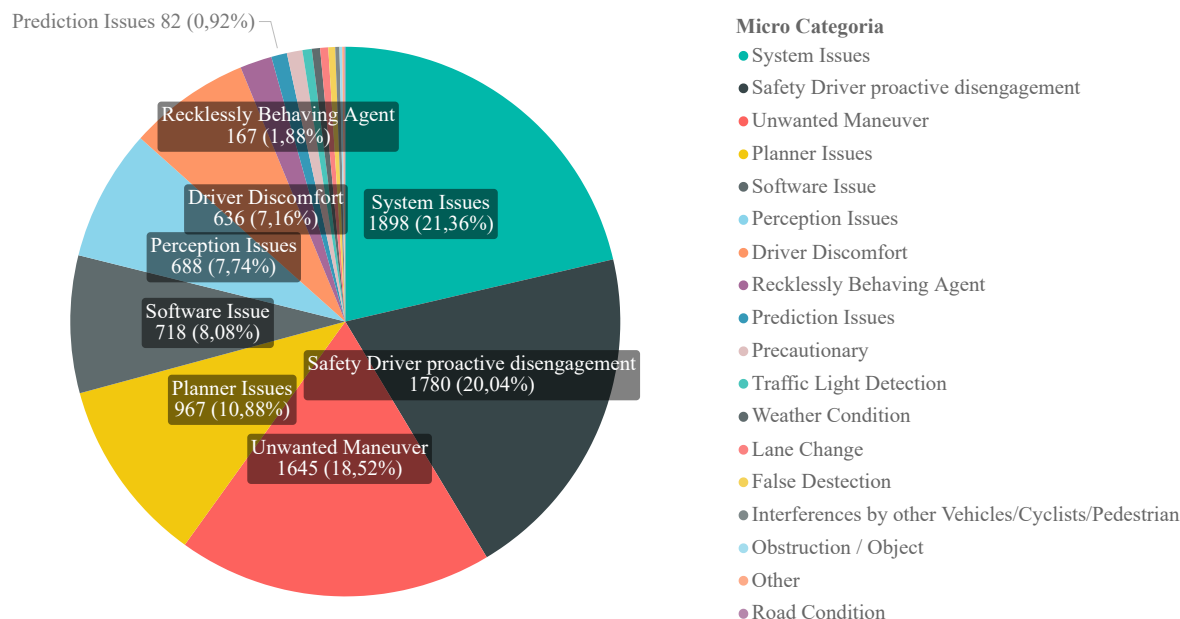


FIGURA 2.9: Total de desativações por Micro categoria

Ao nível da categoria *System Failure* correspondente a todo o tipo de falhas de sistema autónomo (software) e/ou falha dos componentes do sistema autónomo (hardware), estas falhas englobam questões desde a perceção incorreta de objetos ao incorreto previsão do comportamento de outros veículos. Esta categoria engloba 9 subcategorias, *System Issues*, *Unwanted Maneuver*, *Planner Issues*, *Software Issues*, *Perception Issues*, *Prediction Issues*, *Traffic Light Detection*, *Lane Change* e *False Detection*. A subcategoria *System Issues* que representa erros gerais de sistema que impedem o bom funcionamento apresenta o valor mais elevado de desativações da categoria *System Failure* com 1898 desativações, 30,99% do total da categoria e representa 21,36% do total das desativações no conjunto de todas as categorias. (Figura 2.10)

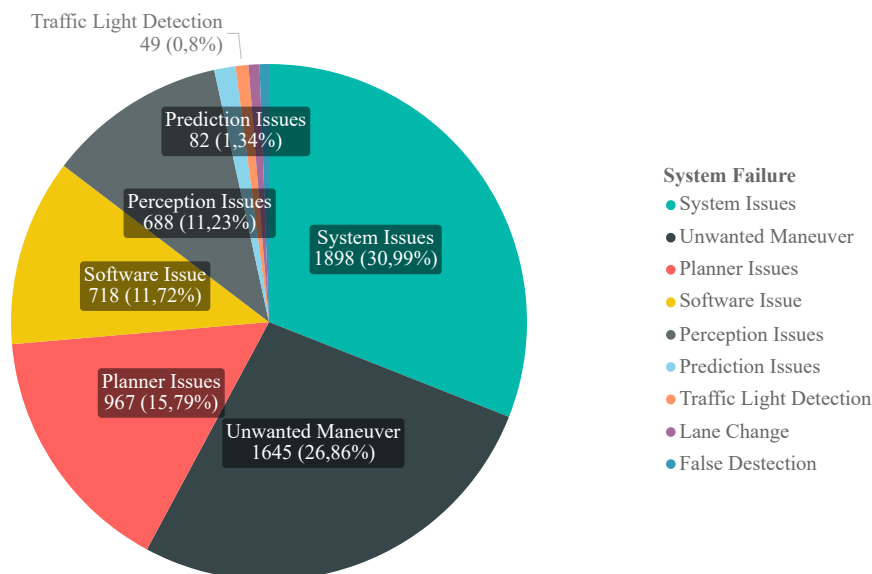


FIGURA 2.10: Número de desativações da Macro Categoria *System Failure* por Micro Categoria

A categoria *External Condition* correspondente aos fatores relacionados ao ambiente externo como por exemplo falta de marcações na estrada, sinalização deteriorada, excesso de tráfego de pedestres que impedem que o automóvel continue em modo autónomo de forma segura. Esta categoria engloba 3 subcategorias, *Weather Condition*, *Obstruction / Object* e *Road condition*. A subcategoria *Weather Condition* que representa as condições climatéricas impedem o bom funcionamento do sistema / dos componentes, como por exemplo os sensores e câmaras, apresenta o valor mais elevado de desativações da categoria *External Condition* com 43 desativações, 69,35% do total da categoria e representa apenas 0,48% do total das desativações no conjunto de todas as categorias. (Figura 2.11)

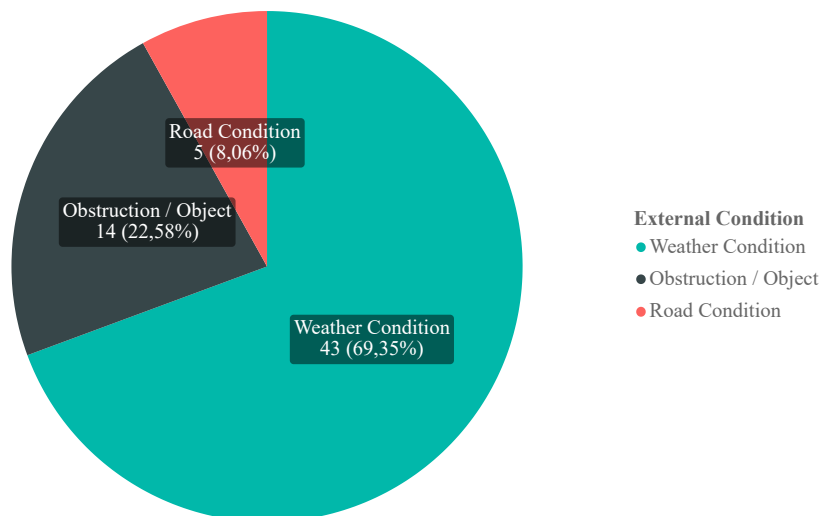


FIGURA 2.11: Número de desativações da Macro Categoria External Condition por Micro Categoria

Relativamente à categoria *Human Factors* que corresponde a fatores onde o Humano é diretamente responsável pela desativação quer seja o condutor / como pessoas no ambiente de condução, estes fatores abrangem causas podem ir desde como desconforto de condutor a interferências de outros condutores. Esta categoria engloba 4 subcategorias, *Driver Discomfort*, *Recklessly Behaving Agent*, *Precautionary* e *Interferences by other Vehicles/Cyclists/Pedestrian*. A subcategoria “Driver Discomfort” que representa o desconforto do condutor por exemplo, pela falta de confiança no sistema autónomo, apresenta o valor mais elevado de desativações da categoria *Human Factors* com 636 desativações, 70,2% do total da categoria e representa 7,16% do total das desativações no conjunto de todas as categorias. (Figura 2.12)

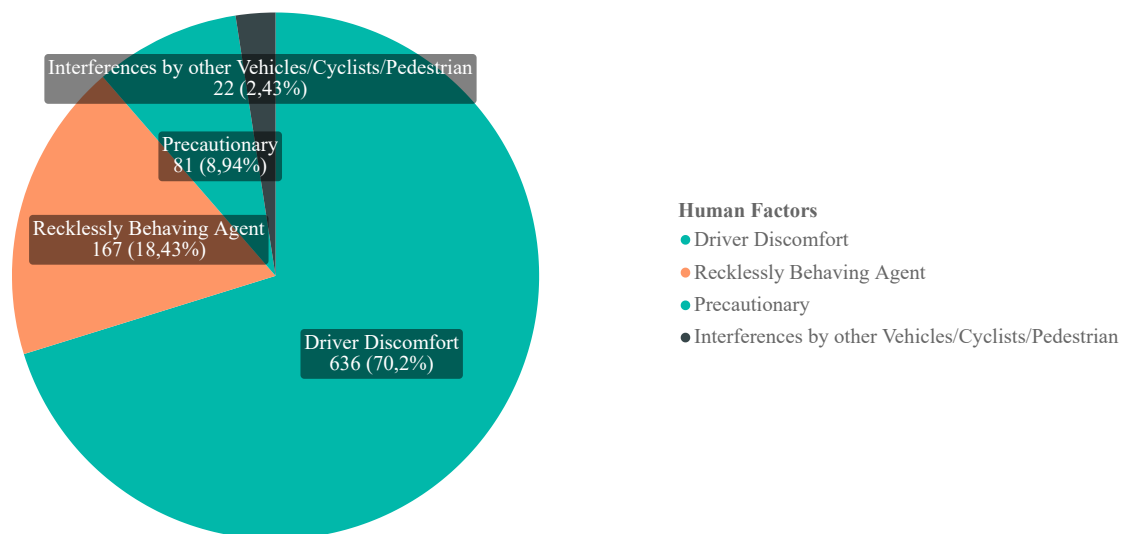


FIGURA 2.12: Número de desativações da Macro Categoria *Human Factors* por Micro Categoria

Relativamente à categoria *Other Factors*, esta engloba todas as causas de desativação que ou não se enquadram ou não foi possível enquadrar com as restantes categorias. Esta categoria engloba 2 subcategorias, *Safety Driver Proactive Disengagement* com 1780 desativações correspondentes a desativações proativas por parte do condutor para corrigir possíveis situações de insegurança e *Other* com 11 desativações.

Da análise conclui-se que apesar da evolução que se tem sentido no desenvolvimento das diversas tecnologias de automóveis autónomos ainda não existe uma tecnologia totalmente autónoma pelo que das 8884 desativações registadas, apenas 565 são relativas a automóveis com capacidade para operar sozinhos, verifica-se também uma predominância de desativações em estrada normal ao invés de meio rural / parques de estacionamento o que pode significar que os testes são realizados em maior parte em estrada normal. Relativamente às causas de desativação do modo autónomo verificamos que as principais causas de desativação são erros gerais de sistema, desativações proativas por parte do condutor para corrigir possíveis situações de insegurança e manobras indesejadas.

2.2 Sistemas de assistência à condução

Ao longo do tempo foram aparecendo tecnologias de forma a simplificar e tornar mais segura a condução, quer seja através de sistemas de alerta, assistência, Ajuda ou parcialmente / totalmente autónomos. Os sistemas de alerta com uma função de detetar e alertar o condutor de situações adversas, os sistemas de ajuda, com uma função de fornecer informação ao condutor de forma a ajudar em determinadas tarefas, os sistemas de assistência com a função de tomar ações em casos de emergência ou para comodidade do condutor e os sistemas parcialmente / totalmente autónomos com a função de libertar parcialmente o condutor da tarefa de condução. (Figura 2.13)

Os sistemas totalmente autónomos, estão em constante desenvolvimento, investigação e testes, não apresentando ainda maturidade suficiente para que sejam comercializados [44].

1950	SAE 1	2000	SAE 2	2010	SAE 3	2016	SAE 4	2025	SAE 5
Características de Segurança / Conveniência		Características Avançadas de Segurança		Características Avançadas de Assistência à condução		Características de Segurança Parcialmente Autónomas		Características de Segurança Totalmente Autónomas	
Cruise Control		Electronic Stability Control		Rearview Video Systems		Lane keeping assist		Highway autopilot	
		Blind Spot Detection		Automatic Emergency Braking		Adaptive cruise control			
		Forward Collision Warning		Pedestrian Automatic Emergency Braking		Traffic jam assist			
		Lane Departure Warning		Rear Automatic Emergency Braking		Self-park			
				Rear Cross Traffic Alert					
				Lane Centering Assist					

 Sistemas de Alerta	 Sistemas de Assistência	 Sistemas de Ajuda	 Sistemas Parcialmente Autónomos	 Sistemas Autónomos
--	---	---	---	--

FIGURA 2.13: Cronologia de aparecimento de novas tecnologias tendo em conta o tipo e o nível de Automação *SAE Levels*, datas adaptadas de

De forma a proporcionar o aparecimento de novas tecnologias / sistemas os automóveis passaram a ter câmaras e sensores *LIDAR*, Figura 2.14 utilizados para medir distancias, detetar e reconhecer objetos podendo monitorizar 360º à volta do veículo em várias alturas, retirando dados do ambiente em forma de nuvens de pontos. [27]

Ao momento existe uma grande sobrecarga dos canais visual e sonoro, este tipo de abordagem exige mais atenção por parte do condutor e pode entrar em

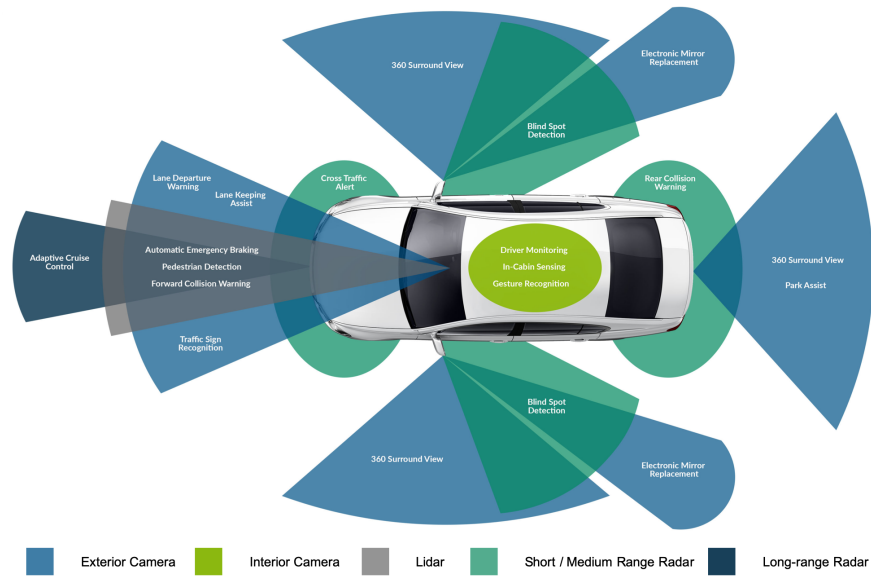


FIGURA 2.14: Advanced driver assistance systems (ADAS) [30]

conflito com as tarefas de condução devido à disponibilidade limitada de recursos. [66] Esta sobrecarga pode gerar problemas devido à dependência de canais visuais e auditivos, contribuindo para sobrecarregar e, assim, reduzir as percepções sensoriais. Uma forma de reduzir a carga cognitiva consiste distribuir a carga e envolver outros canais sensoriais que ao substituir em algumas tarefas os canais visual e sonoro evita a saturação dos canais. [38] Para além da distribuição da passagem de informação pelos vários canais, podendo ser utilizada uma abordagem multimodal, deve-se também priorizar os vários alertas e informação passada ao condutor com o objetivo de não sobrecarregar o condutor. [10]

2.2.1 Sistemas de alerta

Os sistemas de assistência à condução de alerta são utilizados de forma a transmitir ao condutor informação de que algo está errado, dando informações sobre as condições da condução, estado do automóvel, da estrada e de outros veículos. Os sistemas existentes dão informação do excesso de velocidade, da presença de outros carros, da ultrapassagem das linhas de faixa de rodagem. [10]

Estes sistemas tentam focar-se na informação do contexto atual do veículo, no entanto existem problemas relacionados com o excesso de informação provocando distrações e complacência por parte dos condutores ao estarem à espera que o sistema informe passando a estar com menos atenção à condução e mais aos sistemas, tornando-se a condução a tarefa secundária. [67] A eficácia destes sistemas torna-se então um factor crucial pelo que os condutores acabam por ficar à espera que os sistemas avisem quando algo está mal, sendo que a falha destes sistemas em conjunto com a distração do condutor pode levar a acidentes.

Os condutores com a diminuição da atenção, num caso de emergência vão ter um espaço de tempo de reação muito reduzido. É, portanto, necessário encontrar um equilíbrio entre a quantidade de informação e a atenção do condutor pelo que demasiados alertas podem levar a que estes sejam ignorados [8], alertas ao mesmo tempo podem levar a uma sobreposição e confusão [15] e demasiada informação pode tornar o sistema complexo e levar a distração e a que o condutor não consiga perceber toda a informação.

Existem fatores que podem levar a um melhor resultado destes sistemas, o *timing* do alerta, pelo que um tempo de reação demasiado curto leva a que o condutor não tenha tempo de interpretar e tomar a melhor decisão [36] e a correta informação da Situation Awareness o que leva a que o condutor tenha contexto da situação em que se encontra de forma a tomar a melhor decisão no menor espaço de tempo.

2.2.2 Perceção Háptica

O senso háptico, mais propriamente sentido do tato é constituído por sensações decorrentes de ativações de sensores cutâneos embutidos na pele (perceção cutânea), e / ou ativações de sensores cinestésicos embutidos nos músculos, tendões e articulações (perceção cinestésica). [39]

A percepção cinestésica é a percepção humana da posição e dos movimentos através da recepção de informação via mecanorreceptores nos músculos, tendões e articulações. [25] [55]

A percepção cutânea é a percepção humana de sensações de vibração, temperatura, dor e pressão, através da recepção de informação via informação recebida pelos mecanorreceptores e termorreceptores. [35]

Dependendo do tipo, os mecanorreceptores podem encontrar-se na pele com e sem pelos e são ativados dependendo do tipo de estímulo (como movimento e pressão) sendo no entanto mais ou menos sensíveis dependendo do tamanho dos mecanorreceptores, da sua densidade (quanto maior a densidade maior sensibilidade e precisão) e da gama de frequência do estímulo. Devido a estes fatores, a pele apresenta diferentes sensibilidades dependendo do local, pelo que de forma a potenciar a deteção de estímulos cutâneos, deve-se ter em conta a sensibilidade dos vários locais da pele. [28] Através do estudo da [34] que consistia em medir a distância entre dois pontos à qual se consegue sentir os dois toques em vez de um só, foi possível concluir que por exemplo, a sensibilidade nos dedos é superior à sensibilidade no antebraço, como demonstra a Figura 2.15.

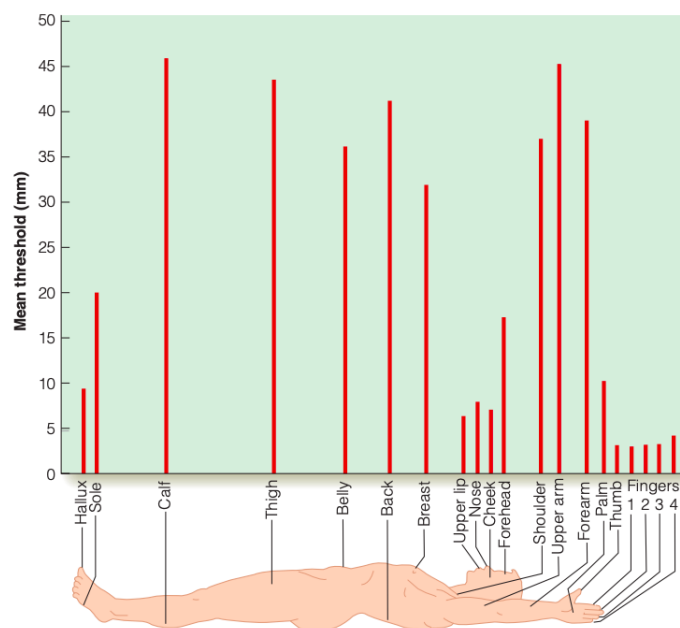


FIGURA 2.15: Teste tátil de limiar de dois pontos [34]

Aplicando ao ambiente de condução, os locais como as costas e os glúteos têm menos sensibilidade que as mãos e os pés, no entanto é preciso ter em conta que as mãos não necessitam estar as duas no volante e as pessoas conduzirem com sapatos influencia também a percepção da vibração (Figura 2.16). Pelo que se deve encontrar um equilíbrio por forma a obter uma melhor correspondência entre o aviso e a manobra necessária diminuindo o o tempo de resposta.

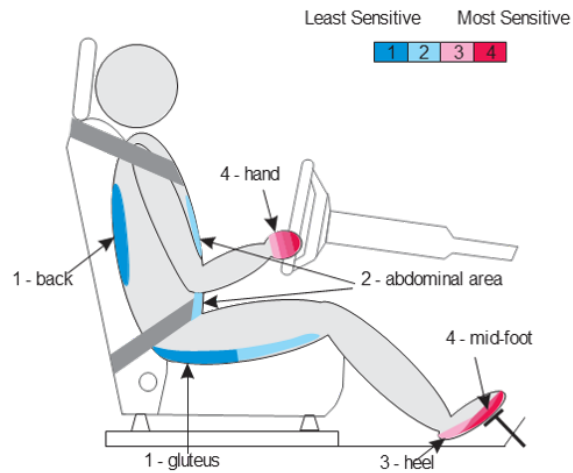


FIGURA 2.16: Sensibilidade à vibração nos locais do corpo aplicada à condução

9

2.3 Processo de Tomada de Decisão Dinâmica

O processo de tomada de decisão dinâmica é iniciado com a obtenção de *Situation Awareness* do estado do ambiente, da decisão e de um mecanismo de retroalimentação, pelo que o resultado das decisões tomadas e ações vai influenciar a obtenção de *Situation Awareness* e conseguinte tomada de decisão em próximas ocasiões. Durante este processo, existem vários fatores que interferem com o processo de tomada de decisão, tais como fatores do sistema / tarefa e fatores individuais. (Figura 2.17)

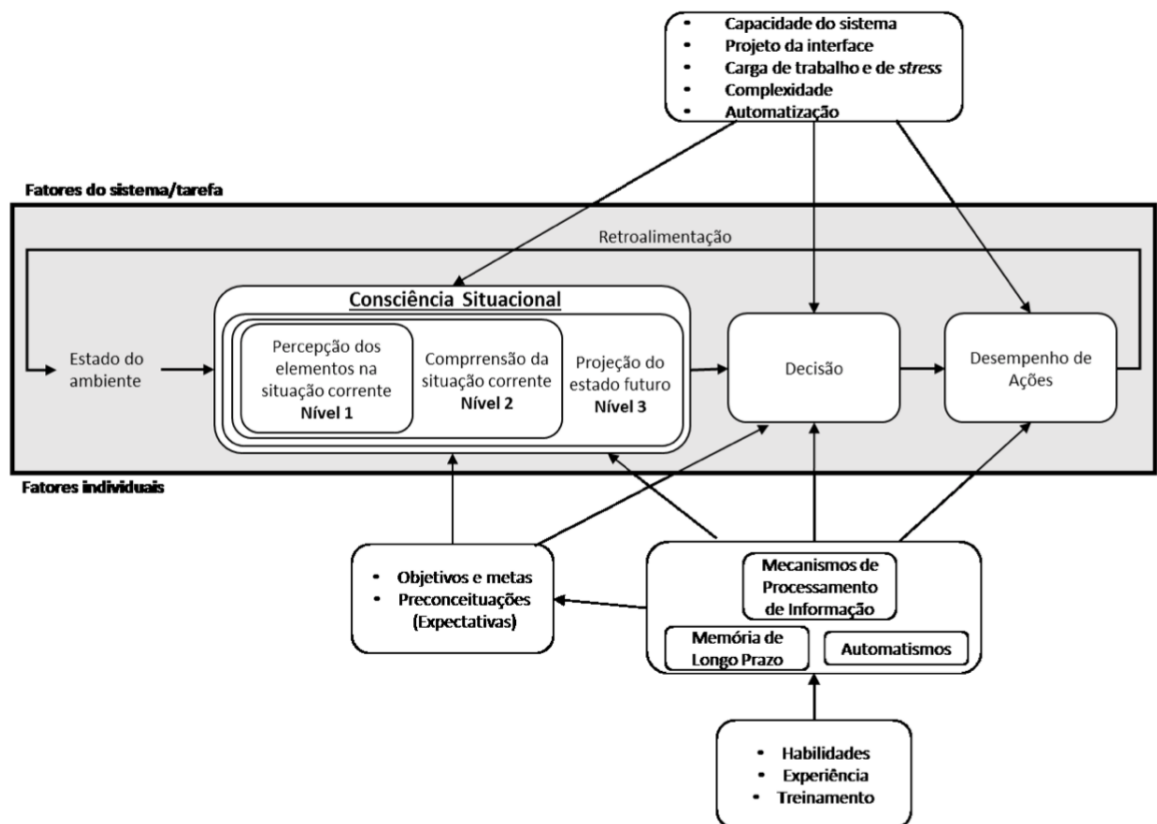


FIGURA 2.17: Modelo de *Situation Awareness* no processo de tomada de decisão dinâmica. [19]

Os fatores de sistema influenciam em todo o processo de tomada de decisão dinâmica, desde a obtenção, interpretação / compreensão e projeção do estado futuro, à tomada de decisão e ao desempenho de ações, pelo que, uma maior capacidade do sistema, um interface intuitivo, a carga de trabalho distribuída

de forma a não causar *stress* e saturação, um sistema com complexidade baixa e intuitiva e automatização são fatores de sistema que influenciam o processo de forma benéfica. Os fatores individuais ao nível da experiência, habilidades e treino influenciam todo o processo e os seus objetivos, metas e expetativas que por sua vez influenciam a obtenção de *Situation Awareness* e a tomada de decisão. Figura 2.17

2.3.1 Tomada de decisão dinâmica aplicada à Condução

Na condução, o processo de tomada de decisão dinâmica é inicializado com a perceção do ambiente de condução, passando então para a obtenção de *Situation Awareness*, que na condução passa pela manutenção do conhecimento da condução, do ambiente (conhecimento do tráfego para realização de manobras), conhecimento do estado do veículo e conhecimento da orientação espacial [33]. Após a obtenção de *Situation Awareness*, é tomada a decisão, implementada e o resultado forma uma base de conhecimento através da retro-alimentação. Figura 2.18

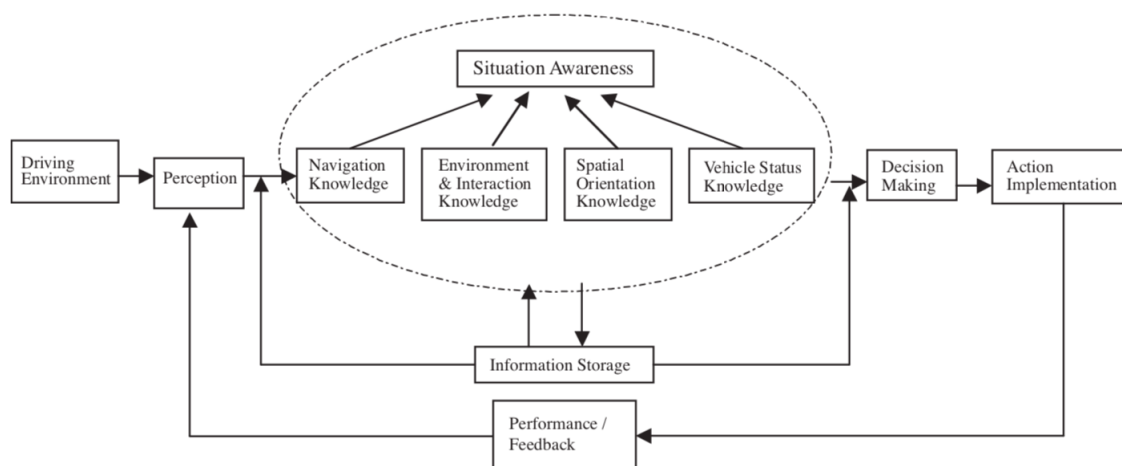


FIGURA 2.18: Modelo de *Situation Awareness* no processamento de informação aquando da condução [40]

2.3.2 Situation Awareness

A definição geral de Situation Awareness (SA) segundo Endsley [19] é a percepção dos elementos do ambiente dentro de um volume de tempo e espaço, a compreensão / interpretação do seu significado e a projeção do seu estado no futuro próximo. Esta definição pode dividir-se em 3 fases, a percepção, a compreensão / interpretação e a projeção futura como demonstrado na Figura 2.19.

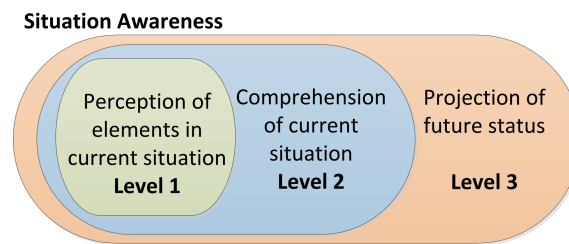


FIGURA 2.19: Níveis de *Situation Awareness* [7]

O primeiro nível de SA envolve a percepção do estado, dos atributos e das dinâmicas de elementos relevantes do ambiente, através dos sentidos (visão, audição, olfato, percepção de vibração, etc.) que monitorizam o ambiente, podendo ser utilizadas ferramentas/sistemas para obter uma informação mais completa, precisa e atempada.

Um condutor necessita de ter a percepção do próprio carro e dos restantes, dos peões, da estrada, da sinalização ou da localização. Para o efeito, utilizando para o efeito os sentidos (visão, audição, olfato, percepção de vibração, etc.) que com a ajuda de sistemas de assistência à condução é possível obter informação mais completa, precisa e atempada. Os sistemas de assistência à condução, de alerta, utilizam tanto a visão (luz ambiente, sinalização), audição (avisos sonoros), como a percepção de vibração (feedback háptico) para contextualizar o condutor dos vários elementos relevantes do ambiente.

Enquanto que no primeiro nível de SA o objetivo era perceber os elementos relevantes do ambiente, no segundo nível é interpretar e correlacionar formando padrões com os elementos desarticulados, contribuindo para o entendimento do ambiente, dos objetos e dos eventos e suas consequências. Os dados percebidos

no primeiro nível são integrados para formar informação consistente que deve ser analisada de acordo com o seu significado e importância perante os objetivos.

Um condutor ao perceber um alerta tem que avaliar o impacto que este terá na sua condução. Por exemplo um condutor para além de perceber um objeto no meio da estrada tem que analisar vários outros elementos que ajudam a avaliar o impacto do objeto na sua condução, um aviso de perigo ou uma diminuição de velocidade por parte de outros veículos poderão ser elementos que auxiliam a avaliação do impacto que poderá levar a que o condutor tome determinada ação.

O terceiro e último nível de SA é a projeção do estado e ações dos elementos do ambiente e implica a percepção dos elementos (Nível 1 SA), o seu correlacionamento e entendimento dos elementos (Nível 2 SA). Este nível é obtido através do conhecimento do estado e dinâmicas dos vários elementos relevantes para o objetivo e da compreensão da situação.

Um dos fatores importantes para a obtenção do nível 3, facilitando projeção do estado e elementos do ambiente e tomada de ação é a obtenção de conhecimento de padrões e ações futuras sendo assim possível a antecipação de possíveis ocorrências diminuindo portanto o tempo de decisão dá o conhecimento (e tempo) necessário para decidir sobre o curso de ação mais favorável para atingir seus objetivos.

Um condutor necessita de detetar possíveis futuras colisões e problemas para conseguir tomar decisões de forma a poder preveni-los. No caso do automóvel que segue em frente abrandar de forma abrupta, o condutor apercebe-se do mesmo (Nível 1 SA), consegue interpretar que a distância de segurança é reduzida (Nível 2 SA) e consegue prever que o o carro vai parar (Nível 3 SA) e tomar a decisão de parar também.

A formação de uma base de conhecimento é um dos fatores importantes para a projeção de ações (Nível 3 SA) futuras e tomada de decisão mais favorável e atempada. A obtenção e constante procura de conhecimento de padrões e "triggers" de ações futuras juntamente com a percepção (Nível 1 SA) e interpretação (Nível 2

SA) dos elementos promove uma tomada de decisão mais favorável num menor espaço de tempo. [19]

Capítulo 3

Estado de Arte

Neste capítulo são apresentados alguns projetos relacionados onde foi possível verificar várias soluções de dispositivos hápticos do tipo *Wearables* e fixos utilizados tanto para sistemas de alerta como sistemas de navegação para que seja potencializada a percepção háptica e melhorados os tempos de reação.

3.1 Trabalho Relacionado

3.1.1 Solução Háptica de Cinto e Volante

O trabalho de Chun et al. [12] visa mitigar o problema do ângulo morto nos automóveis comparando duas soluções de sistemas hápticos, um cinto produzido pela Hyundai motors, e um volante ambos com estimuladores vibrotáteis. (Figura 3.1)

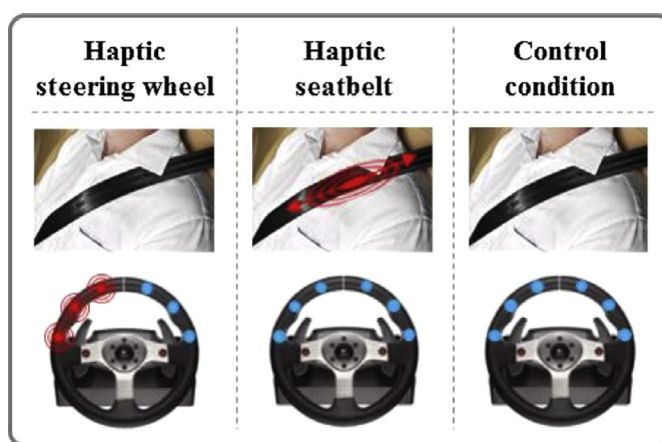


FIGURA 3.1: Volante e cinto háptico [12]

O teste foi realizado em ambiente real e para tirar conclusões foi medido/calculado a taxa de prevenção de colisão (Figura 3.2) e a distância a que o sistema evita a colisão (Figura 3.3) utilizando para tal 2 grupos de condutores, 1 com idades entre 30 e 40 anos e outro com idades entre 50 e 60 anos.

Os autores conseguiram concluir que existiu uma tendência de que a solução do cinto háptico foi menos eficaz nos testes realizados comparada com o volante háptico. Apesar de o volante háptico ter apresentado melhores resultados este apresenta algumas desvantagens / dificuldades como, a necessidade de o condutor manter as duas mãos no volante e para tal necessita de existir um sistema para deteção das mesmas complicando o sistema, sendo mais intrusivo para o condutor.

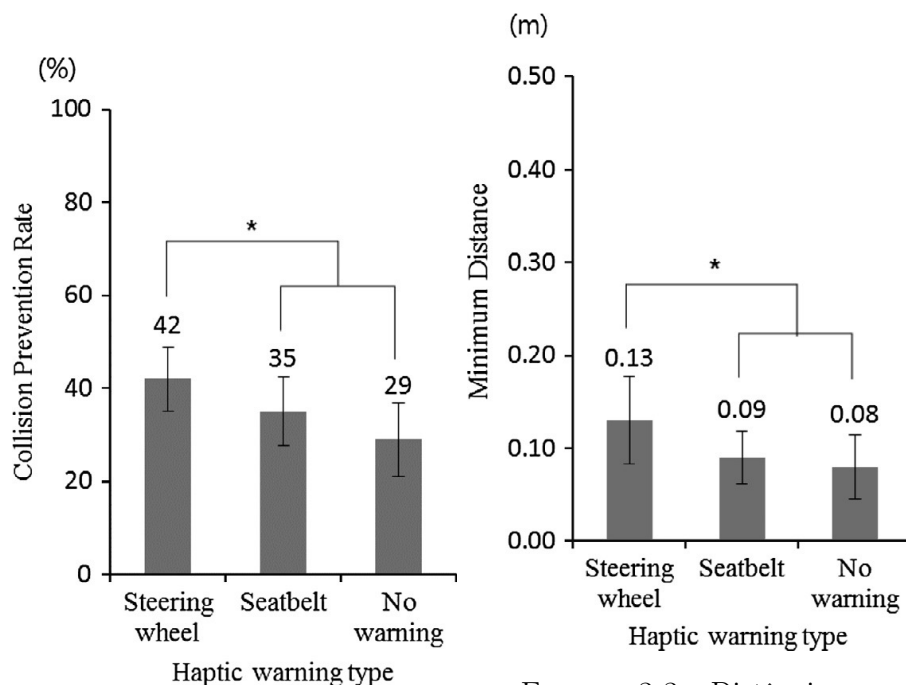


FIGURA 3.2: Taxa de prevenção de colisão [12]

FIGURA 3.3: Distância a que o sistema evita a colisão [12]

3.1.2 Solução Háptica de Banco de Automóvel

O trabalho de Fitch et al. [23] teve como objetivos, verificar se o banco háptico pode ser utilizado como método único de comunicação de vários alertas ao condutor de forma a que este consiga de forma rápida executar uma manobra de correção. Mais especificamente, verificar como varia a resposta do condutor com o aumento do número de alertas diferentes, como varia a resposta do condutor aquando da existência de vários alertas no mesmo local do banco e se o banco háptico tem capacidade para alertar o condutor em caso de perigo / situação controversa. A solução é composta por um banco com 6 Tactors imbutidos (focos de vibração) como demonstra a imagem abaixo;

Foram realizadas 3 experiências, sendo que na primeira foram testados vários alertas, existindo alertas diferentes com o mesmo foco no entanto com padrões diferentes. Na segunda experiência foram testados dois alertas com focos diferentes. Na terceira experiência foi testado apenas um alerta com um foco.



FIGURA 3.4: Banco Háptico [23]

Neste estudo foi possível concluir que o desempenho da resposta do condutor diminui com o aumento do número de alertas possíveis corroborando com a lei de Hick que defende que o tempo que uma pessoa leva para tomar uma decisão com base em determinado evento aumenta à medida que a quantidade de informação transmitida pelo evento aumenta [29], e ainda que existe maior dificuldade em distinguir alertas quando estes são comunicados através do mesmo foco de vibração e que o alerta com um foco único é bastante eficaz no alerta. Ou seja a eficácia de percepção de um alerta diminui com, o aumento do número de alertas distintos sendo que quando existe apenas um alerta é mais simples de detetar / interpretar do que quando existem vários alertas distintos e com o aumento do número de alertas por foco de vibração, ou seja a existência de dois alertas no mesmo foco de vibração é menos eficaz do que a existência de dois focos de vibração com um alerta em cada um.

3.1.3 Solução Háptica de Pulseira

O trabalho de Sklar et al. [58] tem como objetivo testar um dispositivo de feedback háptico para informar os pilotos de aviões de forma eficaz e em tempo útil das mudanças discretas não comandadas no estado do sistema de voo automatizado promovendo uma monitorização orientada por dados em caso de mudanças e eventos imprevistos.

O dispositivo utilizado é uma pulseira com dois focos de vibração, um na parte de dentro do braço e outro na parte de fora como demonstra a Figura 3.5:

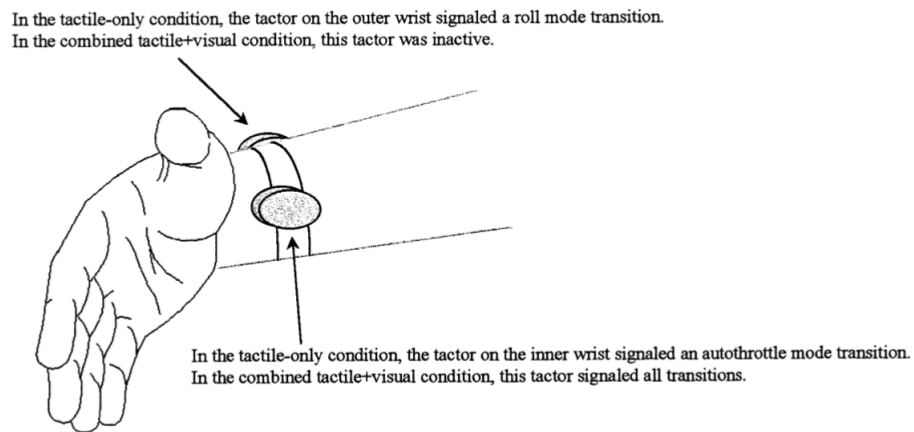


FIGURA 3.5: Solução háptica de pulseira utilizada para informar pilotos de avião Avião 58

Foram efetuados testes de forma a medir a performance na deteção, reação e identificação de transições de modo inesperadas para 3 modos diferentes, visual, visual e háptico e apenas háptico. Para a deteção tanto o modo háptico como o modo multimodal obtiveram uma percentagem perto de 100%, para a reação às transições de modo inesperadas, verificou-se um melhor resultado para o modo visual, na identificação tanto a abordagem multimodal como a abordagem apenas visual apresentaram valores de 100%.

3.1.4 Solução Háptica de Luva Multimodal

O trabalho de Jylhä et al. 31 tem como por objetivo testar uma solução multimodal de navegação por uma cidade dando informação relativa aos locais de interesse de forma a que seja possível manter o máximo de atenção na cidade retirando a necessidade de olhar para o smartphone.

O dispositivo utilizado é uma luva composta por 3 motores de vibração, dois microcontroladores, uma unidade de medida inercial de 9 eixos e um sensor de flexibilidade. O dispositivo comunica via bluetooth com o *smartphone* android. (Figura 3.6)



FIGURA 3.6: Luva Multimodal [31]

De forma a testar o dispositivo multimodal foram realizados dois testes distintos com 6 pessoas cada um, no centro de uma cidade. (Figura 3.9) O primeiro utilizando uma aplicação de smartphone para navegação (Figura 3.7) e o segundo utilizando a luva multimodal (Figura 3.8), com feedback háptico e guia áudio.

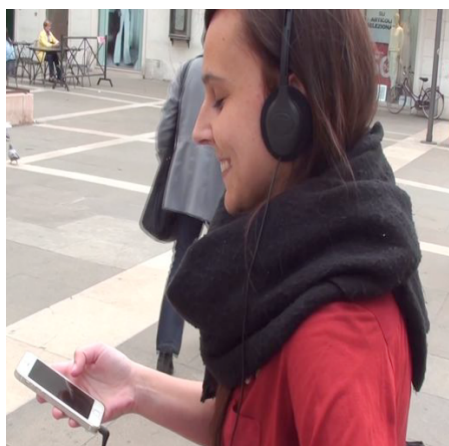


FIGURA 3.7: Teste utilizando aplicação de smartphone [31]



FIGURA 3.8: Teste utilizando a luva multimodal [31]

Foi possível constatar que na solução multimodal comparativamente à aplicação de smartphone os utilizadores demoraram menos tempo a chegar ao sitio pretendido mantendo a atenção na cidade e não apenas no smartphone.



FIGURA 3.9: Cenário de teste - Centro da cidade com locais de interesse [31]

3.1.5 Cinto Háptico para Operação de Robôs

O trabalho de Sibert et al. [57] teve como objetivo promover o feedback para *Urban Search and Rescue (USAR)* para operadores de robôs através da distribuição da carga de informação dos canais sonoro e visual para o canal háptico. Assim, foi desenvolvido um cinto háptico, o *TactaBelt*, com 8 motores de vibração que proporcionam a sensação de profundidade ajudando os operadores de robôs a ultrapassar obstáculos. (Figura 3.10)

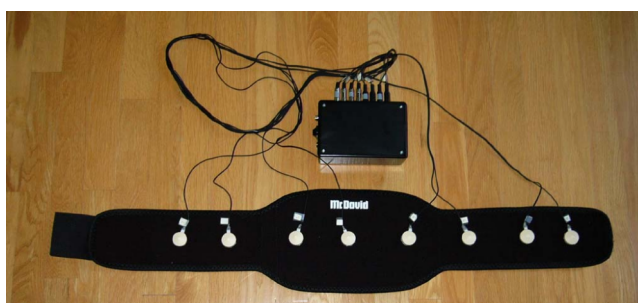


FIGURA 3.10: Cinto háptico *TactaBelt* [57]

Foram realizados testes utilizando uma interface visual e o *TactaBelt*. Para a Interface visual foi utilizado o motor de jogo *Unreal Engine* que apresenta um ambiente tridimensional para simular o ambiente de *USAR*. O *TactaBelt* é composto

por 8 motores de vibração ligados a um cinto capaz de ser utilizado por operadores de robôs.

Os autores concluíram que a utilização de 8 motores de vibração nas quatro direções cardeais e intermediárias funcionou bem no entanto como objetivos de teste futuro identificaram validar se a configuração utilizada é a configuração ótima, validar a utilização do método de vibração contínuo e por pulsação, validar a utilização de várias frequências por forma e aumentar a área corporal coberta pelos motores de vibração para permitir o envio de informação tridimensional.

3.1.6 Estudo de Vibração e Toque

O trabalho de Shim et al. [56] visa perceber a eficácia e tempo de reação relacionados ao envio de informação através da vibração e do toque. Neste sentido foi desenvolvido um dispositivo adaptável ao pulso (Figura 3.11) capaz de enviar estímulos vibratórios e de toque através de 9 motores distribuídos em grelha de 3 por 3 distanciados por 15 mm. (Figura 3.12)

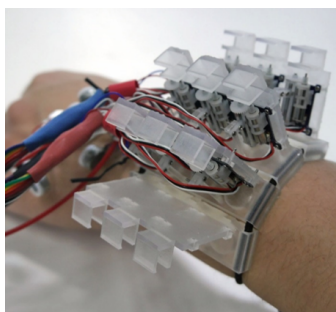


FIGURA 3.11: Dispositivo *wearable* para testes de vibração e toque [56]

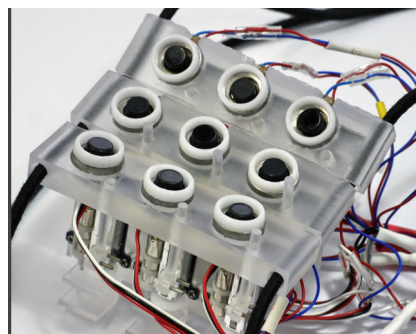


FIGURA 3.12: Grelha de 3 por 3 motores de vibração e de toque [56]

Para o envio de informação foram definidos 4 padrões de vibração / toque, cima, baixo, esquerda e direita. (Figura 3.13)

Foram realizadas 3 experiências em que foi medido o tempo de reação (RT), o número de bits de informação transferida (IT), a percentagem de acerto dos padrões (ACC), cima (U), baixo (D), esquerda (L) e direita (R). Ambas as experiências foram realizadas em ambiente controlado com pessoas reais.

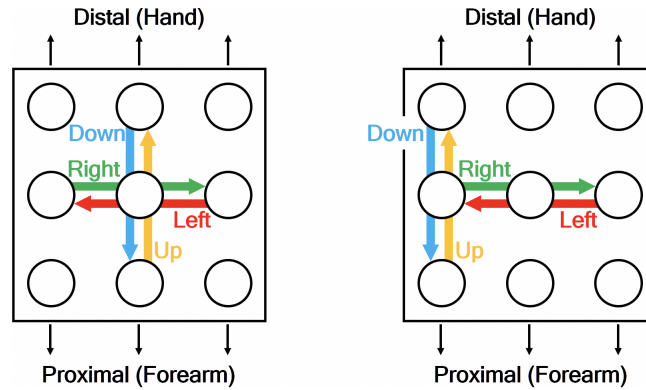


FIGURA 3.13: Padrões para toque (a) e vibração (b) [56]

Na primeira experiência foram feitos testes à modalidade tátil de toque tendo como variáveis 3 tempos de distanciamento entre sinais de vibração / toque com 1 mm, 2 mm e 3 mm de distanciamento e a utilização / não utilização de *Sensory Saltation (SS)* (sensação perceptual gerada quando alguns estímulos sucessivos repetidos são administrados, sendo que quem recebe sente um movimento lento e amplo pontuado por toques [26]) pelo que foi possível concluir que o tempo de reação diminui, a percentagem de acerto e o número de bits de informação transferida aumenta com o aumento do distanciamento e que a percentagem de acerto e o número de bits de informação aumentam com a utilização de *Sensory Saltation*. (Figura 3.14)

		Sensory Saltation (SS)															
		Without SS						With SS									
		U	D	L	R	AC	Mean	SD	U	D	L	R	AC	Mean	SD		
Depth	1mm	U	142	63	50	33	AC	61.28	18.89	U	178	43	48	19	AC	71.53	16.14
		D	61	164	28	35	IT	0.72	0.42	D	38	202	22	26	IT	0.95	0.42
		L	29	37	203	19	RT	0.63	0.34	L	32	25	224	7	RT	0.56	0.22
		R	27	56	8	197				R	20	37	11	220			
	2mm	U	134	70	50	34	AC	66.15	11.84	U	199	45	34	10	AC	78.99	16.19
		D	42	180	39	27	IT	0.80	0.31	D	34	226	7	21	IT	1.24	0.44
		L	30	23	231	4	RT	0.47	0.10	L	21	21	243	3	RT	0.47	0.15
		R	21	41	9	217				R	12	29	5	242			
	3mm	U	157	60	50	21	AC	76.30	14.67	U	204	26	45	13	AC	83.51	9.35
		D	31	213	26	18	IT	1.13	0.41	D	20	243	13	12	IT	1.30	0.34
		L	18	7	259	4	RT	0.43	0.14	L	7	14	265	2	RT	0.43	0.12
		R	8	24	6	250				R	5	32	1	250			

FIGURA 3.14: Resultados experiência 1 [56]

Na segunda experiência foram feitos testes por forma a comparar as duas modalidades táteis, toque e vibração tendo os participantes tido uma sessão de treino de 5 minutos por forma a adaptarem-se à utilização do dispositivo háptico. Dos testes realizados foi possível concluir que a atenção e a distinção dos padrões táteis de toque e vibração são semelhantes quando a atenção dos participantes é focada apenas no dispositivo tátil. (Figura 3.15)

	Tactile Modality															
	Poke							Vibration								
		U	D	L	R	AC	Mean	SD		U	D	L	R	AC	Mean	SD
>60%																
>70%																
>80%																
	U	186	41	43	18	AC	81.16	15.55	U	151	77	40	20	AC	72.92	15.51
	D	13	237	25	13	IT	1.30	0.50	D	50	184	29	25	IT	1.10	0.48
	L	1	21	266	0	RT	0.66	0.31	L	11	9	261	7	RT	0.84	0.33
	R	3	35	4	246				R	10	28	6	244			

FIGURA 3.15: Resultados experiência 2 [56]

A terceira experiência teve como objetivo entender como varia o tempo de reação, o número de bits de informação transferida e a percentagem de acerto dos padrões quando o reconhecimento dos padrões não é o foco principal do participante. O teste é composto por 2 tarefas assíncronas e aleatórias, na primeira (principal) é apresentado um ecrã com vários números com várias dificuldades (nenhuma, fácil e difícil) e o participante tem que dizer se o número 57 está no ecrã e a segunda tarefa (secundária) são enviados padrões via dispositivo háptico e o participante tem de interpretá-los. Dos testes realizados foi possível concluir que relativamente à primeira tarefa que a eficácia da resposta diminui com o aumento da dificuldade da tarefa e relativamente à segunda tarefa que o toque é mais perceptível que a vibração quando o participante não está preparado para o estímulo e que a carga informacional do canal visual é independente do canal háptico. (Figura 3.16)

		>60%	Tactile Modality														
		>70%	Poke						Vibration								
		>80%	U	D	L	R	AC	Mean	SD	U	D	L	R	AC	Mean	SD	
Difficulty	None	U	45	6	9	3	AC	87.08	9.46	U	40	7	9	4	AC	77.92	21.65
		D	1	50	3	3	IT	1.56	0.30	D	5	44	4	9	IT	1.41	0.41
		L	0	4	56	1	RT	1.58	0.27	L	5	6	49	1	RT	1.64	0.43
		R	1	0	0	58				R	0	3	0	54			
	Easy	U	44	5	8	3	AC	87.50	14.51	U	26	10	17	7	AC	75.00	17.68
		D	2	55	4	1	IT	1.60	0.43	D	2	38	9	8	IT	1.33	0.50
		L	1	3	57	0	RT	1.40	0.45	L	1	2	54	1	RT	1.45	0.53
		R	1	2	0	54				R	1	1	0	62			
	Difficult	U	39	12	8	2	AC	82.50	16.01	U	24	11	11	8	AC	72.50	15.75
		D	2	45	10	2	IT	1.50	0.44	D	4	38	6	11	IT	1.22	0.44
		L	0	2	55	0	RT	1.30	0.26	L	1	5	55	1	RT	1.51	0.58
		R	2	1	0	59				R	3	3	0	57			

FIGURA 3.16: Resultados experiência 3 [56]

3.1.7 Discussão

Existem soluções hápticas bastante completas para alerta e localização que utilizam a vibração para enviar estímulos hápticos através de dispositivos embutidos em automóveis ou até dispositivos *wearable* no entanto verificou-se que especificamente para informar o condutor de forma a que ele tenha uma melhor percepção do ambiente à sua volta no âmbito da condução não existem soluções concretas.

Dos trabalhos analisados verificou-se que a distribuição da carga informacional para canais hápticos resultou numa melhoria tanto na percepção / interpretação de mais informação e que o canal háptico é eficaz na transmissão de informação ao utilizador.

Verificou-se que as soluções hápticas para ambiente automóvel existentes têm como por objetivo o alerta do condutor e não a informação do mesmo, já as restantes soluções hápticas verifica-se que as mesmas foram eficazes na transmissão de informação ao utilizador no entanto apresentam a necessidade de utilização de *Wearables* o que apresenta um obstáculo à sua utilização. Assim encontra-se em falta uma solução háptica que permita libertar o condutor da tarefa de condução promovendo a percepção do ambiente de condução à sua volta.

Capítulo 4

Proposta de Dispositivo Háptico

Neste capítulo é apresentada a proposta do cinto de segurança háptico e as considerações tomadas em conta aquando da criação do protótipo. Inicialmente é apresentada uma descrição do sistema, de todos os componentes de hardware que o compõem e a plataforma utilizada na implementação da solução háptica. São ainda apresentadas as configurações ao nível das sequências de estímulos existentes que dão origem ao *Feedback Háptico*.

4.1 Considerações na Criação do Protótipo

São necessárias algumas considerações iniciais na identificação dos componentes necessários para a construção do Protótipo de Cinto de Segurança Háptico. O formato deste dispositivo foi escolhido tendo em conta os seguintes fatores:

1. Intrusivo – O formato do dispositivo foi pensado de forma a que não fosse necessário fazer alterações no automóvel, não sendo intrusivo para os fabricantes de automóveis ou até para quem queira adaptar o dispositivo ao automóvel.
2. Utilização de *Wearables* – Este foi outro dos pontos a ter em conta visto que o utilizador acaba por perder o interesse quando tem que utilizar dispositivos à parte. Pelo que sendo um cinto um dispositivo obrigatório não é necessário utilização de *wearables*.
3. Ambiente de Testes – Para testes, de forma a não ser necessário alterar o cinto de segurança clássico do carro de testes, o protótipo é adaptável.
4. Estímulos - Inicialmente em fase de testes serão passados estímulos básicos ao condutor, à medida que serão feitos os testes, será criado um dicionário de sequências produzido de acordo com o resultado dos testes ao sistema, recolhendo as sequências de estímulos mais intuitivas formadas através da conjugação de estímulos básicos de forma a passar informação mais precisa e concisa. Os estímulos básicos são os seguintes:
 - Esquema de motores de vibração – Inicialmente pensado para 9 motores de vibração Figura [4.1](#)

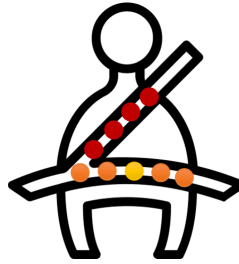


FIGURA 4.1: Esquema do Cinto de Segurança Háptico com identificação dos motores de vibração

- Mapas de sequência de estímulos de vibração – Mapas de estímulos básicos que servirão de base para estímulos mais complexos. Os mapas relacionam a intensidade de cada Motor de vibração pelo Tempo em cada um dos motores de vibração, sendo que a intensidade é variável de 0-1 e o Tempo encontra-se dividido em momentos (Anexo [A](#)).

4.2 Arquitetura do Sistema

A nível de arquitetura com o objetivo de facilitar a execução de avaliações e inicializar o vídeo de teste na interface gráfica e o cinto háptico ao mesmo tempo, construiu-se um servidor que comunica tanto com o cinto háptico como com a interface gráfica. De forma a despoletar as avaliações apenas é necessário dar como input na linha de comandos um número de 1 a 9 estando por ordem de procedimentos de avaliação.

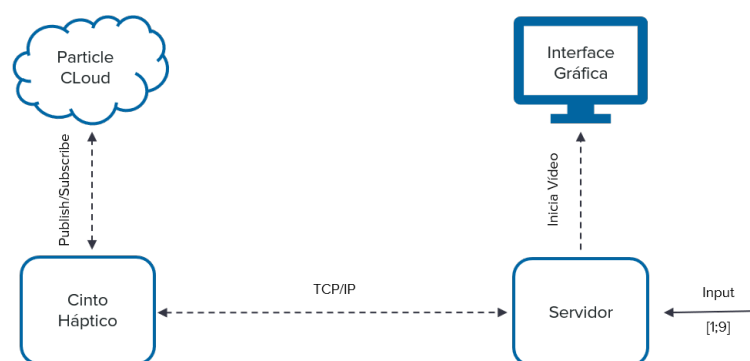


FIGURA 4.2: Arquitetura do Sistema

4.3 Hardware

O Hardware utilizado no sistema tem o objetivo de enviar estímulos ao condutor. No sistema estão envolvidos os componentes, *Photon Particle* (Figura 4.5) e os atuadores *Lilypad Vibe Board* (Figura 4.3).

4.3.1 Lilypad Vibe Board

O componente *Lilypad Vibe Board* (Figura 4.3) é um dispositivo pequeno de vibração preparado para ser conectado através de fio condutor. Este dispositivo é capaz de receber voltagem de entrada entre os 3.3V e os 5V sendo que é composto por um motor de vibração capaz de receber voltagem de entrada entre 2.5V e 3.8V [37] e por uma resistência que permite a recepção até 5V fazendo a conversão para valores aceitáveis para o motor de vibração [1].



FIGURA 4.3: Lilypad Vibe Board [1]

Este componente no sistema tem a responsabilidade de enviar vibração que se traduzirá em estímulos hápticos sendo que o conjunto dos vários motores de vibração ligados ao cinto de segurança háptico (Figura 4.4) permite o que sejam enviadas sequências de estímulos que possibilitam o envio de informação para o condutor.

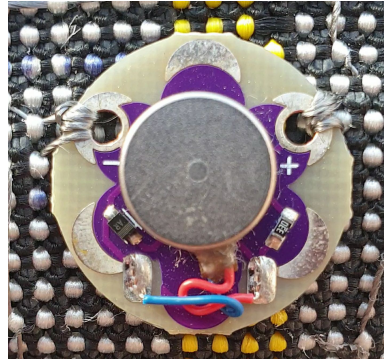


FIGURA 4.4: Lilypad Vibe Board cosida ao cinto de segurança háptico

4.3.2 Particle Photon

A placa Photon Particle representada na Figura 4.5 consiste numa solução Wi-Fi IoT integrada que apresenta um microcontrolador STM32 ARM Cortex M3 e um módulo Wi-Fi, PØ Wi-Fi com suporte para 802.11 b/g/n.

Esta placa é o componente que permite conectar a interface (computador de bordo) e os atuadores *Lilypad Vibe Board*. [51]

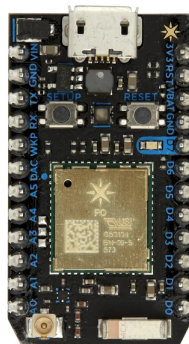


FIGURA 4.5: *Particle Photon* [3]

4.3.3 Photon Wearable Shield

Com o objetivo de coser o sistema ao cinto por foi necessário a utilização do *Photon Wearable Shield* (Figura 4.6) que separa os pinos do Photon original e apresenta uns pinos mais largos o que permite a utilização de fio condutor para conectar o *Photon* aos restantes componentes.

4.4 Software

A nível de software o sistema é composto por um cliente e um servidor que têm a função de conectar a interface de teste e o cinto de segurança háptico. O cliente foi construído utilizando a plataforma Particle web IDE cuja linguagem utilizada é C++ e o servidor foi construído com recurso ao Node Js.

4.4.1 Particle Web IDE

O *Particle Web IDE* é um ambiente de desenvolvimento integrado baseado em *cloud* que permite o desenvolvimento de software em C++ num ambiente web Figura 4.8 utilizando Wi-fi para atualização de firmware sem fios e carregar o novo software no dispositivo [52].

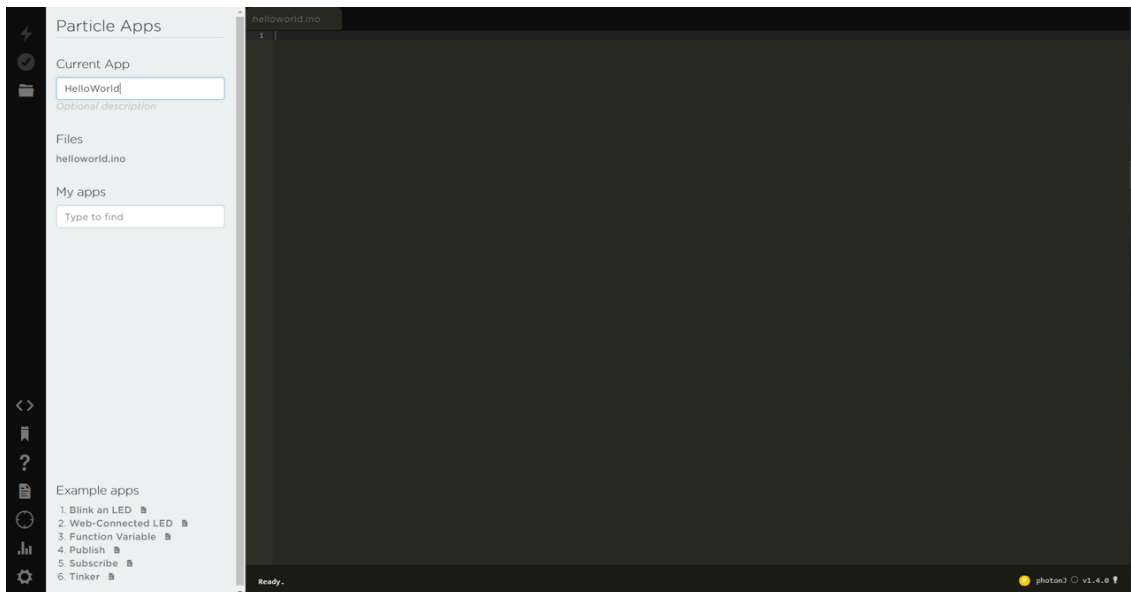


FIGURA 4.8: Particle Web IDE

4.4.2 Cliente

O Cliente foi desenvolvido de forma a potencializar a conectividade do cinto tendo-se recorrido às funções de *Publish/Subscribe Events*. A função *Subscribe* permite

que o a placa de IOT esteja à escuta de novos eventos sendo que quando é utilizada a função *Publish* ou seja, publicado um evento é realizada determinada ação. Esta funcionalidade foi utilizada para que seja possível ativar estímulos hápticos através do *Publish* de eventos que podem ser enviados por exemplo através da linha de comandos, da aplicação *Particle Mobile* [48], da aplicação *Particle Console* [49] ou através da aplicação *IFTT - If This Then That* [50].

4.4.3 Servidor

O servidor foi desenvolvido com o objetivo de através da linha de comandos iniciar os testes do cinto de segurança háptico, tendo que se iniciar tanto os cenários de teste e de demonstração/adaptação em vídeo como despoletar o início dos estímulos hápticos de forma sincronizada. Assim, através da introdução de um número de 1 a 9 comandos da Tabela 4.1 é possível iniciar os cenários de testes evitando assim problemas de assincronismo e variações entre o vídeo e os estímulos hápticos.

Comando	Descrição
1	Início Demonstração
2	Início Adaptação
3	Início Cenário 1
4	Início Cenário 2
5	Início Cenário 3
6	Teste Estímulo de Aceleração
7	Teste Estímulo de Travagem
8	Teste Estímulo de Viragem à Esquerda
9	Teste Estímulo de Viragem à Direita
x	Sair

TABELA 4.1: Comandos Interface de Teste

4.4.4 Protótipo

O Protótipo foi criado numa fita elástica que promove a adaptabilidade do mesmo para vários ambientes.



FIGURA 4.9: Protótipo de Cinto de Segurança Háptico - Utilização

Numa das pontas da fita elástica, onde se encontra a placa Photon foi criado um mecanismo utilizando fita de velcro que permite prender o cinto a qualquer banco de automóvel. (Figura 4.10)

Todo o sistema se encontra cosido na fita elástica através de fio condutor, quer seja o particle Photon com a *Wearable Shield* como os vários motores de vibração como demonstra a Figura 4.10.

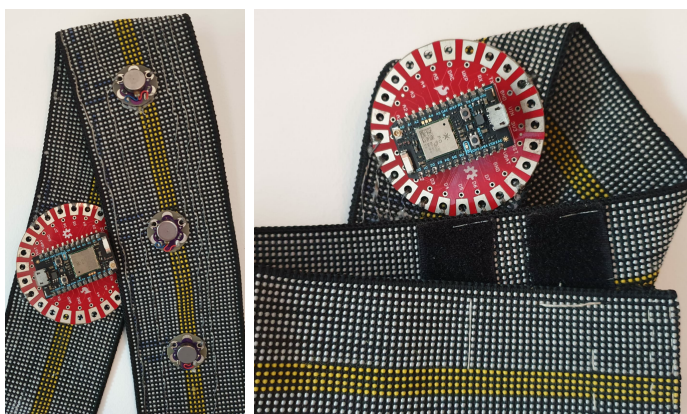


FIGURA 4.10: Protótipo de Cinto de Segurança Háptico - Componentes cosidos e fita de velcro

Capítulo 5

Avaliação do Protótipo

Neste capítulo são apresentados os testes efetuados ao protótipo de cinto de segurança háptico desenvolvido no âmbito deste projeto e os resultados esperados em cada procedimento de teste. Inicialmente são especificadas as diversas fases de teste ao protótipo onde são descritos os procedimentos de teste relacionando com os objetivos e resultados. É feito ainda um enquadramento dos cenários de teste e dos elementos da simulação e explicado os métodos utilizados para medir a *Situation Awareness*.

5.1 Objetivos e Resultados

Os procedimentos anteriormente descritos têm com macro-objetivo testar o cinto de segurança háptico como um sistema de alerta para a condução autónoma em caso de passagem de controlo para o condutor. Assim, é necessário validar se o feedback háptico fornecido, é intuitivo o suficiente para que seja facilmente perceptível e se o feedback háptico é suficiente para alertar e informar o condutor da Situation Awareness em situações que o mesmo necessite assumir o controlo do veículo rapidamente. Para tal é necessário que haja uma diminuição do tempo de reação aquando da passagem de controlo e um aumento da percentagem de ações corretas aquando da passagem de controlo. Pelo que, durante os testes realizados foram definidos os objetivos:

- O.1 Validar se os estímulos são percebidos corretamente;
- O.2 Medir o tempo entre um alerta de passagem de controlo do automóvel para o condutor e a tomada de controlo manual do automóvel (tempo de reação);
- O.3 Validar se a ação tomada pelo condutor aquando da tomada de posse é a mais correta;
- O.4 Avaliar a Situation Awareness;
 - SART - Situation Awareness Rating Technique;
 - SAGAT - Situation Awareness Global Assessment Technique.
- O.5 Concluir sobre o nível intrusivo, complexo e impercetível do cinto de segurança háptico.

Com estes objetivos é possível obter resultados nas vertentes quantitativa e qualitativa ao verificar se existiu uma diminuição do tempo de reação com a utilização do cinto de segurança háptico, um aumento na percentagem de ações tomadas corretamente, um aumento da percentagem de perceção correta dos estímulos

hápticos enviados pelo cinto e um aumento da Situation Awareness, tendo sido definidos os seguintes resultados a obter:

- R.1 Percentagem de perceção correta dos estímulos enviados via cinto de segurança háptico;
- R.2 Comparar o tempo de reação com e sem a utilização do cinto de segurança háptico;
- R.3 Comparar a ação tomada com o uso de cinto de segurança háptico e sem o uso do mesmo;
- R.4 Situation Awareness (SART & SAGAT);
- R.5 Nível de intrusivo, de complexidade e de perceptibilidade do dispositivo háptico.

A correspondência entre os objetivos e os resultados é detalhada na tabela [5.1](#) e a correspondência entre os procedimentos, objetivos e resultados é detalhada em Anexo [G](#).

Objetivo	Resultado
O.1 Validar se os estímulos são percebidos corretamente	R.1 Percentagem de perceção correta dos estímulos enviados via cinto de segurança háptico.
O.2 Medir o tempo entre um alerta de passagem de controlo do automóvel para o condutor e a tomada de controlo manual do automóvel (tempo de reação);	R.2 Comparar o tempo de reação com e sem a utilização do cinto de segurança háptico;
O.3 Validar se a ação tomada pelo condutor aquando da tomada de posse é a mais correta;	R.3 Comparar a ação tomada com o uso de cinto de segurança háptico e sem o uso do mesmo;
O.4 Avaliar a Situation Awareness	R.4 Situation Awareness (SART & SAGAT)
O.5 Concluir sobre o nível intrusivo, complexo e impercetível do cinto de segurança háptico	R.5 Nível de intrusivo, de complexidade e de perceptibilidade do dispositivo háptico

TABELA 5.1: Relação entre objetivos e resultados

5.2 Procedimento de Teste

Por forma a obter 2 grupos de teste homogêneos, na escolha de participantes realizou-se 3 testes de reação a cada participante podendo estes fazer parte do estudo caso obtivessem resultados sempre inferiores a 500 ms. O teste do cinto de segurança háptico inicializa com uma introdução (P.1) de forma a enquadrar o participante sobre o tema da dissertação e do teste seguido de um Questionário Demográfico genérico (Q.1) com o objetivo de recolher alguma informação sobre o *background* do participante. (Figura 5.1)

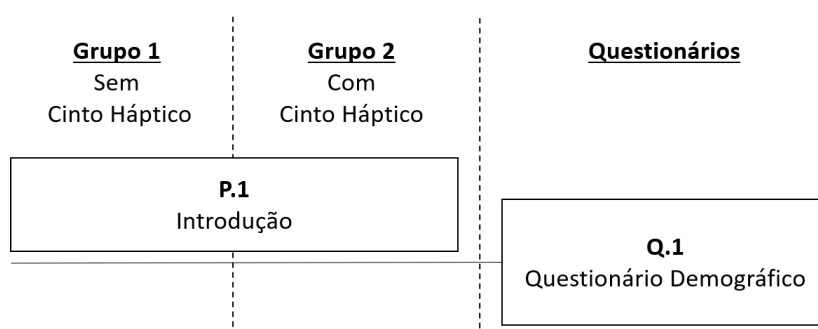


FIGURA 5.1: Procedimento de Teste - Fase P.1 e Questionário Q.1

Para análise estatística com o objetivo de comparar os resultados com e sem cinto de segurança háptico é efetuada a divisão do universo de participantes em dois grupos (Grupo Sem Cinto de Segurança Háptico e Grupo Com Cinto de Segurança Háptico). É realizada uma demonstração e explicação do sistema e da simulação para os dois Grupos de participantes (P.2), no entanto, como apenas o Grupo com Cinto vai utilizar cinto de segurança háptico é explicado aos participantes deste grupo o funcionamento do cinto, os padrões existentes e são testados alguns padrões para que estes os conheçam e se ambientem ao cinto (P.3). (Figura 5.2)

A volta de adaptação (P.4) trata-se de uma volta inicial totalmente autónoma em que o participante à medida que a simulação vai decorrendo e recebendo os estímulos correspondentes às ações que o automóvel vai realizar, vai decifrando e comunicando o significado destes sendo utilizado o método *Think-Aloud* [65] [53].

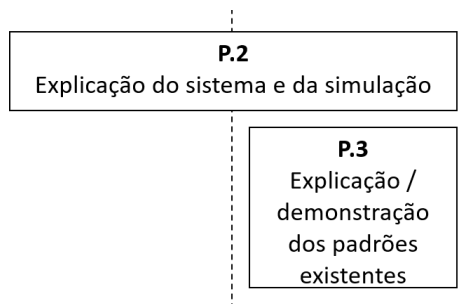


FIGURA 5.2: Procedimento de Teste - Fase P.2 e P.3

Esta tem como por objetivo, validar se o significado decifrado pelo participante corresponde ao significado do padrão que foi enviado. (Figura 5.3)

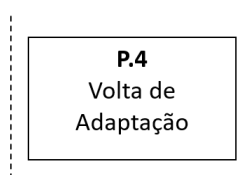


FIGURA 5.3: Procedimento de Teste - Fase P.4

Após explicação e adaptação para os dois grupos, cada participante realiza 3 cenários de testes (P.5) em que as condições do ambiente de condução fazem com que o sistema não consiga prosseguir em determinado ponto da circulação de forma autónoma passando o controlo para o condutor. Cada cenário é composto por 3 fases, a fase inicial em que o condutor inicia a circulação já em modo autónomo tendo a capacidade de visualizar a circulação, uma segunda fase em que o condutor não consegue visualizar a circulação simulando que os condutores se encontram a realizar outras tarefas não estando com atenção à circulação e uma fase final em que para os participantes do Grupo Sem Cinto é apenas enviado um sinal sonoro para que o condutor assuma o controlo do carro e para os participantes do Grupo com Cinto é enviado o sinal sonoro (alerta) e o sinal háptico (informação) com a ação que o condutor deverá tomar, uma vez que o automóvel considerado sabe como reagir, no entanto, dada a complexidade da manobra a ser realizada (não só no momento de passagem controlo mas também nos momentos seguintes) considera mais seguro / adequado a passagem de controlo ao condutor. (Figura 5.4)

Seguido de cada cenário de teste, todos os participantes devem responder aos questionários SAGAT (Q.2) e SART (Q.3) com o objetivo de medir a *situation awareness* do condutor aquando da passagem de controlo. (Figura 5.4)

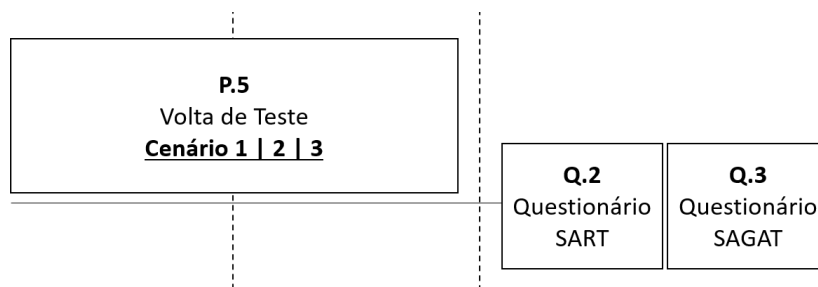


FIGURA 5.4: Procedimento de Teste - Fase P.5 e Questionário Q.2 e Q.3

A sessão de teste será dada como terminada após os participantes responderem ao questionário final (Q.4) de forma a recolher dados relativos à complexidade e perceptibilidade e concluir sobre o quão intrusiva é a solução. (Figura 5.5)

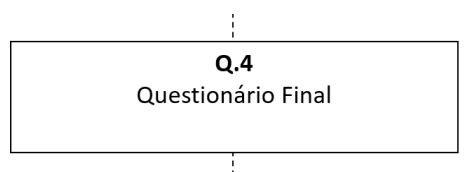


FIGURA 5.5: Procedimento de Teste - Questionário Q.4

O diagrama completo com o procedimento de teste, as 5 fases e 4 questionários encontra-se representado em Anexo F.

5.2.1 Descrição das fases e questionários de teste

Nesta secção são apresentadas todas as fases de teste (Tabela 5.2) e questionários (Tabela 5.3) com as respetivas descrições.

Fases	Descrição
P.1 Introdução	Enquadramento da dissertação e dos testes a realizar
P.2 Explicação do sistema e da simulação	Explicação do sistema háptico e de como funciona a simulação
P.3 Explicação / demonstração dos padrões existentes	Explicação e teste de forma aleatória dos padrões de estímulos existentes
P.4 Volta de Adaptação	Volta inicial totalmente autónoma em que o participante à medida que a simulação vai decorrendo e recebendo os estímulos correspondentes, o participante vai decifrando e comunicando os mesmos
P.5 Volta de Teste	Volta de teste onde são testados os cenários com e sem cinto de segurança háptico

TABELA 5.2: Descrição das fases de teste

Questionário	Descrição
Q.1 Questionário Demográfico	Questionários onde são recolhidos dados relativos ao background do participante
Q.2 Questionário SART	Questionário onde são recolhidos dados relativos ao nível de Situation Awareness
Q.3 Questionário SAGAT	Questionário onde são recolhidos dados relativos ao nível de Situation Awareness
Q.4 Questionário de <i>User Experience</i>	Questionário onde são recolhidos dados relativos ao quão intrusivo, complexo e impercetível é o cinto de segurança háptico.

TABELA 5.3: Descrição dos questionários a realizar durante o teste

5.2.2 Elementos da Simulação

Para o teste dos cenários, os participantes encontram-se sentados numa cadeira com um volante e pedais onde estes deverão demonstrar a ação após o alerta de cedência de controlo e um ecrã onde irá ser mostrado o cenário gravado. (Figura 5.6)

É ainda necessário que o participante utilize roupa de camada fina de forma a proporcionar uma melhor perceção dos estímulos, eliminando diferenças que possam ser causadas pela roupa. [17]



FIGURA 5.6: Ambiente de simulação

A condução autónoma foi simulada com recurso ao jogo Grand Theft Auto V que promove um ambiente virtual de condução bastante semelhante ao mundo real. O Grand Theft Auto V permite que investigadores criem, treinem e testem dados foto-realistas para estimar com precisão a perspetiva do motorista, a distância das marcações da faixa de rodagem, a distância dos carros e o ângulo de direção. [41]

5.2.3 Medição da Situation Awareness

Para a medição da Situation Awareness foram utilizadas duas técnicas distintas SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique) [18] e SART (Situation Awareness Rating Technique) [63] utilizadas em diferentes estudos para o efeito [54] [61] [14] [64]. A técnica SAGAT envolve interromper a atividade do participante e administrar um conjunto de questões que têm como alvo as necessidades dinâmicas do participante relativamente ao domínio de teste medindo assim a Situation Awareness [18] [20].

Já a SART é uma técnica de classificação subjetiva que também envolve 10 dimensões base encontrando-se distribuídas por 3 categorias, demanda atencional, suprimento atencional e entendimento da situação. [63] [20] (Tabela 5.4) As dimensões são avaliadas pelo participante utilizando uma escala de 1 a 7, após a atividade ou simulação dessa atividade. A Situation Awareness corresponde ao U (entendimento) subtraído da diferença entre a D (demanda) e o S (suprimento) ($SA = U - (D-S)$), variáveis estas obtidas através do somatório de cada categoria de avaliações. [32]

Categoria	Dimensão
D (demand)	Instabilidade da situação
	Variabilidade da situação
	Complexidade da situação
S (Supply)	Vigilância
	Capacidade mental disponível (processamento de outras informações)
	Concentração da atenção (na tarefa)
	Divisão da atenção (entre os elementos da tarefa)
U (Understanding)	Quantidade de informação
	Qualidade da informação
	Familiaridade com a situação

TABELA 5.4: Descrição dos questionários a realizar durante o teste [11] [42] [54] [64]

Com o objetivo de verificar se existiram melhorias ao nível de Situation Awareness aquando da utilização do cinto de segurança háptico com base em dados quantitativos, foi medido o tempo de reação com base na regra da *DMV da Califórnia* como "período decorrido desde o momento em que o condutor do veículo é alertado através de um sinal sonoro sobre a falha da tecnologia e o momento em que condutor assume o controlo manual do veículo", e foi avaliada a ação tomada pelo participante aquando da tomada de controlo, Figura 5.7 [16]

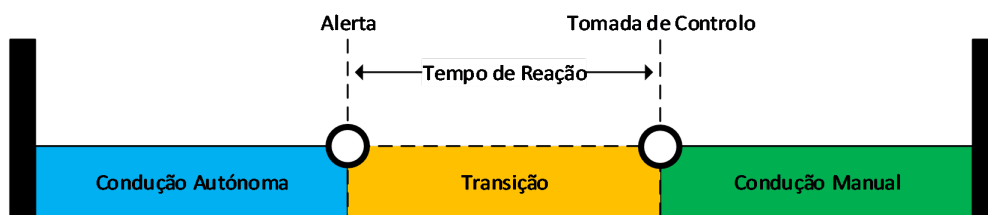


FIGURA 5.7: Tempo de Reação

O tempo de reação e a avaliação da ação tomada pelo participante relacionam-se com o nível de Situation Awareness no sentido em que uma diminuição no tempo de reação e um aumento da percentagem de ações tomadas corretamente demonstra uma melhoria no nível de Situation Awareness do participante.

5.3 Cenários de Teste

Foram definidos 3 cenários de teste tendo em consideração as dificuldades que os sistemas autónomos apresentam. O primeiro cenário foi delineado tendo por causa de desativação condições meteorológicas mais precisamente nevoeiro que impede que o automóvel prossiga a condução autónoma.

No cenário, o automóvel pós viragem em modo autónomo passa por um local com nevoeiro levando a que o sistema não consiga prosseguir de forma autónoma passando o controlo para o condutor que deve travar no semáforo vermelho, Figura 5.8.

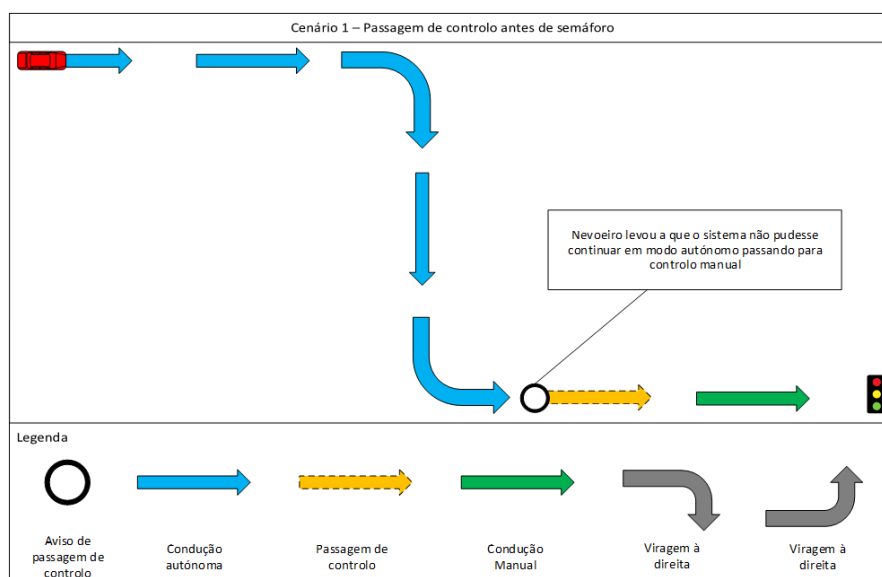


FIGURA 5.8: Diagrama representativo do cenário de teste 1

O segundo cenário foi delineado tendo por causa de desativação condições de sinalização da estrada mais precisamente estrada com linhas mal definidas que impede que o automóvel prossiga a condução autónoma.

No cenário, a passagem do automóvel em modo autónomo de uma estrada delineada de forma adequada para uma estrada com o delineamento mal definido leva a que o sistema não consiga prosseguir de forma autónoma passando o controlo para o condutor que deve virar à esquerda de forma a prosseguir o caminho correto, Figura 5.9.

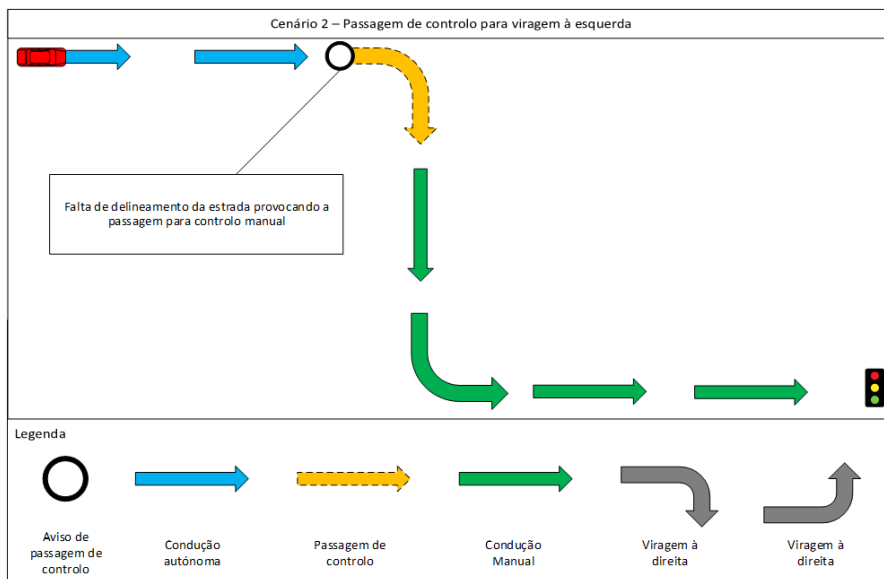


FIGURA 5.9: Diagrama representativo do cenário de teste 2

O terceiro cenário foi delineado tendo por causa de desativação estrada em obras o que impede que o automóvel prossiga a condução autónoma.

No cenário, a passagem do automóvel em modo autónomo por um local com obras na estrada leva a que o sistema não consiga prosseguir de forma autónoma passando o controlo para o condutor que deve virar à esquerda de forma a desviar-se do obstáculo e a prosseguir o caminho correto, Figura 5.10.

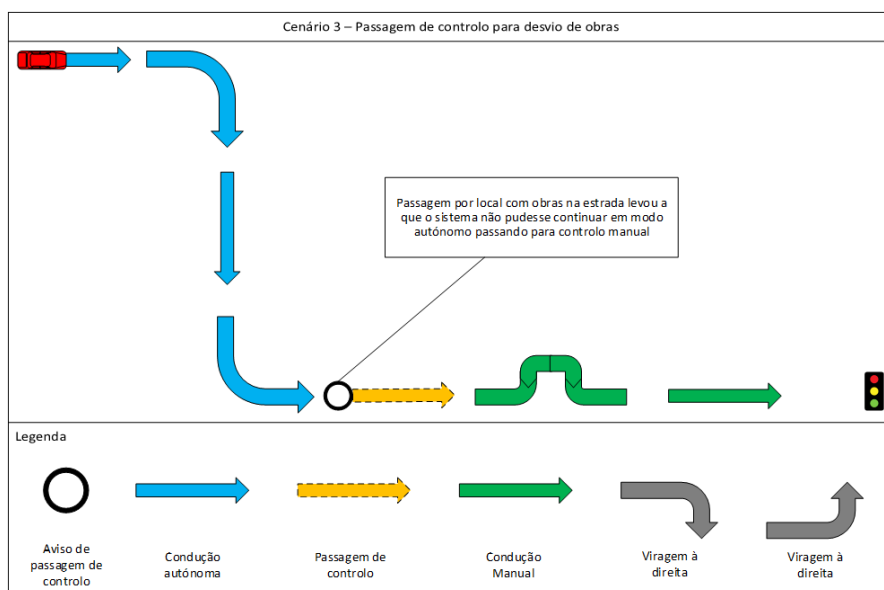


FIGURA 5.10: Diagrama representativo do cenário de teste 3

5.4 Resultados

Foram realizados testes a um total de 20 participantes com resultados nos testes de reação inferiores a 500 ms. Os 20 participantes foram divididos em dois grupos de forma aleatória com o objetivo de comparar os resultados com e sem a utilização do cinto de segurança háptico. Assim, o Grupo Sem Cinto composto por 10 participantes realizou o teste com cinto e o Grupo com Cinto composto por outras 10 participantes realizou o teste sem cinto.

Os testes permitiram concluir sobre o tempo de reação com e sem a utilização do cinto de segurança háptico, a percentagem de ações tomadas corretamente com e sem a utilização do cinto de segurança háptico, o nível de *Situation Awareness* com e sem a utilização do cinto e relativamente ao protótipo de cinto de segurança háptico, sobre a percentagem de perceção correta dos estímulos enviados via cinto de segurança háptico, o nível intrusivo, de complexidade e de perçetibilidade.

5.4.1 Percentagem de Acerto dos Estímulos Hápticos enviados via Cinto de Segurança Háptico

De forma a verificar a eficácia de acerto dos estímulos hápticos enviados via cinto de segurança háptico inicialmente foi realizada uma volta inicial totalmente autónoma em que o participante à medida que a simulação vai decorrendo e recebendo os estímulos correspondentes vai decifrando e comunicando os mesmos. Esta volta tem um total de 11 estímulos (Aceleração, Travagem, Aceleração, Travagem, Aceleração, Travagem, Esquerda, Direita, Travagem, Direita e Aceleração) aos quais o participante deverá decifrar e comunicar sendo que um valor de acerto de 100% significa que o participante acertou em todos os estímulos enviados e um valor de acerto de 0% significa que o participante não acertou qualquer dos 11 estímulos enviados.

A média de todos os participantes do Grupo Sem Cinto que utilizaram o cinto de segurança háptico, demonstra que os participantes acertaram um total de 10 o que perfaz uma percentagem de 95% ($\sigma = 10\%$).

5.4.2 Tempo de reação com e sem a utilização do cinto de segurança háptico

O tempo de reação foi medido através das gravações dos testes tendo sido identificados dois momentos, um primeiro tempo em que é dado o estímulo háptico e sinal sonoro de passagem de controlo para o condutor e o momento em que o participante reage produzindo um movimento de volante para a esquerda/direita ou pressionando o travão/acelerador do automóvel.

Para o primeiro cenário de teste (Cenário 1) verificou-se que o Grupo Sem Cinto apresentou um tempo de reação médio mais baixo com 00:02:27 segundos ($\sigma = 00:00:52$) que o Grupo com Cinto com 00:03:22 segundos ($\sigma = 00:00:42$).

Para o segundo cenário de teste (Cenário 2) verificou-se que o Grupo Sem Cinto apresentou um tempo de reação médio mais baixo com 00:01:49 segundos ($\sigma = 00:00:31$) que o Grupo com Cinto com 00:00:52 segundos ($\sigma = 00:00:52$).

Para o terceiro cenário de teste (Cenário 3) verificou-se que o Grupo Sem Cinto apresentou um tempo de reação médio mais baixo com 00:01:38 segundos ($\sigma = 00:00:47$) que o Grupo com Cinto com 00:02:58 segundos ($\sigma = 00:00:46$).

Foi ainda possível verificar através da análise dos resultados obtidos que para o Grupo Sem Cinto o tempo de reação médio é de 00:01:58 segundos e que para o Grupo com Cinto o tempo de reação médio é de 00:03:06 segundos. (Figura [5.11](#))

Ao realizar o teste T Student para amostras independentes e uma distribuição normal conclui-se que o tempo de reação apresenta melhorias significativas no tempo de reação para ambos os cenários sendo que o p calculado para o cenário 1

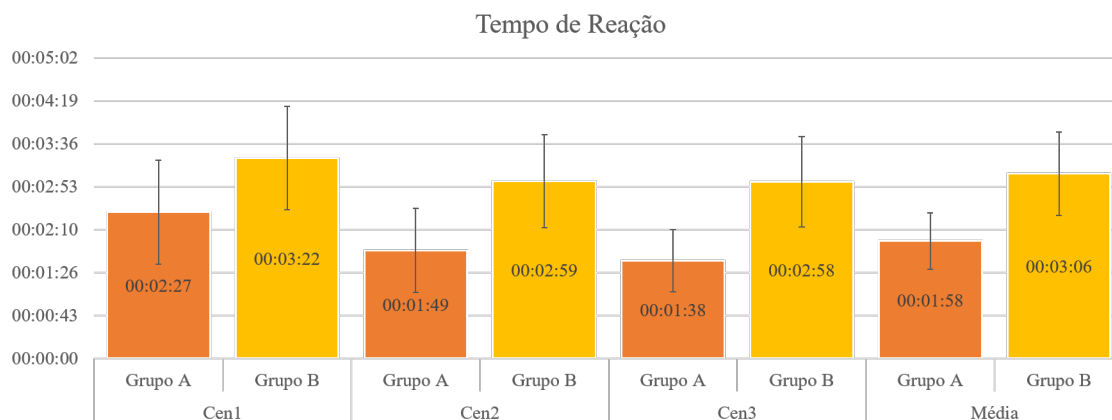


FIGURA 5.11: Tempo de Reação (Grupo A - Com Cinto de Segurança Háptico / Grupo B - Sem Cinto de Segurança Háptico)

é $p = (p < 0,05)$, para o cenário 2 é $p = (p < 0,05)$ e para o cenário 3 é $p = (p < 0,05)$. Assim a utilização do Cinto de Segurança Háptico permite que o condutor reaja mais rápido a assumir o controlo do automóvel em caso de necessidade de passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor.

5.4.3 Percentagem de ações tomadas corretamente com e sem a utilização do cinto de segurança háptico

A percentagem de ações tomadas corretamente foi calculada através das gravações dos testes tendo sido identificados os movimentos dos participantes aquando do sinal de passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor quer seja através um movimento de volante para a esquerda/direita ou pressionando o travão/accelerador do automóvel.

Para o primeiro cenário de teste (Cenário 1), a ação correta envolvia a interpretação do ambiente de condução sendo que o participante se aproxima de um cruzamento com semáforo vermelho pelo que a ação correta seria pressionar o pedal do travão. Os participantes do Grupo Sem Cinto receberam um estímulo háptico ao momento do sinal sonoro de passagem de controlo com a indicação do movimento correto. Verificou-se que para o primeiro cenário de teste (Cenário

1), o Grupo Sem Cinto apresentou uma percentagem de ações tomadas corretamente superior ao do Grupo com Cinto sendo que o Grupo Sem Cinto obteve uma percentagem de 80% e o Grupo com Cinto de 40%.

Para o segundo cenário de teste (Cenário 2), a ação correta envolvia a interpretação do ambiente de condução e do mapa sendo que o participante chega ao cruzamento onde o mapa indica que deve virar pelo que a ação correta seria movimentar o volante para a esquerda. Os participantes do Grupo Sem Cinto receberam um estímulo háptico ao momento do sinal sonoro de passagem de controlo com a indicação do movimento correto. Verificou-se que para o segundo cenário de teste (Cenário 2), o Grupo Sem Cinto apresentou uma percentagem de ações tomadas corretamente superior ao do Grupo com Cinto sendo que o Grupo Sem Cinto obteve uma percentagem de 90% e o Grupo com Cinto de 50%.

Para o terceiro cenário de teste (Cenário 3), a ação correta envolvia a interpretação do ambiente de condução sendo que o participante entra chega a uma situação em que se encontra uma zona de construção na faixa onde circula pelo que a ação correta seria movimentar o volante para a esquerda de forma a contornar a zona de construção. Os participantes do Grupo Sem Cinto receberam um estímulo háptico ao momento do sinal sonoro de passagem de controlo com a indicação do movimento correto. Verificou-se que para o terceiro cenário de teste (Cenário 3), o Grupo Sem Cinto apresentou uma percentagem de ações tomadas corretamente superior ao do Grupo com Cinto sendo que o Grupo Sem Cinto obteve uma percentagem de 80% e o Grupo com Cinto de 30%.

Em média verificou-se o Grupo Sem Cinto apresenta um valor percentagem de ações corretas de 83% já o Grupo com Cinto apresenta um valor percentagem de ações corretas de 40%, assim é possível verificar que os participantes que utilizaram o cinto de segurança háptico realizaram em média mais vezes a ação correta.

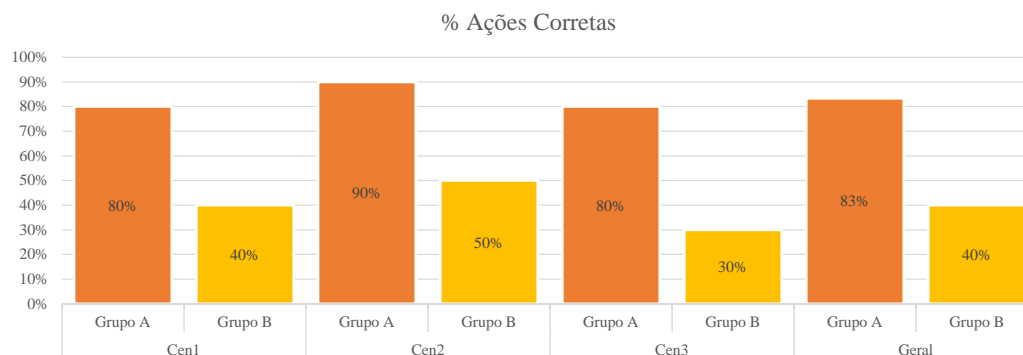


FIGURA 5.12: Ações tomadas corretamente com e sem a utilização do cinto de segurança háptico (Grupo A - Com Cinto de Segurança Háptico / Grupo B - Sem Cinto de Segurança Háptico)

5.4.4 Método SART

O método SART consiste num questionário de 10 questões, avaliadas pelo participante numa escala de 1 a 7, divididas em 3 categorias, o U (entendimento da situação), a D (demanda atencional) e o S (suprimento atencional).

Para o primeiro cenário de teste (Cenário 1), na categoria U (entendimento da situação) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 17,1 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 10,6, na categoria D (demanda atencional) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 8,7 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 7,9 e na categoria S (suprimento atencional) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 19,7 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 17,0.

Relativamente ao nível de SA para o primeiro cenário de teste (Cenário 1), o Grupo Sem Cinto apresenta um nível de SA em média de 28,1 ($\sigma = 5,9$) e o Grupo com Cinto apresenta um nível de SA em média de 19,7 ($\sigma = 2,8$). Assim concluiu-se que os participantes que utilizaram cinto de segurança háptico apresentam em média um maior nível de Situation Awareness. (Tabela 5.13)

Para o segundo cenário de teste (Cenário 2), na categoria U (entendimento da situação) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 17,2 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 15,0, na categoria D (demanda atencional)

verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 9,0 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 10,0 e na categoria S (suprimento atencional) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 20,0 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 14,0.

Relativamente ao nível de SA para o segundo cenário de teste (Cenário 2), o Grupo Sem Cinto apresenta um nível de SA em média de 28,2 ($\sigma = 5,7$) e o Grupo com Cinto apresenta um nível de SA em média de 19,0 ($\sigma = 2,7$). Assim conclui-se que os participantes que utilizaram cinto de segurança háptico apresentam em média um maior nível de Situation Awareness. (Tabela [5.13](#))

Para o terceiro cenário de teste (Cenário 3), na categoria U (entendimento da situação) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 16,8 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 9,0, na categoria D (demanda atencional) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 9,2 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 11,0 e na categoria S (suprimento atencional) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 19,9 e para o Grupo com Cinto o resultado foi de 18,0.

Relativamente ao nível de SA para o terceiro cenário de teste (Cenário 3), o Grupo Sem Cinto apresenta um nível de SA em média de 26,8 ($\sigma = 3,7$) e o Grupo com Cinto apresenta um nível de SA em média de 18,9 ($\sigma = 2,8$). Assim conclui-se que os participantes que utilizaram cinto de segurança háptico apresentam em média um maior nível de Situation Awareness. (Tabela [5.13](#))

No conjunto dos 3 cenários, em média, na categoria U (entendimento da situação) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 17,0 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 11,3, na categoria D (demanda atencional) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 9,2 e para o Grupo com Cinto o resultado foi 9,0 e na categoria S (suprimento atencional) verificou-se que para o Grupo Sem Cinto o resultado foi de 19,9 e para o Grupo com Cinto o resultado foi de 16,0.

Relativamente ao nível de SA para a média dos 3 cenários, o Grupo Sem Cinto apresenta um nível de SA em média de 27,7 ($\sigma = 4,5$) e o Grupo com Cinto apresenta um nível de SA em média de 19,2 ($\sigma = 2,2$). Ao realizar o teste T Student para amostras independentes e uma distribuição normal conclui-se que o tempo de reação apresenta melhorias significativas na Situation Awareness para ambos os cenários sendo que o p calculado para o cenário 1 é $p = (p < 0,05)$, para o cenário 2 é $p = (p < 0,05)$ e para o cenário 3 é $p = (p < 0,05)$. Assim conclui-se que os participantes que utilizaram cinto de segurança háptico apresentam em média um maior nível de Situation Awareness. (Figura 5.13)

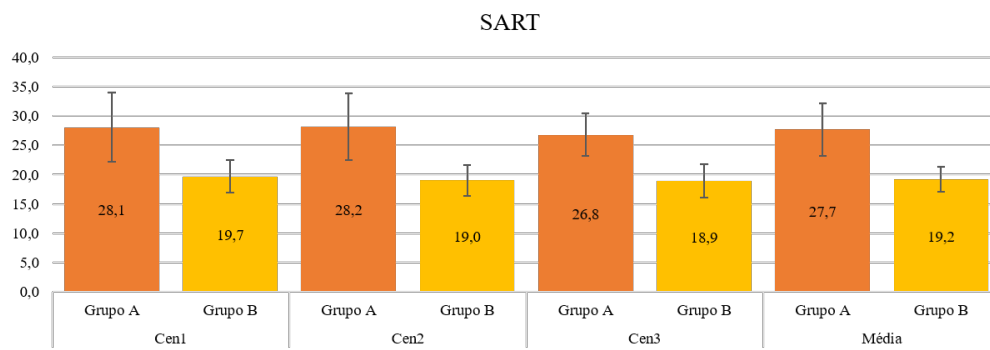


FIGURA 5.13: Resultados do Método SART na medição de SA (Situation Awareness) (Grupo A - Com Cinto de Segurança Háptico / Grupo B - Sem Cinto de Segurança Háptico)

5.4.5 Método SAGAT

O método SAGAT consiste um conjunto de questões que têm como alvo as necessidades dinâmicas do participante relativamente ao domínio de teste medindo assim a Situation Awareness. Após a realização de cada cenário de teste são administradas 3 questões relativas ao momento de passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor com intuito de entender o nível de percepção do condutor sobre o ambiente de condução aquando do alerta de passagem de controlo, sobre o que levou à passagem de controlo e sobre a ação a realizar.

O nível de Situation Awareness é calculado através da percentagem de respostas corretas, pelo que caso a percentagem seja de 100% (3 respostas corretas)

demonstra que o condutor estava consciente da situação tendo portando um nível elevado de Situation Awareness, caso a percentagem seja de 0% (0 respostas corretas) demonstra que o condutor não estava consciente da situação tendo, portanto, um nível baixo de Situation Awareness. (Tabela [5.14](#))

Para o primeiro cenário de teste (Cenário 1) verificou-se que a perceção do ambiente aquando do alerta de passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor no Grupo Sem Cinto foi de 70% o que significa que 7 das 10 pessoas que utilizaram cinto de segurança háptico obtiveram uma boa perceção do ambiente de condução aquando do alerta e no Grupo com Cinto foi de 40% o que significa que 4 das 10 pessoas que não utilizaram cinto de segurança háptico obtiveram uma boa perceção do ambiente de condução. Relativamente à perceção da causa da passagem de controlo verificou-se que o Grupo Sem Cinto obteve o resultado de 80% o que demonstra que 8 das 10 pessoas que utilizaram cinto de segurança háptico obtiveram uma boa perceção da causa que levou à passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor e que o Grupo com Cinto obteve o resultado de 50% o que demonstra que 5 das 10 pessoas que não utilizaram cinto de segurança háptico obtiveram uma boa perceção da causa que levou à passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor. Sobre a perceção da ação correta a tomar, verificou-se que o Grupo Sem Cinto obteve o resultado de 100% o que demonstra que todas as pessoas que utilizaram cinto de segurança háptico obtiveram uma boa perceção da ação correta a tomar e que o Grupo com Cinto obteve o resultado de 80% o que demonstra que 8 das 10 pessoas que utilizaram cinto de segurança háptico obtiveram uma boa perceção da ação correta a tomar.

Relativamente ao nível de SA para o primeiro cenário de teste (Cenário 1), o Grupo Sem Cinto apresenta um nível de SA em média de 83% ($\sigma = 24\%$) o que demonstra que 83% dos participantes do Grupo Sem Cinto obtiveram uma boa perceção do estado do automóvel aquando da passagem de controlo, da causa da passagem de controlo e da ação correta a realizar, já o Grupo com Cinto apresenta um nível de SA em média de 57% ($\sigma = 16\%$) o que demonstra que 57% dos participantes do Grupo com Cinto obtiveram uma boa perceção do estado do automóvel aquando da passagem de controlo, da causa da passagem de controlo

e da ação correta a realizar. Assim conclui-se que os participantes que utilizaram cinto de segurança háptico apresentam em média um maior nível de Situation Awareness. (Tabela 5.14)

Para o segundo cenário de teste (Cenário 2) verificou-se que a percepção do ambiente aquando do alerta de passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor no Grupo Sem Cinto foi de 70% e no Grupo com Cinto foi de 50%. Relativamente à percepção da causa da passagem de controlo verificou-se que o Grupo Sem Cinto obteve o resultado de 100% e que o Grupo com Cinto obteve o resultado de 70%. Sobre a percepção da ação correta a tomar, verificou-se que o Grupo Sem Cinto obteve o resultado de 90% e que o Grupo com Cinto obteve o resultado de 50%.

Relativamente ao nível de SA para o segundo cenário de teste (Cenário 2), o Grupo Sem Cinto apresenta um nível de SA em média de 87% ($\sigma = 23\%$), já o Grupo com Cinto apresenta um nível de SA em média de 57% ($\sigma = 16\%$). Assim conclui-se que os participantes que utilizaram cinto de segurança háptico apresentam em média um maior nível de Situation Awareness. (Tabela 5.14)

Para o terceiro cenário de teste (Cenário 3) verificou-se que a percepção do ambiente aquando do alerta de passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor no Grupo Sem Cinto foi de 90% e no Grupo com Cinto foi de 50%. Relativamente à percepção da causa da passagem de controlo verificou-se que o Grupo Sem Cinto obteve o resultado de 90% e que o Grupo com Cinto obteve o resultado de 90%. Sobre a percepção da ação correta a tomar, verificou-se que o Grupo Sem Cinto obteve o resultado de 90% e que o Grupo com Cinto obteve o resultado de 50%.

Relativamente ao nível de SA para o terceiro cenário de teste (Cenário 3), o Grupo Sem Cinto apresenta um nível de SA em média de 90% ($\sigma = 16\%$), já o Grupo com Cinto apresenta um nível de SA em média de 63% ($\sigma = 25\%$). Assim conclui-se que os participantes que utilizaram cinto de segurança háptico apresentam em média um maior nível de Situation Awareness. (Tabela 5.14)

No conjunto dos 3 cenários, em média, verificou-se que a percepção do ambiente aquando do alerta de passagem de controlo do sistema autónomo para o condutor no Grupo Sem Cinto foi de 77% e no Grupo com Cinto foi de 47%. Relativamente à percepção da causa da passagem de controlo verificou-se que o Grupo Sem Cinto obteve o resultado de 90% e que o Grupo com Cinto obteve o resultado de 70%. Sobre a percepção da ação correta a tomar, verificou-se que o Grupo Sem Cinto obteve o resultado de 93% e que o Grupo com Cinto obteve o resultado de 60%.

Relativamente ao nível de SA para a média dos 3 cenários, o Grupo Sem Cinto apresenta um nível de SA em média de 87% ($\sigma = 14\%$), já o Grupo com Cinto apresenta um nível de SA em média de 59% ($\sigma = 11\%$). Ao realizar o teste T Student para amostras independentes e uma distribuição normal conclui-se que o tempo de reação apresenta melhorias significativas na Situation Awareness para ambos os cenários sendo que o p calculado para o cenário 1 é $p = (p < 0,05)$, para o cenário 2 é $p = (p < 0,05)$ e para o cenário 3 é $p = (p < 0,05)$. Assim conclui-se que os participantes que utilizaram cinto de segurança háptico apresentam em média um maior nível de Situation Awareness. (Tabela [5.14](#))

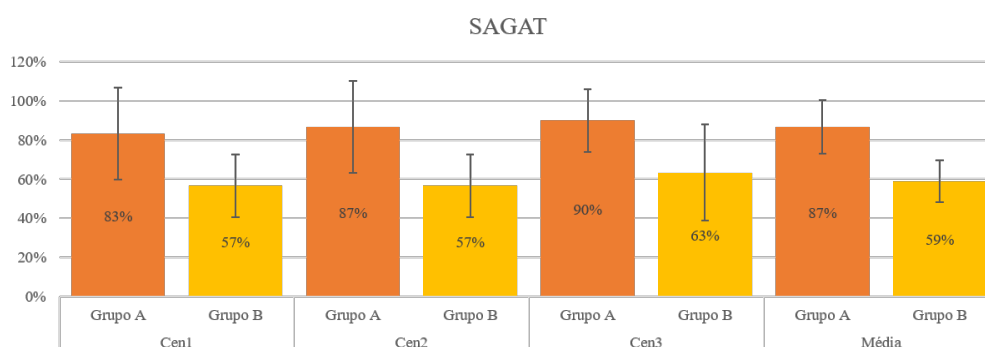


FIGURA 5.14: Resultados do Método SAGAT na medição de SA (Situation Awareness) (Grupo A - Com Cinto de Segurança Háptico / Grupo B - Sem Cinto de Segurança Háptico)

5.4.6 Classificação Cinto de Segurança Háptico (Intrusivo/-Complexidade/Percetibilidade)

Com o propósito de classificar o Cinto de Segurança Háptico em 3 dimensões, Intrusivo, Complexidade e Percetibilidade disponibilizou-se um questionário aos participantes para estes classificarem o cinto de segurança háptico de 1 a 7 nas 3 dimensões.

Para a dimensão Intrusivo, a classificação 1, mais baixa, significa que o cinto de segurança háptico promove a realização de outras tarefas mantendo a consciência do estado do veículo, já a classificação 7 significa que o protótipo impede a realização de outras tarefas.

Para a dimensão Complexidade, a classificação 1, mais baixa, significa que os padrões são fáceis de entender e intuitivos o suficiente não envolvendo um esforço extra de interpretação, já a classificação 7 significa que os padrões de estímulos são difíceis de entender e é necessário um esforço extra de interpretação.

Para a dimensão Percetibilidade, a classificação 1, mais baixa, significa que os estímulos enviados via cinto de segurança háptico são pouco perceptíveis, já a classificação 7 significa que os estímulos enviados via cinto de segurança háptico são perceptíveis.

A média de todos os participantes do Grupo Sem Cinto que utilizaram o cinto de segurança háptico, demonstra que o cinto de segurança háptico apresenta um nível 3 de Intrusivo ($\sigma = 0,8$) e um nível 2 ($\sigma = 0,7$) de Complexidade numa escala de 1 a 7 o que significando que o cinto de segurança háptico é pouco intrusivo e de baixa complexidade.

Já relativamente ao nível de Percetibilidade verificou-se que a média de todos os participantes do Grupo Sem Cinto que utilizaram o cinto de segurança háptico foi de 5,2 ($\sigma = 1,5$) numa escala de 1 a 7 significando que os estímulos enviados via cinto de segurança háptico são perceptíveis.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões e propostas de trabalho futuro.

6.1 Conclusões

Apesar dos avanços na tecnologia de condução autónoma, os sistemas existentes oferecem assistência ao condutor e não uma automação completa e autónoma podendo ocasionalmente ou em situações mais complexas ser chamado a assumir o controlo do automóvel. Para que tal aconteça de forma segura é necessário que o condutor adquira Situation Awareness num reduzido período de tempo, com pouco tempo de reação [10].

Este trabalho de investigação vai de encontro aos objetivos definidos tendo sido desenvolvido um dispositivo háptico adaptável ao cinto de segurança dos automóveis e um dicionário de estímulos. Este dispositivo envia estímulos via canal háptico com informação do ambiente de condução permitindo assim que o condutor consiga estar focado em tarefas para além da condução mantendo a consciência do que se está a passar à sua volta. Desta forma o condutor aquando da passagem de controlo tem mais informação para tomar a decisão da ação a realizar de forma mais rápida e segura.

Os testes realizados indicam no geral uma tendência de melhoria da percepção do condutor sobre o ambiente de condução (SA), do tempo de reação e da tomada de decisão por parte do condutor com a utilização do cinto de segurança háptico.

Relativamente ao dispositivo háptico foram realizados testes que parecem indicar uma receção por parte dos utilizadores em termos do nível de intrusivo e de complexidade dos estímulos enviados tendo os participantes classificado os estímulos pouco intrusivos (1,8/7) e as sequências de baixa complexidade (2/7), verificou-se ainda que os participantes decifraram corretamente 95 % dos estímulos enviados o que demonstra que os estímulos são intuitivos o suficiente para que sejam facilmente perceptíveis pelo condutor.

O dispositivo desenvolvido visa mitigar um problema existente apresentando uma solução inovadora ao distribuir a carga de informação dos canais sonoro e visual para o canal háptico, permitindo ao condutor realizar outras tarefas sem entrar em conflito de recursos [66]. A solução desenvolvida passa por um cinto de segurança háptico adaptável sem necessidade de utilização de *wearables* adicionais e sem necessidades de alteração da estrutura do automóvel, permitindo que o condutor do semiautónomo possa focar-se noutras tarefas mantendo a percepção do ambiente do condução e portanto a segurança.

6.2 Trabalho Futuro

Decorrente da realização deste trabalho surgem algumas pontos que podem ser desenvolvidos por forma a enriquecer a investigação. Estes pontos focam-se principalmente na forma de teste e na integração com o computador de bordo / sistema de condução autónoma.

Relativamente à forma de teste, a simulação em ambiente real proporcionaria a recolha de informação mais real e fidedigna e a utilização de um simulador mais realista como o instalado no Texas A&M Transportation Institute [5] facilitaria não só a recolha de informação mais fidedigna como promoveria ainda um ambiente de teste e resultados mais reais. A utilização deste tipo de simuladores possibilitaria ainda a recolha de informação relativa ao condutor (por exemplo: *Eye Tracking*, frequência cardíaca e resposta galvânica da pele) o que permitiria inferir ainda sobre o nível de atenção, concentração e stress do condutor. Ainda, relativamente à roupa dos participantes aquando do teste, poderia ser igual e de camada fina por forma a minimizar as diferenças causadas pela diferença de materiais e grossura da roupa.

Relativamente à integração com o computador de bordo / sistema de condução autónoma será o próximo passo possibilitar a integração desta solução háptica em ambiente real num automóvel semiautónomo.

Anexos

Anexo A

Mapas de Sequência de Estímulos de Vibração

	Motores de Vibração**				
Momento*	W4	W3	WM	W2	W1
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1

TABELA A.1: Mapa de estímulo de viragem à direita, W1-W4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura [4.1](#)

Momento*	Motores de Vibração**				
	W4	W3	WM	W2	W1
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0
3	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0
5	1	0	0	0	0

TABELA A.2: Mapa de estímulo de viragem à Esquerda, W1-W4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1

TABELA A.3: Mapa de Abrandamento, W1-W4

Momento*	Motores de Vibração**				
	W4	W3	WM	W2	W1
1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2	0	0	0	0	0
3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

TABELA A.4: Mapa de estímulo de Abrandamento, W1-W4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1

Momento*	Motores de Vibração**			
	H4	H3	H2	H1
1	0,5	0,5	0,5	0,5
2	0	0	0	0
3	0,5	0,5	0,5	0,5
4	0	0	0	0

TABELA A.5: Mapa de estímulo de Abrandamento, H1-H4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1

Momento*	Motores de Vibração**				
	W4	W3	WM	W2	W1
1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
4	1	1	1	1	1

TABELA A.6: Mapa de estímulo de Aceleração, W1-W4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1

Momento*	Motores de Vibração**			
	H4	H3	H2	H1
1	0,25	0,25	0,25	0,25
2	0,5	0,5	0,5	0,5
3	0,75	0,75	0,75	0,75
4	1	1	1	1

TABELA A.7: Mapa de estímulo Aceleração, H1-H4. *A duração do Estímulo encontra-se dividida em Momentos; ** Os motores de vibração estão divididos como demonstra a Figura 4.1

Anexo B

Questionário Demográfico

ID	Questão	Respostas					
Q1	Idade	18 - 28					
		29 - 39					
		40 - 50					
		51 - 61					
Q2	Tem carta de condução?	Sim, há mais de 5 anos					
		Sim, há menos de 5 anos					
		Não					
Q3	Conduz regularmente?	Sim, todos os dias.					
		Sim, 3 vezes por semana.					
		Não					
Q4	Como está equipado o automóvel que conduz mais frequentemente?	Caixa de velocidades automática					
		Sistema de navegação					
		Cruise control					
		Cruise control adaptativo					
		Sistema de manutenção na faixa de rodagem					
		Reconhecimento de sinais de trânsito					
		Ecrã head-up (HUD)					
		Sensores laterais / frontais / traseiros					
		Estacionamento automático em paralelo					
Outro equipamento relacionado:							
Q5	Ao ver um programa de televisão ou ler um livro as pessoas têm problemas a chamar a sua atenção?	Facilidade Dificuldade					
		<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">6</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">7</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	
Q6	Ao ver um filme envolve-se ao ponto de não perceber o que está a acontecer em seu redor?	Muita perceção Sem perceção					
		<table style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">3</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">4</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">5</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">6</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">7</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7	

Anexo C

Questionário SART

ID	Questão	Baixa	Alta
Q1	Quão instável é a situação? A situação é altamente instável e tende a mudar repentinamente (Alta) ou é bastante estável e clara (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7	
Q2	Quão complexa é a situação? É complexa com muitos componentes inter-relacionados (Alta) ou é simples e direta (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7	
Q3	Quantas variáveis são alteradas na situação? Há um grande número de fatores a ser alterados (Alta) ou há poucas variáveis a ser alteradas?	1 2 3 4 5 6 7	
Q4	Quão desperto está na situação? Está alerta e preparado para atividade (Alta) ou tem um nível baixo de alerta (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7	
Q5	Quão está concentrado na situação? Está concentrado na situação e a acompanhar a evolução (Alta) ou disperso entre a situação e outras ocorrências ao seu redor (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7	
Q6	Quão está a atenção distribuída na situação? Está concentrado em vários aspetos relevantes da situação (Alta) ou apenas em um (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7	
Q7	Quanta capacidade mental tem para receber mais informação? Tem capacidade mental para receber várias informações (Alta) ou não tem (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7	
Q8	Quanta informação adquiriu sobre a situação? Adquiriu uma boa quantidade de informação e a entendeu (Alta) ou pouca informação (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7	

Anexo C. *Questionário SART*

ID	Questão	Baixa	Alta
Q9	Quanta informação conseguiu assimilar/interpretar sobre a situação? Assimilou/interpretou uma quantidade grande de informação (Alta) ou pouca informação (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7 └───┬───┬───┬───┬───┬───┬───┘	
Q10	Quão familiar era a situação? Tinha bastante experiência com a situação, já a viu várias vezes (Alta) ou era uma situação inédita (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7 └───┬───┬───┬───┬───┬───┬───┘	
Q11	Quão útil foi a informação recebida? Ajudou a resolver a situação (Alta) ou foi indiferente (Baixa)?	1 2 3 4 5 6 7 └───┬───┬───┬───┬───┬───┬───┘	
Q12	A interpretação dos estímulos recebidos foi natural, automático, intuitivo e coerente (Baixo), ou necessitou de muita análise, raciocínio, conceituações ou pensamento muito abstrato (Alto)?	1 2 3 4 5 6 7 └───┬───┬───┬───┬───┬───┬───┘	

Anexo D

Questionário SAGAT

ID	Questão	Respostas
Q1	Quando foi alertado para a passagem de controlo automático para manual qual o estado do automóvel?	A virar à direita
		A virar à esquerda
		Em aceleração
		Em abrandamento
Q2	Qual a causa que levou o sistema a passar o controlo para o condutor?	Condições de sinalização da estrada
		Condições meteorológicas
		Zona de construção
		Viatura de emergência a passar
Q3	Qual a ação correta a tomar aquando da passagem de controlo automático para manual?	Virar à direita
		Virar à esquerda
		Acelerar
		Abrandar

Anexo E

Questionário de *User Experience*

ID	Questão	Baixa	Alta					
Q1	Quão intrusivo é o protótipo? O protótipo impede a realização de outras tarefas (Alta) ou promove a realização de outras tarefas mantendo a consciência do estado do veículo (Baixa)?	1	2	3	4	5	6	7
Q2	Quão complexos são os padrões de estímulos? Os padrões de estímulos são difíceis de entender e é necessário um esforço extra (Alta) ou os padrões são fáceis de entender e intuitivos o suficiente não envolvendo um esforço extra (Baixa)?	1	2	3	4	5	6	7
Q3	Quão intensos são os estímulos? Os estímulos são muito intensos tornando-se intrusivo (Alta) ou os estímulos são pouco intensos não sendo perceptíveis (Baixa)?	1	2	3	4	5	6	7

Anexo F

Diagrama Completo de Procedimentos de Teste

O procedimento de teste é composto por 5 fases e 4 questionários, o universo de participantes encontra-se dividido em 2 grupos de participantes sendo que o Grupo 2 apresenta mais duas fases que o Grupo 1. (Figura F.1)

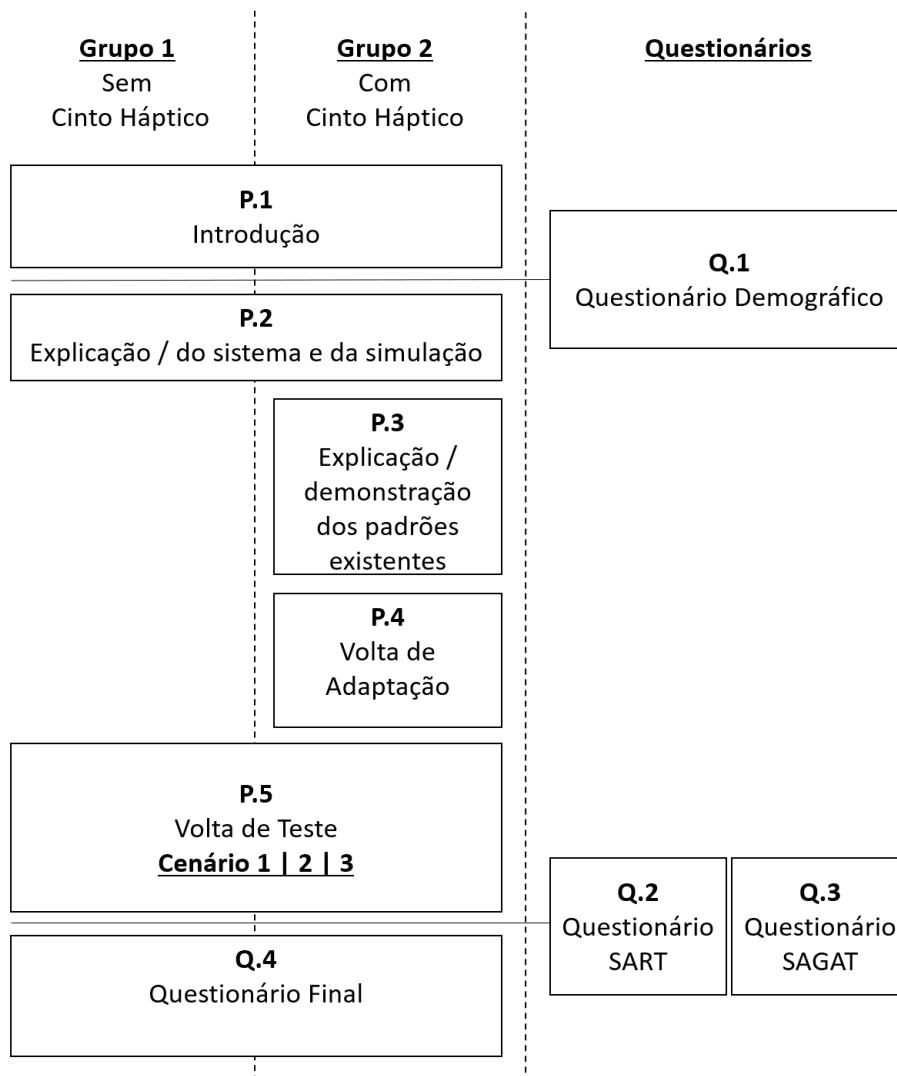


FIGURA F.1: Diagrama Completo de Procedimentos de Teste

Anexo G

Relação entre procedimentos, objetivos e resultados

Procedimento	Objetivo	Resultado
P.1 Introdução	N/A	N/A
Q.1 Questionário Demográfico	N/A	N/A
P.2 Explicação do sistema e da simulação	N/A	N/A
P.3 Explicação / demonstração dos padrões existentes	N/A	N/A
P.4 Volta de Adaptação	O.1 Validar se os estímulos são percebidos corretamente	R.1 % de perceção correta dos estímulos enviados via cinto de segurança háptico.
P.5 Volta de Teste	O.2 Medir o tempo o tempo entre um alerta de passagem de controlo do automóvel para o condutor e a tomada de controlo manual do automóvel (tempo de reação); O.3 Validar se a ação tomada pelo condutor aquando da tomada de posse é a mais correta;	R.2 Comparar o tempo de reação com e sem a utilização do cinto de segurança háptico; R.3 Comparar a ação tomada com o uso de cinto de segurança háptico e sem o uso do mesmo;
Q.2 Questionário SART	O.4 Avaliar a Situation Awareness	R.4 Situation Awareness (SART & SAGAT)
Q.3 Questionário SAGAT	O.4 Avaliar a Situation Awareness	R.4 Situation Awareness (SART & SAGAT)
Q.4 Questionário Final	O.5 Concluir sobre o nível intrusivo, complexo e impercetível do cinto de segurança háptico	R.5 Nível de intrusivo, de complexidade e de percetibilidade do dispositivo háptico

TABELA G.1: Relação entre procedimentos, objetivos e resultados

Bibliografia

- [1] Lilypad vibe board hookup guide. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/lilypad-vibe-board-hookup-guide/all>. (Accessed on 05/31/2020).
- [2] Photon wearable shield hookup guide. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/photon-wearable-shield-hookup-guide/all>. (Accessed on 06/02/2020).
- [3] Photon wifi development board. Available: <https://store.particle.io/products/photon>. (Accessed on 05/31/2020).
- [4] Technology – waymo. Available: <https://waymo.com/tech/>. (Accessed on 05/31/2020).
- [5] Tti driving simulator. <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/tti-driving-simulator.pdf>. (Accessed on 08/31/2020).
- [6] NHTSA National Highway Traffic Safety Administration. Highly automated or “self-driving” vehicles. 2019. (Accessed on 05/31/2020).
- [7] Anders Billesø Beck, Claus Risager, Nils A Andersen, and Ole Ravn. Spacio-temporal situation assessment for mobile robots. In *14th International Conference on Information Fusion*, pages 1–8. IEEE, 2011.
- [8] Shlomo Breznitz. *Cry wolf: The psychology of false alarms*. Psychology Press, 2013.

- [9] John L Campbell, James L Brown, Justin S Graving, Christian M Richard, Monica G Lichty, L Paige Bacon, Justin F Morgan, Hong Li, Diane N Williams, and Thomas Sanquist. Human factors design guidance for level 2 and level 3 automated driving concepts. Technical report, NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), 2018.
- [10] Stephen M Casner, Edwin L Hutchins, and Don Norman. The challenges of partially automated driving. 2016.
- [11] Samuel G Charlton and Thomas G O'Brien. *Handbook of human factors testing and evaluation*. CRC Press, 2019.
- [12] Jaemin Chun, In Lee, Gunhyuk Park, Jongman Seo, Seungmoon Choi, and Sung H Han. Efficacy of haptic blind spot warnings applied through a steering wheel or a seatbelt. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21:231–241, 2013.
- [13] European Commission. On the road to automated mobility: An eu strategy for mobility of the future. May 2018.
- [14] Simon Cooper, Joanne Porter, and Linda Peach. Measuring situation awareness in emergency settings: a systematic review of tools and outcomes. *Open access emergency medicine: OAEM*, 6:1, 2014.
- [15] Mary L Cummings, Ryan M Kilgore, Enlie Wang, Louis Tijerina, and Dev S Kochhar. Effects of single versus multiple warnings on driver performance. *Human factors*, 49(6):1097–1106, 2007.
- [16] Vinayak V Dixit, Sai Chand, and Divya J Nair. Autonomous vehicles: disengagements, accidents and reaction times. *PLoS one*, 11(12):e0168054, 2016.
- [17] Valérie Duthoit, Jean-Marc Sieffermann, Eric Enrègle, and David Blumenthal. Perceived intensity of vibrotactile stimuli: do your clothes really matter? In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*, pages 412–418. Springer, 2016.

- [18] Mica R Endsley. Sagat: A methodology for the measurement of situation awareness (nor doc 87-83). *Hawthorne, CA: Northrop Corporation*, 1987.
- [19] Mica R Endsley. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, 37(1):32–64, 1995.
- [20] Mica R Endsley, Stephen J Selcon, Thomas D Hardiman, and Darryl G Croft. A comparative analysis of sagat and sart for evaluations of situation awareness. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, volume 42, pages 82–86. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 1998.
- [21] EPoSS ERTRAC and ETIP SNET. Ertrac automated driving roadmap. *ER-TRAC Working Group*, 7, 2017.
- [22] EuroRAP. Roads that Cars Can Read: A quality standard for road markings and traffic signs on major rural roads. 2013.
- [23] Gregory M Fitch, Jonathan M Hankey, Brian M Kleiner, and Thomas A Dingus. Driver comprehension of multiple haptic seat alerts intended for use in an integrated collision avoidance system. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 14(4):278–290, 2011.
- [24] Jessica Assunção Pinto Freitas. Desenho e regulação de redes viárias: Desafios colocados pelos veículos autónomos. Master’s thesis, Universidade de Coimbra, 2019.
- [25] SC Gandevia, Gabrielle M Allen, Jane E Butler, and Janet L Taylor. Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex. *The Journal of physiology*, 490(2):529–536, 1996.
- [26] Frank A Geldard. *Sensory saltation: Metastability in the perceptual world*. Lawrence Erlbaum, 1975.
- [27] Mokrane Hadj-Bachir and Philippe De Souza. Lidar sensor simulation in adverse weather condition for driving assistance development. 2019.

- [28] Kelly Hale. Enhancing situational awareness through haptics interaction in virtual environment training systems. 2006.
- [29] William E Hick. On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of experimental psychology*, 4(1):11–26, 1952.
- [30] Jabil Inc. Advanced Driver Assistance Systems.
- [31] Antti Jylhä, Yi-Ta Hsieh, Valeria Orso, Salvatore Andolina, Luciano Gamberini, and Giulio Jacucci. A Wearable Multimodal Interface for Exploring Urban Points of Interest. In *Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction - ICMI '15*, pages 175–182, Seattle, Washington, USA, 2015. ACM Press.
- [32] Joshua S Kennedy and David B Durbin. Human factors assessment of the uh-60m crew station during the early user demonstration number 2 (eud2). Technical report, Army Research Lab Aberdeen Proving Ground MD, 2005.
- [33] Jaruwat Klamklay and Patrick E Patterson. Task performance and situation awareness: The role of memory limitations. *Individual differences and situation awareness*, page 85, 2002.
- [34] CVEL (Clemson Vehicular Electronics Laboratory). Driver alertness monitoring. https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/systems/driver_alertness.html, 2019. (Accessed on 05/31/2020).
- [35] Susan J Lederman and Roberta L Klatzky. Haptic perception: A tutorial. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(7):1439–1459, 2009.
- [36] John D Lee, Daniel V McGehee, Timothy L Brown, and Michelle L Reyes. Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator. *Human factors*, 44(2):314–334, 2002.
- [37] Precision Microdrives Limited. Shaftless vibration motor | datasheets. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/310-101_

- [datasheet.pdf?_ga=2.13544183.1726921441.1592240190-1901012513.1590926163](#). (Accessed on 06/15/2020).
- [38] Tommaso Lisini, Gianluca Paolucci, and Domenico Prattichizzo. Human Guidance: Suggesting Walking Pace Under Workload. pages 416–427. June 2018.
- [39] Jack M Loomis and Susan J Lederman. Tactual perception. *Handbook of perception and human performances*, 2(2):2, 1986.
- [40] Ruiqi Ma and David B. Kaber. Situation awareness and workload in driving while using adaptive cruise control and a cell phone. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(10):939–953, October 2005.
- [41] Mark Martinez, Chawin Sitawarin, Kevin Finch, Lennart Meincke, Alex Yablonski, and Alain Kornhauser. Beyond grand theft auto v for training, testing and enhancing deep learning in self driving cars. *arXiv preprint arXiv:1712.01397*, 2017.
- [42] David Meister. *Human factors testing and evaluation*. Elsevier, 2014.
- [43] Tesla Motors. Model s owner’s manual. 31:226, 2020.
- [44] Euro NCAP. Euro ncap | #testingautomation. Available: <https://www.euroncap.com/en/press-media/press-releases/testingautomation/>, 2018. (Accessed on 10/10/2019).
- [45] California DMV (Department of Motor Vehicles). 2019 autonomous mileage reports (csv). Available: <https://www.dmv.ca.gov/portal/wcm/connect/97c8391d-0cef-4d3e-8acd-0ded876fd364/2019AutonomousMileageReports.csv?MOD=AJPERES&CVID=>.
- [46] California DMV (Department of Motor Vehicles). 2019 autonomous vehicle disengagement reports (csv). Available: <https://www.dmv.ca.gov/portal/wcm/connect/d43930a9-54ab-4525-af0b-d3a9462af747/2019AutonomousVehicleDisengagementReports.csv?MOD=AJPERES&CVID=>.
- [47] California DMV (Department of Motor Vehicles). 2019 autonomous vehicle disengagement reports. 2019.

- [48] Particle. Android sdk | particle. Available: <https://docs.particle.io/reference/SDKs/android/>. (Accessed on 06/15/2020).
- [49] Particle. Console | particle. Available: <https://docs.particle.io/tutorials/device-cloud/console/>. (Accessed on 06/15/2020).
- [50] Particle. Particle channel on ifttt | particle. Available: <https://docs.particle.io/tutorials/integrations/ifttt/>. (Accessed on 06/15/2020).
- [51] Particle. Photon datasheet | datasheets | particle. Available: <https://docs.particle.io/datasheets/wi-fi/photon-datasheet/>. (Accessed on 05/31/2020).
- [52] Particle. Web ide | tutorials | particle. Available: <https://docs.particle.io/tutorials/developer-tools/build/#web-ide>. (Accessed on 06/15/2020).
- [53] Miriam Reiner. Conceptual construction of fields through tactile interface. *Interactive Learning Environments*, 7(1):31–55, 1999.
- [54] Eduardo N Satuf. *Utilização de Técnicas de Medição de Consciência Situacional para Avaliar Interface Ecológica de Alarmes*. PhD thesis, Tese de Doutorado). COPPE, UFRJ, 2016.
- [55] Tatjana Seizova-Cajic, Janette L Smith, Janet L Taylor, and Simon C Gandevia. Perception of movement extent depends on the extent of previous movements. *Experimental brain research*, 195(1):167–172, 2009.
- [56] Youngbo Aram Shim, Keunwoo Park, and Geehyuk Lee. Using poke stimuli to improve a 3x3 watch-back tactile display. In *Proceedings of the 21st International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, pages 1–8, 2019.
- [57] John Sibert, Jeff Cooper, Christopher Covington, Aleksandar Stefanovski, Darby Thompson, and Robert W Lindeman. Vibrotactile feedback for enhanced control of urban search and rescue robots. In *Proceedings of the IEEE*

- International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, Gaithersburg, MD, USA*, pages 22–24, 2006.
- [58] Aaron E Sklar and Nadine B Sarter. Good vibrations: Tactile feedback in support of attention allocation and human-automation coordination in event-driven domains. *Human factors*, 41(4):543–552, 1999.
- [59] Bryant Walker Smith. Sae levels of driving automation. <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2013/12/sae-levels-driving-automation>, 2013. (Accessed on 05/31/2020).
- [60] SMMT and FROST & SULLIVAN. Connected and autonomous vehicles 2019 report / winning the global race to market, 2019.
- [61] Laura D Strater, Mica R Endsley, Robert J Pleban, and Michael D Matthews. Measures of platoon leader situation awareness in virtual decision-making exercises. Technical report, TRW INC FAIRFAX VA SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGY GROUP, 2001.
- [62] F. Tarada. Safety of Innovative Vehicles in Tunnels». *Tunnels and Tunnelling International, February*, pages 37–42, 2017.
- [63] Richard M Taylor. Situational awareness rating technique (sart): The development of a tool for aircrew systems design. In *Situational awareness*, pages 111–128. Routledge, 2017.
- [64] Arie Paul van den Beukel. Driving automation interface design: supporting drivers’ changing role. 2016.
- [65] MW Van Someren, YF Barnard, and JAC Sandberg. The think aloud method: a practical approach to modelling cognitive. *London: AcademicPress*, 1994.
- [66] Christopher D. Wickens. Multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3):449–455, June 2008.
- [67] Earl L Wiener. Human factors in cockpit automation: A field study of flight crew transition. 1985.