

DM

Interação com Sistema de Infotainment de um Veículo, Implementação e Avaliação de Gestos e Técnicas Hápticas

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marco Aurélio Câmara Lima

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

dezembro | 2020

Interação com Sistema de Infotainment de um Veículo, Implementação e Avaliação de Gestos e Técnicas Hápticas

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marco Aurélio Câmara Lima

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

ORIENTAÇÃO

Filipe Magno Gouveia Quintal



Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia
Mestrado em Engenharia Informática
Ano letivo 2019-2020

**Interação com Sistema de *Infotainment* de um Veículo,
Implementação e Avaliação de Gestos e Técnicas Hápticas**

Dissertação de Mestrado para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Informática

Marco Aurélio Câmara Lima

Orientador

Filipe Magno Gouveia Quintal

Constituição do júri de provas públicas

Karolina Baras, (Professora Auxiliar da Universidade da Madeira), Presidente

Pedro Filipe Pereira Campos, (Professor Associado com Agregação da Universidade da Madeira), Arguente

dezembro 2020

Resumo

Atualmente, a maioria dos fabricantes automóveis incorpora um ecrã tátil no sistema de *infotainment* dos seus veículos. Ao contrário de interfaces tradicionais, compostas por controlos físicos e tangíveis, como botões, os ecrãs tácteis não permitem receber *feedback* tátil sobre o posicionamento, forma, ou outras características dos controlos. Isto leva a que a interação com estes dispositivos requeira a atenção visual do utilizador. Sendo a condução uma tarefa principalmente visual, constata-se que o uso destes sistemas modernos leva a um aumento da distração do condutor e, consequentemente, do risco de acidente ou quase-acidente.

Para resolver estas desvantagens, este trabalho teve como objetivo a criação de um sistema inovador que permita interagir com o ecrã tátil de um sistema de *infotainment* moderno de uma forma mais intuitiva e com menos dependência da atenção visual do utilizador. Para tal, foi idealizado e desenvolvido um sistema composto por dois módulos – um módulo responsável pela interação com o ecrã tátil, e um módulo responsável por proporcionar *feedback* háptico ao utilizador. O primeiro módulo consiste num sistema de rastreio da mão que permite traduzir o gesto de apontar para o ecrã em uma posição discreta, permitindo fornecer *feedback* ao utilizador antes de realizar o toque. O segundo módulo consiste num conjunto de atuadores hápticos montados no volante, onde o condutor assenta a sua mão esquerda. Este módulo permite transmitir informação pertinente na forma de padrões de vibração. Os módulos foram desenvolvidos independentemente e integrados no sistema final após as iterações necessárias.

O sistema foi avaliado através de um conjunto de tarefas comuns realizadas nos sistemas de *infotainment*, e foi comparado com a interação tradicional com estes sistemas, sem qualquer tipo de *feedback* háptico ou método de interação invulgar. Foram registadas métricas relevantes, tais como número de desvios visuais para fora da estrada, duração total desses desvios, desvio na condução, e carga de trabalho subjetiva.

O sistema alcançou as expectativas, levando a uma melhoria em várias das métricas registadas, e não piorou a qualidade da condução nem a carga subjetiva de trabalho, apesar de introduzir *feedback* e uma nova técnica de interação.

Abstract

Nowadays, most carmakers incorporate touchscreens in their vehicles' infotainment system. Unlike traditional interfaces, with tangible, physical controls, like buttons, touchscreens aren't capable of transmitting tactile feedback about the controls' positioning, shape, or other physical characteristics. This means that interacting with these devices requires the user's visual attention. As driving is a mainly visual task, using these systems leads to increased driver distraction and, consequently, increased risk of accident or near-accident.

To solve these disadvantages, this body of work's main focus was creating an innovative system that allows interacting with a modern infotainment system's touchscreen in a more intuitive fashion that requires less visual attention by the user. To accomplish this goal, a system was idealized, composed by two modules – a module responsible for the interaction with the touchscreen, and a module responsible for providing the user with haptic feedback. The first module consists of a system that tracks the user's hand and translates the pointing gesture to a discrete position on the screen, allowing the system to provide feedback before the user touches the screen. The second module consists of a set of haptic actuators mounted on the steering wheel, where the driver rests his/her left hand. This module allows the transmission of relevant information in the form of vibration patterns. The modules were developed independently and integrated in the final system after the necessary iterations.

The system was evaluated through a set of tasks commonly performed in infotainment systems, and was compared against traditional interaction with these systems, without any type of feedback or unusual interaction method. Relevant metrics, such as number of glances outside the road, the total duration of those glances, driving deviation, and subjective workload, were recorded.

The system met expectations, leading to improvements across several of the recorded metrics, and did not negatively affect driving performance or the subjective workload, despite introducing feedback and a new interaction technique.

Agradecimentos

Antes de tudo, agradeço profundamente ao meu orientador, professor Dr. Filipe Quintal, por toda a disponibilidade, ajuda e orientação prestada durante o trabalho realizado no âmbito deste projeto.

À minha mãe e irmã, um grande obrigado por tornarem possível alcançar esta meta e por me acompanharem ao longo deste percurso.

Deixo um agradecimento especial à minha namorada por me incentivar a finalizar a tese e por me ajudar nos momentos difíceis. Obrigado.

Agradeço também aos meus colegas, amigos e parceiros de curso que estiveram comigo ao longo destes 5 anos.

Finalmente, estou muito agradecido a todas as pessoas que participaram nas avaliações deste projeto e contribuíram, direta ou indiretamente, para o seu desenvolvimento.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Problema	3
1.2. Solução Proposta.....	5
1.3. Estrutura do Documento.....	6
2. Revisão de Literatura.....	9
2.1. Sistemas de Infotainment	9
2.1.1. Sistemas Comerciais	11
2.1.2. Android Auto e Apple CarPlay	12
2.2. Técnicas de Interação com <i>Infotainment</i>	13
2.2.1. Interação Direta	13
2.2.2. Interação Indireta.....	15
2.3. <i>Feedback</i> Háptico.....	16
2.3.1. Contexto Automóvel	16
2.4. Sensibilidade da Mão a <i>Feedback</i> Háptico	19
2.5. Posição das Mãos no Volante.....	20
2.6. Avaliação - <i>Lane Change Test</i> (LCT)	21
2.6.1. Configurações Comuns de Avaliação	24
2.7. Conclusões e Solução.....	26
3. Módulo de <i>Feedback</i> Háptico	29
3.1. Matriz de Atuadores Hápticos.....	29
3.1.1. Montagem.....	30
3.1.2. Funcionamento	31
3.1.3. Avaliação.....	33
3.1.3.1. Procedimento - Introdução	35

3.1.3.2. Procedimento - Treino.....	35
3.1.3.3. Procedimento - Teste com Dispositivo	35
3.1.3.4. Procedimento - Questionário NASA TLX	36
3.1.3.5. Procedimento - Entrevista	36
3.1.4. Participantes	37
3.1.5. Resultados e Análise	37
3.1.6. Sumário	41
3.2. Cruz de Atuadores Hápticos.....	41
3.2.1. Montagem.....	42
3.2.2. Funcionamento	43
3.2.3. Procedimento de Teste	45
3.2.4. Participantes	45
3.2.5. Resultados e Análise	46
3.2.6. Matriz vs Cruz de Atuadores Hápticos.....	49
3.2.7. Sumário	51
4. Módulo de Interação com TouchScreen	53
4.1. Rastreo da Mão	53
4.1.1. Montagem.....	54
4.1.2. Métodos de Rastreo.....	55
4.2. Interfaces de Utilizador	58
5. Sistema InfoSteer.....	61
5.1. Ambiente de Teste.....	62
5.1.1. Rastreo Visual	64
5.2. Avaliação.....	64
5.2.1. Procedimento de Teste	65
5.2.1.1. Procedimento – Introdução	66
5.2.1.2. Procedimento – Ambientação com o Simulador.....	66
5.2.1.3. Procedimento – Ambientação com o Protótipo.....	66
5.2.1.4. Procedimento – Calibração do sistema de rastreo visual	66
5.2.1.5. Procedimento – Realização do percurso sem tarefa.....	67
5.2.1.6. Procedimento – Tarefa 1 – Rádio sem InfoSteer.....	67
5.2.1.7. Procedimento – Tarefa 1 – Rádio com InfoSteer	67
5.2.1.8. Procedimento – Tarefa 2 – Menu sem InfoSteer	67

5.2.1.9. Procedimento – Menu sem <i>InfoSteer</i>	67
5.2.1.10. Procedimento – GPS sem <i>InfoSteer</i>	67
5.2.1.11. Procedimento – Questionários NASA TLX.....	68
5.2.1.12. Procedimento – Entrevista	68
5.2.1.13. Tempo Restante.....	68
5.2.2. Participantes	68
5.3. Resultados e Análise	69
5.3.1. Comentários e Observações	77
5.4. Discussão.....	78
5.4.1. Melhorar a Condução	78
5.4.2. Redução da Distração na Condução.....	79
5.4.3. Interação com o SI.....	80
5.4.4. Outras Configurações de Teste.....	80
5.5. Limitações	81
6. Implementação	83
6.1. Módulo de <i>Feedback</i>	83
6.2. Módulo de Interação.....	84
6.2.1. Interface Visual	84
6.2.2. Rastreamento da Mão	85
6.2.3. Rastreamento Visual	86
6.3. Comunicação.....	86
6.4. Conclusão	87
7. Artigos	89
8. Conclusões.....	91
Referências.....	95

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama do sistema InfoSteer e os seus subsistemas.....	6
Figura 2. Sistema de Infotainment moderno	9
Figura 3. Zonas da mão mais sensíveis a feedback háptico [50, Fig. 3]	20
Figura 4. Sectores definidos no estudo para a posição das mãos [53, Fig. 1]	21
Figura 5. Exemplo de um simulador com o software LCT [57]	22
Figura 6. Cenário com 3 vias e sinais regulares [62, Fig. 1]	23
Figura 7. Gráfico com o percurso ideal a verde e o desvio a vermelho [63].....	24
Figura 8. Exemplo de uma configuração de teste com o LCT [64, Fig. 1]	25
Figura 9. Esquemático da solução proposta	26
Figura 10. Primeiro protótipo – matriz de atuadores num tubo de PVC.....	30
Figura 11. Material esponjoso entre os atuadores e a superfície de montagem	31
Figura 12. Conjunto de padrões iniciais.....	32
Figura 13. Matriz de atuadores hápticos – Sequência de ativação dos atuadores hápticos.....	32
Figura 14. Padrões com ativação de todos os atuadores – Swipe up, Swipe down, Swipe right, Swipe left	33
Figura 15. Configuração de testes	34
Figura 16. Matriz de atuadores hápticos – Taxas médias de sucesso ao longo do teste.....	39
Figura 17. Matriz de atuadores hápticos – Valores médios do NASA TLX.....	39
Figura 18. Posição aproximada da matriz na mão.....	40
Figura 19. Cruz de atuadores num volante – Montagem com fita-cola esponjosa de dupla face.....	42
Figura 20. Cruz de atuadores hápticos – Montagem com cola universal e material esponjoso ..	43
Figura 21. Cruz de atuadores hápticos – Tempo total de um padrão	44
Figura 22. Posição aproximada da cruz na mão.....	44
Figura 23. Cruz de atuadores hápticos – Padrões de vibração	45
Figura 24. Cruz de atuadores hápticos – Taxas médias de sucesso ao longo do teste	48
Figura 25. Cruz de atuadores hápticos – Valores médios do NASA TLX.....	48
Figura 26. Matriz vs Cruz – Melhoria nas taxas de sucesso	49
Figura 27. Matriz vs Cruz – Melhoria no NASA TLX	50
Figura 28. Esquema de montagem do controlador Leap Motion	54
Figura 29. Primeiro método de rastreio.....	56
Figura 30. Segundo método de rastreio.....	57
Figura 31. Interface de utilizador – Rádio.....	58
Figura 32. Interface de utilizador – Menu.....	59
Figura 33. Interface de utilizador – Navegação	59

Figura 34. Representação visual do estado do botão, por ordem (normal, dedo a apontar ao botão, premido, selecionado)	60
Figura 35. Sequência de ativação dos atuadores hápticos durante o movimento horizontal.....	62
Figura 36. Participante a realizar testes com o protótipo e configurações finais	63
Figura 37. Excerto do percurso de um participante durante a avaliação do sistema.....	70
Figura 38. Número de desvios visuais - com e sem InfoSteer	70
Figura 39. Duração total dos desvios visuais - com e sem InfoSteer	71
Figura 40. Número de cliques errados - com e sem InfoSteer	72
Figura 41. Tempo para completar a tarefa - com e sem InfoSteer	73
Figura 42. Desvio no simulador LCT - com e sem InfoSteer	74
Figura 43. Valores médios do NASA TLX – Rádio	75
Figura 44. Valores médios do NASA TLX – Menu.....	76
Figura 45. Valores médios do NASA TLX – GPS.....	76
Figura 46. Valores médios do NASA TLX – Total	77
Figura 47. Circuito do módulo de feedback.....	83

Índice de Tabelas

Tabela 1. Fases do procedimento de teste	34
Tabela 2. Matriz de atuadores hápticos – Caraterização dos participantes	37
Tabela 3. Matriz de atuadores hápticos – Média total e de cada padrão	38
Tabela 4. Cruz de atuadores hápticos – Caraterização dos participantes	46
Tabela 5. Cruz de atuadores hápticos – Média total e de cada padrão	47
Tabela 6. Fases do procedimento de teste do sistema final.....	65
Tabela 7. Sistema InfoSteer - Caraterização dos participantes	69

Lista de Abreviaturas

SI – Sistema de *Infotainment*

IVI – *In-Vehicle Infotainment system*

GPS – *Global Positioning System*

LCT – *Lane Change Test*

NASA TLX – *NASA Task Load Index*

IHC – Interação Humano-Computador

SD – Desvio Padrão

1. Introdução

A grande maioria dos automóveis possui uma forma de sistema de *infotainment* (SI) [1]. O termo *infotainment* em veículos refere-se a sistemas que combinam entretenimento e entrega de informação para o condutor e passageiros. No contexto atual, os SI são constituídos por todos os controlos localizados na consola central de um veículo, incluindo ainda todos os controlos que possam estar localizados no volante. Cada vez mais se verifica a utilização de ecrãs, tanto na consola central, como no painel de instrumentos, para agregação de informação e funcionalidades. Normalmente, estes sistemas usam interfaces auditivas, visuais, e/ou teclados numéricos. Atualmente, nem todos os automóveis possuem estes sistemas, mas espera-se que por 2020, cerca de 80% dos novos modelos venham equipados com algum tipo de SI e estejam conectados a serviços digitais [2].

As primeiras interfaces automóveis eram maioritariamente mecânicas, com o simples propósito de fornecer informações relevantes do automóvel, tais como velocidade, nível do depósito de combustível ou rotações do motor. Eventualmente, os condutores começaram a desejar sistemas mais avançados nos seus automóveis.

Durante muitos anos, estes sistemas consistiam em simples rádios, mas cada vez mais se foram adicionando novas funcionalidades [3]. De facto, o primeiro modelo automóvel com um rádio foi lançado em 1922 e o primeiro modelo com telefone incluído foi lançado em 1952 [3], tendo-se mantido esta funcionalidade principal, da reprodução de música, até os anos 80 e 90. Em 1981 foi então introduzido o primeiro sistema de navegação num automóvel [4].

Os primeiros sistemas de *infotainment* empregavam elementos mecânicos e físicos de uma interface, tais como botões e *dials* (dispositivos rotativos). Tais controlos permitem comunicar dicas ao utilizador sobre a sua posição, orientação e estado, permitindo a sua manipulação sem contacto visual. Num contexto de condução, isto é extremamente benéfico, dado que a distração visual durante a condução representa uma das principais causas de acidentes rodoviários [5].

A história das interfaces humano-computador nos automóveis mostra-nos que o desenvolvimento de novas interfaces é sempre influenciado por tecnologias recentes ou próximas dos utilizadores. Fabricantes como a Audi, BMW e a Mercedes aperceberam-se das vantagens dos ecrãs na capacidade de mostrar mais informações e agrupar

funcionalidades numa área compacta. Desde os anos 2000 até recentemente, estes fabricantes implementavam botões físicos e *dials* (montados tanto no volante, como na consola central) como forma de interagir com a informação mostrada nos ecrãs [6], [7]. Contudo, a indústria aponta para uma convergência destes controlos e funcionalidades num ecrã tátil¹ em vez dos tradicionais botões físicos.

Alguns fabricantes exageraram na quantidade de controlos que integraram no ecrã tátil, chegando a eliminar o controlo físico do volume do rádio, para desagrado de muitos utilizadores [8]. O caso mais popular desta tendência é o fabricante Tesla², que integrou todos os controlos, exceto o volante, pedais e sinais indicadores (“piscas”) no SI, que toma a forma de um grande ecrã tátil localizado na consola central. Isto ocorreu devido à prevalência desta tecnologia, o que levou a uma redução dos custos de fabrico dos ecrãs e, consequentemente, a uma redução nos custos de fabrico dos próprios veículos. Em adição, a flexibilidade que os ecrãs apresentam no desenho de interfaces é uma grande vantagem em relação a interfaces físicas, principalmente porque cada vez mais carros permitem a atualização remota dos seus sistemas [9].

Recentemente, alguns fabricantes aperceberam-se de que esconder certos controlos em menus e submenus era um detrimento para a experiência do condutor [10] [11]. Além disto, e mais importante, esta implementação aumenta a carga visual e cognitiva necessária para completar tarefas que eram trivialmente executadas com controlos físicos. Eventualmente, notou-se o retorno de algumas funções consideradas essenciais (e.g.: controlo do volume do rádio, controlos do sistema de ar condicionado) aos controlos físicos [12]. Em casos mais extremos, alguns fabricantes decidiram reverter a interfaces puramente físicas, citando razões de segurança e melhorias na experiência de utilizador [10] [11].

No entanto, tendo em conta a história e evolução dos SI, as tecnologias disponíveis atualmente e as previsões e tendências para o futuro próximo, é expectável que a tendência continue a ter o uso de ecrãs tácteis como principal interface dos SI em automóveis, e que se observe também a convergência de muitos dos controlos físicos tradicionais que não se considerem essenciais à operação do veículo nesses mesmos ecrãs, principalmente as funções de entretenimento. De facto, verifica-se que a maioria dos modelos mais vendidos

¹ <https://www.techopedia.com/definition/3055/touch-screen>

² https://www.tesla.com/pt_pt

em Portugal em 2019 [13] tem um ecrã tátil como principal interface com o SI (e.g.: Renault Clio³, Mercedes Classe A⁴, Renault Captur⁵, Citroën C3⁶).

Justifica-se, então, a investigação de novas formas de interação com estes sistemas, ou de melhorias a técnicas de interação já existentes, para que seja possível utilizar os SI de forma intuitiva, rápida, e que cause o mínimo de distração ao condutor.

1.1. Problema

Como foi referido brevemente na Introdução, as interfaces tradicionais, constituídas por botões ou outros elementos físicos e tangíveis, permitem que o utilizador use o tacto para obter informações que lhe permite identificar qual o botão que está a tocar. Por exemplo, num SI que contem botões físicos para selecionar uma estação de rádio, o condutor pode localizar-se e “contar” os botões, através do tacto, para selecionar a estação desejada (assumindo que a sua disposição segue uma ordem lógica, como por exemplo, uma linha ordenada de botões, ou uma disposição de matriz observada, normalmente, em comandos de TV). Da mesma forma, o condutor consegue localizar qualquer outro controlo que se manifeste em forma de botão físico (ou interruptor, *dial*, etc.), tal como os controlos do sistema de ar condicionado ou o controlo de volume do rádio.

Um dos controlos essenciais à boa operação de um veículo são os sinais indicadores, normalmente localizados à esquerda, atrás do volante (em veículos de volante à esquerda). Mesmo no caso do fabricante Tesla, este controlo foi ignorado na tentativa de ser incluído no SI. A utilização desta funcionalidade deve requerer a mínima carga cognitiva e não distrair visualmente o condutor, já que a sua utilização ocorre quando o condutor está prestes a realizar uma manobra e requer a sua concentração.

Assim, verifica-se que certos controlos devem permanecer facilmente alcançáveis e identificáveis através do tacto. Efetivamente, deve haver um equilíbrio entre controlos físicos e tangíveis, com posição fixa, e de controlos ou funcionalidades integradas num ecrã, caso contrário, a consola central ficaria sobrecarregada de botões e os benefícios da interface física seriam neutralizados. Em suma, as funcionalidades mais essenciais devem ser facilmente acessíveis, enquanto que as restantes funcionalidades, menos essenciais, ou de entretenimento, podem ser integradas num ecrã. Por consequência, há necessidade

³ <https://www.renault.pt/veiculos-passageiros/cli05.html>

⁴ <https://www.mercedes-benz.pt/passengercars/mercedes-benz-cars/models/a-class/hatchback-w177/explore.html>

⁵ <https://www.renault.pt/veiculos-passageiros/captur2.html>

⁶ <https://www.citroen.pt/veiculos/citroen/c3.html>

de haver técnicas de interação intuitivas com estes ecrãs, e que as mesmas não induzam uma carga cognitiva excessiva ao condutor.

As técnicas de interação com os SI de um automóvel representam uma área de investigação com grande aderência e interesse, visto que esta interação deve ser intuitiva e não interferir com a capacidade de condução do condutor. Isto porque a interação com os SI é uma das causas principais de distração visual e, conseqüentemente, de acidentes [14], [15].

Tendências e previsões atuais mostram que a interação com os SI realiza-se cada vez mais através de comandos de voz. Contudo, esta abordagem tem algumas desvantagens críticas, nomeadamente dificuldade no reconhecimento de comandos, e no uso rápido e fácil da interface [16]. Deste modo, ainda é, e continuará a ser fundamental haver uma forma de interação rápida com o SI e com garantia de que os comandos serão executados. As interfaces físicas e tangíveis ainda são muito superiores nestes aspetos [17], [18]. Além da garantia de que um comando será executado, botões físicos proporcionam *feedback* instantâneo aquando do clique. O utilizador sabe que clicou no botão, restando apenas esperar que a operação seja executada. No caso dos ecrãs tácteis, o *feedback* obtido é a própria pressão que o dedo sente quando toca no ecrã. No entanto, não há garantia que tenha atingido um controlo na interface nem que uma operação será executada (a não ser que o utilizador olhe para o ecrã e algum tipo de *feedback* visual seja proporcionado).

Algumas técnicas de interação já foram expostas na Introdução, tais como *dials* usados para navegar as funcionalidades expostas no ecrã e, eventualmente, seleccioná-las. No entanto, ainda se verifica que uma grande parte dos modelos automóveis atuais está equipado com um ecrã táctil. A interação com estas interfaces é uma tarefa principalmente visual. Quando um condutor realiza uma ação num sistema de *infotainment* com ecrã táctil, desvia o olhar da estrada durante 70% do tempo de execução dessa ação [19]. Sendo a visão o principal sentido necessário à tarefa da condução, emerge a possibilidade desta interação induzir distração no condutor e aumentar o risco de acidente. Condutores que realizam atividades visual ou manualmente complexas têm um risco de acidente ou quase-acidente três vezes superior comparando com condutores atentos, notando-se ainda que perder o contacto visual com a estrada por mais de 2 segundos aumenta o mesmo risco para o dobro do risco numa condução normal e atenta [20].

No âmbito deste trabalho, será explorada uma nova técnica de interação com os SI, e não o desenho e organização de interfaces de utilizador. Assim sendo, os principais

detrimentos da interação com ecrãs tácteis num contexto automóvel são listados, sucintamente, como se segue:

- i. Falta de *feedback* táctil que uma interface tradicional proporciona, nomeadamente a capacidade do condutor se localizar entre uma série de botões, bem como o uso de memória muscular para realizar operações comuns (e.g.: aumentar o volume do rádio ou utilizar os sinais indicadores).
- ii. Falta de *feedback* táctil quando um controlo é atingido ou clicado, levando a que o utilizador seja obrigado a olhar para o ecrã, ou a depender de outros tipos de *feedback*, como visual ou auditivo.
- iii. Distração visual ou aumento de carga cognitiva para realizar operações, principalmente devido aos pontos anteriores, na medida em que o condutor é obrigado a desviar o olhar da estrada para garantir que consegue atingir os controlos que deseja e completar a operação respetiva.

Expostos os principais problemas das abordagens encontradas nos atuais SI, nota-se a necessidade de novas técnicas de interação com ecrãs tácteis. Uma proposta de solução a estes problemas, através da combinação de tecnologias atuais, é exposta no capítulo seguinte (1.2).

1.2. Solução Proposta

Atendendo aos critérios listados no capítulo 1.1, propomos um sistema intitulado *InfoSteer*. A ideia principal deste sistema é combinar uma técnica de interação direta com o ecrã táctil dos SI com uma componente de *feedback* háptica posicionada no volante. Esta abordagem de separar a componente de interação e a componente de *feedback* tenciona aumentar a modularidade do sistema e, por consequência, a sua robustez, e tem fundamento em estudos relacionados [21] que registaram um aumento de performance na realização de determinadas tarefas em ecrãs tácteis quando o *feedback* háptico foi proporcionado não diretamente no ecrã táctil, mas no pulso do utilizador.

Para este efeito, o sistema será desenvolvido em duas partes, ou subsistemas, que irão comunicar entre si para o efeito desejado, como ilustra a Figura 1. Cada subsistema será, então, semi-independente de forma a que o seu comportamento possa ser personalizado e adaptado a outros subsistemas.

O subsistema 1 será encarregue de transmitir *feedback* háptico à mão esquerda do condutor (num cenário onde os veículos têm volante no lado esquerdo) e poderá ser

personalizado consoante os dados que recebe de outros subsistemas. No caso do *InfoSteer*, o módulo de *feedback* háptico será configurado para reagir a dados posicionais ou dados relativos a ações específicas (como clicar num botão) provenientes do subsistema 2. Por outras palavras, o subsistema 1 terá como objetivo permitir que o condutor se localize conforme percorre os controlos no ecrã, bem como obter confirmação táctil quando clica nos mesmos.

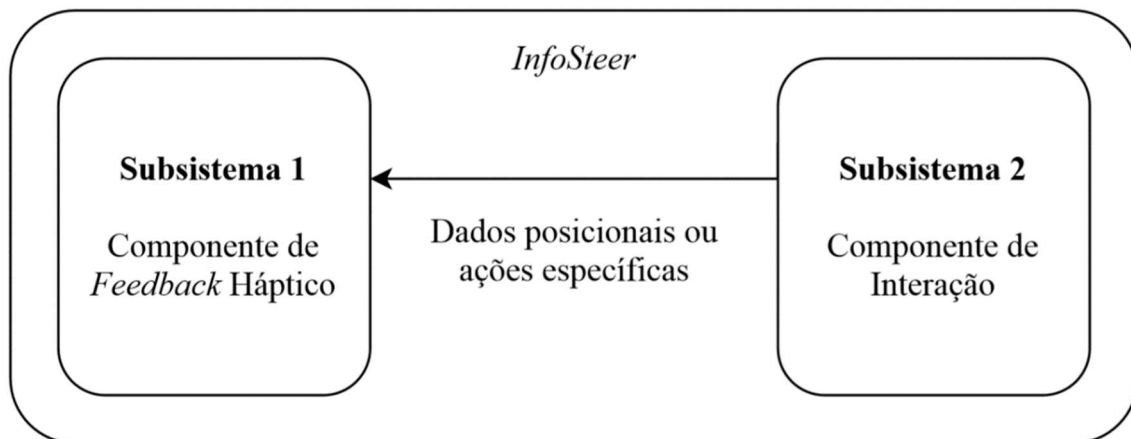


Figura 1. Diagrama do sistema *InfoSteer* e os seus subsistemas

O subsistema 2, encarregue pela interação direta com o ecrã táctil, terá como objetivo facilitar a interação tradicional com estes dispositivos, numa tentativa de reduzir a carga cognitiva associada a essa interação. A implementação será baseada em técnicas exploradas por outros investigadores (ver 2.2), adaptadas ao contexto do sistema *InfoSteer*. Para esta aplicação, este subsistema terá uma componente de comunicação com o subsistema 1, no âmbito de realizar comunicação unidirecional em tempo real, sem fios.

1.3. Estrutura do Documento

Este trabalho está estruturado em sete capítulos, que expõem toda a pesquisa e desenvolvimento realizados no âmbito do projeto. Antes de sumarizar as contribuições de cada capítulo, é importante realçar a nossa decisão de juntar todas as contribuições técnicas num capítulo final. Apesar destas contribuições emergirem do desenvolvimento e avaliação dos protótipos, achamos melhor isolar este conteúdo num único capítulo para agrupar toda a implementação necessária ao protótipo (facilitando assim a replicabilidade desta solução), e também para facilitar a compreensão do design e avaliação dos protótipos.

No primeiro capítulo, é feita uma exposição do contexto atual relativo aos SI modernos, os problemas que apresentam e, finalmente, uma proposta de solução para os mesmos.

O capítulo dois contextualiza vários tópicos relacionados com o tema, e são explorados estudos relacionados, cujas contribuições servirão de base e inspiração para o desenvolvimento deste trabalho.

No terceiro capítulo, expõe-se a primeira fase de desenvolvimento do protótipo proposto. É feita uma introdução dos objetivos do sistema, explicado como foi feita a sua implementação, bem como as justificações que levaram a certos detalhes de implementação. Por fim, é feita uma avaliação do sistema, onde se discutem os resultados obtidos.

No quarto capítulo, é referido todo o processo de desenho, implementação e avaliação informal do módulo de interação, desde o rastreio da mão do utilizador às interfaces visuais.

De seguida, no capítulo cinco, é feita a integração dos módulos no protótipo final. Neste capítulo é feita a análise principal deste trabalho, após expor a avaliação extensiva do protótipo. São registadas as vantagens e limitações do sistema, bem como possíveis melhorias em trabalhos futuros.

No sexto capítulo, a montagem dos circuitos é exposta, e a implementação dos programas desenvolvidos ao longo deste trabalho é explicada em maior detalhe, desde o *software* que compõe o sistema até os programas de ajuda às avaliações. Este capítulo aparece de forma isolada de forma a facilitar a leitura do documento, dado que o estudo e os seus resultados apresentam alguma complexidade e são o foco deste trabalho.

Finalmente, no sétimo e último capítulo, é feita uma breve visão geral de todo o processo, e, por fim, feitas as conclusões alusivas ao sistema *InfoSteer*.

2. Revisão de Literatura

Neste capítulo apresentamos o trabalho revisto durante o decorrer desta tese. Começamos com 2.1, onde se descreve em detalhe o que é o sistema de *infotainment*, e são analisados alguns sistemas comerciais atuais. Ao longo do capítulo, são explorados, também, trabalhos relacionados, tanto na área dos SI, como na área de interação com outros sistemas, e ainda os benefícios e aplicações de *feedback* háptico em contextos relevantes. No final de cada secção resumimos a sua contribuição para a solução proposta em 1.2.

2.1. Sistemas de Infotainment

Os sistemas de *infotainment* em veículos (*In-Vehicle Infotainment systems*, ou IVI) definem-se por uma combinação de subsistemas do veículo, tanto *hardware* como *software*, que permitem transmitir informações úteis e entretenimento ao condutor e passageiros para que estes tenham uma experiência mais agradável. Isto pode ser feito através de interfaces auditivas/visuais, controlos físicos, como botões e *dials*, ou por outros controlos, tais como ecrãs tácteis ou comandos de voz.



Figura 2. Sistema de Infotainment moderno

Originalmente, os SI apresentavam apenas funcionalidades simples, como reprodução de rádio. Durante os anos 40 e 50, os veículos adquiriram botões para memorizar as estações de rádio preferidas [22]. Estes foram os primeiros casos de armazenamento de informação em SI. Alguns anos depois, nas décadas de 60 a 80, as

cassetes permitiram armazenar várias músicas à escolha do condutor. O primeiro sistema de navegação apareceu num veículo em 1981. Já na década de 90, os CDs trouxeram a capacidade de armazenar ainda mais músicas, bem como mapas de navegação GPS e ainda imagens de câmaras de segurança [22].

Os primeiros SI verdadeiramente avançados começaram a ser lançados nos anos 2000, com a adoção em massa dos ecrãs tácteis e de tecnologias de conectividade sem fios, como o *Bluetooth*. Atualmente, os SI são compostos por uma unidade central (normalmente o ecrã montado na consola central), diversos sensores (de proximidade, luz, etc.) módulos de conectividade e até o painel de instrumentos digital que alguns fabricantes começaram a adotar (ao invés dos instrumentos analógicos tradicionais). Incorporam funcionalidades como reprodução de música e vídeo, navegação GPS com informações sobre o trânsito, capacidade de efetuar e receber chamadas telefónicas e até a possibilidade de navegar a internet [23].

Existe segmentação do mercado a nível de funcionalidades disponíveis. Os modelos de veículos mais baratos, apesar de equipados com algumas funcionalidades supramencionadas, parecem básicos em comparação com as ofertas de veículos de gamas superiores. Os fabricantes reservam as suas tecnologias mais avançadas para estes segmentos, como, por exemplo, procura de lugar de estacionamento e estacionamento automáticos, controlos de voz mais avançados e interfaces mais rápidas (devido ao uso de melhor *hardware*).

Algo que se manteve constante foi a localização da maioria dos controlos dos SI. Apesar da popularidade dos controlos físicos montados no volante, o núcleo dos SI manteve-se sempre na consola central do veículo onde, atualmente, a maioria dos fabricantes opta por montar um ecrã.

A Figura 2 representa o interior de um modelo atual, com um SI montado na consola central. Notamos que alguns controlos físicos ainda se manifestam, como, por exemplo, os controlos do ar condicionado, o botão de volume do rádio e alguns controlos no volante para navegar o conteúdo do ecrã táctil, à direita do volante. Neste ecrã estão integradas diversas funcionalidades, tais como navegação GPS, controlo do rádio e música local, conectividade *Bluetooth* e USB com outros dispositivos (e.g.: telemóvel). Mais importante ainda, muitos fabricantes integram definições essenciais do veículo nestes sistemas, pelo que é necessário navegar menus dentro de menus para as aceder. Como exemplo, no modelo Peugeot 208, é necessário aceder às definições do sistema dentro de vários menus para controlar as luzes diurnas. Apesar dos controlos no volante dedicados

à navegação do SI, verifica-se frequentemente que ainda é necessário usar o toque para aceder a todas as funcionalidades do sistema.

Apesar de todas as funcionalidades que os SI disponibilizam atualmente, até nos veículos mais acessíveis, a sua principal aplicação cinge-se ao entretenimento, na forma de música (e, por vezes, vídeo) e navegação [24], [25, p. 38]. Desta forma, o estudo final, com utilizadores, do sistema *InfoSteer* terá como foco a realização de tarefas relacionadas com o rádio e a navegação.

2.1.1. Sistemas Comerciais

Atualmente, o SI do fabricante Audi é considerado por muitos como um dos melhores no mercado [26]–[28]. Chama-se MMI (*Multi Media Interface*) e disponibiliza não um, mas dois ecrãs tácteis. Ambos estão inclinados de maneira a facilitar o seu alcance pelo condutor. Este sistema tem um foco em capacidade de processamento e otimização de *software* para proporcionar uma interface responsiva e fluida, com pouca latência entre o toque e a resposta do sistema. O sistema inclui *feedback* háptico diretamente no ecrã, reproduzindo uma vibração rápida quando é selecionado um botão, de modo a simular o clique de um botão físico. Nota-se ainda que alguns controlos permaneceram puramente físicos, nomeadamente o controlo de volume do rádio e os botões de seleção de faixa musical ou estação de rádio. Este sistema permite ainda controlar algumas funções com comandos de voz e botões no volante [29].

Um dos primeiros fabricantes a lançar um SI avançado foi a BMW, com o *iDrive* [30]. Desde a primeira iteração até os dias de hoje, um dispositivo rotativo, ou *dial*, é usado como principal método de interação com o sistema. As versões mais recentes já adotaram os ecrãs tácteis, e até gestos para controlar certas funções (e.g.: gesticular um círculo no ar para controlar o volume do rádio). Este sistema mantém ainda uma série de botões físicos que servem de atalho para navegar a interface rapidamente. Uma tarefa em que o ecrã táctil é superior ao *dial* é a introdução de endereços para navegação [30]. O *iDrive* é notável pela redundância que oferece na interação com o SI para executar diversas operações. À semelhança do MMI da Audi, este sistema foca-se em *hardware* e *software* que aumentam a performance do sistema e proporcionam uma experiência mais agradável aos utilizadores.

O SI mais recente do fabricante Mercedes chama-se MBUX (*Mercedes-Benz User Experience*) [31] e tem um foco no uso da linguagem natural para realização de comandos de voz e na organização lógica e hierárquica dos menus. Em adição, há uma combinação

de controlos através do toque no ecrã, um *touchpad* na consola central (em vez do *dial* dos modelos anteriores) e controlos físicos e sensíveis ao toque no volante, apresentando uma redundância semelhante ao SI da BMW. De forma semelhante aos dois fabricantes já referidos, há um foco na qualidade dos materiais e do *software*, já que são fabricantes associados a um sector *premium*.

O fabricante Tesla incorpora quase todas as funcionalidades secundárias do veículo num ecrã táctil de grandes dimensões localizado na consola central. Nos modelos mais recentes, até o painel de instrumentos e os controlos do limpa para-brisas foram eliminados (apesar de um botão físico de atalho ainda estar disponível atrás do volante) e informações como a velocidade atual, o nível de bateria e o alcance são exibidos nesse ecrã. Apesar da falta de controlos físicos e das estatísticas sobre os riscos associados à interação excessiva com ecrãs tácteis nos veículos (ver 1.1), pesquisas indicam que este sistema é um dos preferidos pelos consumidores [32].

Estes quatro SI são desenvolvidos por marcas *premium*, que não representam o mercado português. Apenas um modelo dos 10 mais vendidos em Portugal em 2019 [13] é de um desses fabricantes (Mercedes Classe A). Já o fabricante Renault domina o mercado, sendo o fabricante que mais veículos vendeu nesse ano [33]. O SI não inclui qualquer tipo de *feedback* háptico na interação com o ecrã táctil, mas segue a tendência de manter alguns controlos essenciais na forma de botões físicos. De notar, ainda, que os fabricantes usam o mesmo SI ou variações do mesmo sistema base por toda a sua gama de modelos.

Visto ser o carro mais vendido em Portugal em tempos recentes, e devido à popularidade do fabricante a nível europeu [34], as tarefas relacionadas com o sistema de navegação e rádio, referidas em 2.1, serão baseadas no SI do fabricante Renault, disponível no momento do desenvolvimento do protótipo.

2.1.2. Android Auto e Apple CarPlay

Vários fabricantes^{7,8} permitem compatibilidade dos seus SI com o Android Auto e o Apple CarPlay. Estes sistemas permitem conectar um telemóvel ao SI do veículo (via ligação com cabo ou, se possível, sem fios) para aceder a funcionalidades extra. Exibem, então, uma interface igual, independentemente do modelo. São apenas disponibilizadas funcionalidades utilitárias ou de entretenimento (como música, navegação e envio de

⁷ <https://www.android.com/auto/compatibility/>

⁸ <https://www.apple.com/ios/carplay/available-models/>

mensagens) e não permitem aceder a funcionalidades do veículo como o controlo dos espelhos ou as janelas. Têm a vantagem da performance, visto que correm no *hardware* do telemóvel, e são facilmente atualizados. Permitem, também, usar comandos de voz, mesmo que essa opção não seja possível com o SI do veículo.

O objetivo destas interfaces é fazer com que as tarefas comuns de ouvir música e usar os serviços de navegação sejam mais seguros e fáceis do que com os SI nativos dos veículos. Este objetivo foi confirmado por estudos que afirmaram que a exigência cognitiva (e visual) exercida durante o uso destes sistemas é inferior à dos SI nativos dos veículos [35]. No entanto, estudos recentes descobriram que o uso do Android Auto ou Apple CarPlay resultam num aumento de mais de 50% no tempo de reação quando o condutor realiza alguma tarefa nestes sistemas (através de ecrãs tácteis) durante a condução. Além disto, o tempo de reação nestas tarefas é maior quando comparado com o uso do telemóvel para enviar mensagens. Finalmente, manter um controlo estável do veículo foi mais difícil, notando-se mais variação na velocidade e na posição do carro na estrada durante a realização de tarefas através do toque [25]. Muitos dos fabricantes que permitem a utilização destes sistemas incorporam controlos físicos, como um botão no volante para aceder aos comandos de voz, para uma interação mais intuitiva e rápida.

Esta integração de sistemas independentes para obtenção de funcionalidades extra assemelha-se ao sistema proposto em 1.2.

2.2. Técnicas de Interação com *Infotainment*

Neste capítulo, apresentamos várias técnicas de interação usadas para mitigar o problema apresentado na secção 1.1. Nestas contribuições, os autores tentam perceber como novas modalidades de *feedback* ou técnicas de interação podem complementar o *feedback* visual disponibilizado pelos ecrãs de *infotainment*. Estas soluções utilizam, normalmente, uma combinação de *hardware* e *software* desenvolvido para o estudo.

2.2.1. Interação Direta

Interação direta define-se aqui, como técnicas em que o utilizador realiza contacto físico com alguma superfície ou controlo para realizar uma ação. Esta interação pode ser feita diretamente num ecrã táctil localizado na consola central do veículo, bem como em controlos físicos (no volante ou na consola central), ou qualquer combinação destas abordagens.

Yang et al. [36] realizaram um estudo fora do contexto automóvel (mas cujos resultados podem ser aplicados ao mesmo) sobre técnicas de interação com ecrãs tácteis como complemento aos dispositivos de input tradicionais, como teclado e rato. Neste estudo, os autores desenvolveram duas técnicas – *Touch Cuts* e *Touch Zoom* – que facilitam a seleção de pequenos ícones através da deteção do dedo sobre o ecrã, antes de ocorrer o toque. O objetivo foi criar técnicas que possam ser aplicadas a qualquer caso sem alterar o funcionamento existente, neste caso, mantendo a funcionalidade do rato e do teclado.

A primeira técnica consiste em expandir um único item da interface quando o utilizador aproxima o dedo do ecrã, ficando apenas este disponível ao toque. Já a segunda técnica tem um funcionamento semelhante, mas expandido todo o componente da interface onde é previsto haver o toque. Isto garante que o alvo do utilizador é expandido mesmo que a previsão do toque falhe.

Verificaram que o *Touch Cuts* reduziu o tempo de seleção de um alvo em 40% quando comparado com o rato. A segunda técnica reduziu esse mesmo tempo em 12%.

Quando os controlos não são colocados no volante, a sua manipulação requer a atenção visual do condutor, o que pode ser perigoso, especialmente com o veículo em movimento. Os autores González et al. [37] exploraram técnicas para introdução de destinos num sistema de navegação, baseando-se no uso do dedo polegar e afirmando que manter as mãos no volante reduz a dificuldade desta tarefa quando introduzindo texto ou seleccionando itens de uma lista. Para isto, usaram uma superfície quadrada sensível ao toque montada onde o dedo polegar direito está naturalmente posicionado no volante.

Foram criados vários métodos de input com este dispositivo – *clutching* (semelhante ao uso do rato num computador portátil), *dialing* (percorrer listas através de um movimento circular) e *displacement* (semelhante ao funcionamento de um *joystick para mover o cursor*). Para introdução de texto, criaram as interfaces de teclado linear (todas as teclas seguidas, numa linha), teclado normal e *EdgeWrite* (desenhar aproximadamente cada letra). Realizaram testes num simulador tentando recriar o interior de um automóvel. Os testes foram realizados com o carro parado e em movimento. A técnica *EdgeWrite* foi a mais rápida na introdução de destinos tanto com o carro parado como em movimento, sendo a única que manteve esta velocidade nas duas situações (todas as outras obtiveram performance pior quando o carro estava em movimento). Foi também uma das técnicas em que os utilizadores cometeram menos erros na condução.

Os participantes classificaram os métodos não tradicionais acima dos tradicionais (teclado tradicional virtual – mais comum nos automóveis).

Pfleging et al. [38] montaram um ecrã táctil no volante, onde integraram controlos comuns, como os espelhos laterais e janelas. Desenvolveram um sistema que incorpora gestos (*swipes*) e alguns controlos de voz para controlar alguns aspetos do veículo. O sistema foi avaliado com o LCT (ver 2.6). Realizaram uma comparação com uma interface tradicional de botões físicos e averiguaram que a performance a realizar as ações diminuiu, mas a condução não foi afetada. Os utilizadores notaram que a exigência visual é inferior quando usam gestos e comandos de voz.

2.2.2. Interação Indireta

Referidos alguns métodos de interação diretas, apresentamos aqui trabalhos desenvolvidos no âmbito da interação indireta com sistemas digitais. Interação indireta é aqui definida como interação em que não é necessário haver contacto físico com o sistema – apontar, comandos de voz, entre outros.

À semelhança da técnica *Touch Cuts*, Aslan et al. [39] realizaram um estudo sobre o método de expandir o alvo na interface, prevendo o toque do utilizador através de sensores. Além disto, estudaram a eficácia de alterar a posição do alvo para que fosse mais fácil realizar o toque no mesmo. Ao contrário da técnica referida anteriormente, estes estudos foram realizados num contexto automóvel.

Os resultados mostraram que os participantes realizam mais erros quando aplicada a técnica de aproximar o alvo à posição esperada do toque e menos erros quando aplicada a técnica de expandir o alvo. Comparando com a aplicação de nenhuma das técnicas, a expansão do alvo demonstrou resultados semelhantes, tanto na quantidade de erros na seleção do alvo, como no tempo para o selecionar. Uma observação a ter em conta é que com o aumento do tamanho dos ecrãs, e por consequência, dos ícones, não será necessária a sua expansão, mas por outro lado, existirão outros problemas tais como a distância entre o utilizador e os botões no ecrã [39].

A tecnologia de deteção de gestos sobre o ecrã permite a implementação de novas técnicas de interação com ecrãs, tais como a técnica explorada por Ahmad et al. [40] que consiste em transformar o gesto de apontar para o ecrã numa posição discreta na interface e, eventualmente, selecionar um alvo sem realizar o toque. Os resultados demonstraram uma redução de 39% no tempo necessário para apontar e selecionar um alvo, quando comparado com o uso de um ecrã táctil tradicional. Os autores notam ainda que é benéfico

fornecer ao utilizador algum tipo de *feedback* (e.g.: háptico ou sonoro) quando selecionam um item.

Berger et al. [41] desenvolveram um método de interação totalmente indireto, ou seja, onde nunca ocorrem toques no ecrã. Para isto desenvolveram um comando remoto com *feedback* háptico. Nota-se que esta abordagem tem em conta os passageiros, e os autores referem o futuro dos carros autónomos, onde o próprio condutor será passageiro. Verificou-se uma redução ligeira no tempo de realização das tarefas definidas no estudo, e os utilizadores demonstraram interesse em usar o sistema nos seus próprios veículos.

2.3. *Feedback* Háptico

Nesta secção, são expostos estudos que analisaram o uso de *feedback* háptico. A nossa revisão focou-se sobretudo em trabalhos centrados no contexto automóvel. Obviamente que estas contribuições não foram desenvolvidas num vácuo, sendo que muito deste trabalho em contexto automóvel inspirou-se nas contribuições das áreas do *feedback* háptico e multimodal em ecrãs tácteis. Abaixo, realçamos uma dessas contribuições antes de avançarmos para o contexto automóvel.

Um estudo realizado por Kontaris et al. [42] demonstrou a eficácia do *feedback* háptico na tarefa de transmitir informação posicional através de vibrações localizadas. Isto é, foi possível mapear o toque de um utilizador para a mão de outro. Um dos utilizadores realizou toques num *trackpad*, e o outro colocou a mão sobre uma matriz de motores de vibração que mapeiam os toques do *trackpad*. Foram usados 16 motores numa matriz 4×4, pelo que as dimensões do protótipo levaram a que os motores fizessem contacto com uma grande área da mão, incluindo os dedos. Os resultados demonstraram que foi possível identificar um *swipe* tanto nos dedos como na palma da mão. Os restantes toques também foram identificados, mas como padrões aleatórios. Confirma-se, então, a possibilidade de transmitir informações a utilizadores com pequenas vibrações.

2.3.1. Contexto Automóvel

Feedback na interação com o SI de um automóvel é extremamente importante como forma de comunicar ao condutor que as suas ações estão a ser realizadas sem que este tenha de olhar para o ecrã, possivelmente reduzindo a probabilidade de acidentes ou quase-acidentes (definido por Klauer et al. [20] como uma situação que requer uma manobra evasiva rápida do próprio veículo, ou qualquer outro veículo, peão, ciclista, ou

animal, para evitar um acidente. A manobra evasiva é descrita como travagem, aceleração, mudança de direção ou qualquer combinação destes, que se aproximem dos limites do manuseamento do veículo). No âmbito deste tema, Pitts et al. [19] realizaram um estudo sobre o efeito do *feedback* visual e háptico (diretamente no ecrã) no contexto da interação com um ecrã táctil. Estudos relacionados [43] concluíram que remover completamente o *feedback* visual faz aumentar significativamente a frequência de erros de *input*.

Os autores realizaram testes num contexto automóvel realista, usando um simulador e um protótipo simples com o único propósito de avaliar os efeitos de diferentes tipos de *feedback*, usando um tablet para simular o SI do automóvel. Neste teste, o utilizador teria de seleccionar um único botão de entre um conjunto de botões visualmente semelhantes. Foram avaliados dois tipos de *feedback*: visual e visual + háptico. Em relação ao primeiro, o *feedback* visual + háptico demonstrou uma ligeira redução no tempo médio de realização da tarefa e uma redução significativa no tempo total de relances (ou tempo em que o utilizador não olha para o ecrã).

Foi testado ainda o efeito de atrasar o *feedback* visual ligeiramente (i.e., não proporcionar o *feedback* simultaneamente com a ação física, mas depois de um pequeno intervalo de tempo), concluindo-se que isto aumentou o tempo total de relances, mas a reintrodução de *feedback* háptico fez com que os resultados voltassem a coincidir com os obtidos com os dois *feedbacks* ao mesmo tempo.

Richter et al. [44] dividem as atividades de um condutor em 3 categorias. Atividades primárias, que consistem no manuseamento do veículo em termos de acelerar/travar e manobrar o volante, atividades secundárias tais como usar o limpa para-brisas e indicadores, bem como sistemas de assistência ao condutor, e atividades terciárias que consistem em todas as outras atividades não essenciais à condução, sendo estas relacionadas com entretenimento, comunicação, entre outros, e que são implementadas no SI do veículo. Este sistema tem um requisito principal de não interferir com as atividades primárias, portanto deverá ser sempre interrompível e evitar distrações visuais e cognitivas do condutor. Os autores desenvolveram um método de interação com interfaces tácteis, chamado *HapTouch*, que consiste num ecrã táctil sensível à pressão e com *feedback* háptico, permitindo que o utilizador pressione e toque o ecrã sem ativar nenhuma funcionalidade acidentalmente.

Foram realizados testes baseados no LCT (ver 2.6) onde os utilizadores teriam de introduzir um número num teclado numérico usando 2 métodos de input – um teclado

numérico virtual normal e o método implementado pelos autores – ambos em 2 tamanhos, num total de 4 interfaces. Os resultados demonstraram que o método *HapTouch* num ecrã pequeno resultou em 80% menos ativações erradas. Entre outras observações, nota-se que este método reduz os erros na tarefa de introdução de números e poderá ser especialmente útil em itens pequenos da interface.

Num estudo realizado por Pitts et al. [45], os autores averiguaram os efeitos em utilizadores causados pelo *feedback* háptico em ecrãs tácteis num veículo. Num estudo preliminar, descobriram que, no geral, os utilizadores preferem um *feedback* háptico singular e rápido (simulando um clique), enquanto que não houve preferência entre outros tipos de *feedback* (pulsado, duplo feedback, suave).

Os resultados demonstraram que os condutores obtiveram um maior grau de satisfação e confiança (nas suas ações) nos testes em que receberam simultaneamente *feedback* háptico, visual e sonoro. Nas métricas de dificuldade em completar as tarefas, intensidade e realismo do feedback, e experiência do utilizador, esta combinação foi a que obteve melhores resultados. Por fim, os utilizadores demonstraram uma forte reação negativa quando o *feedback* fornecido foi apenas visual.

Os autores notam que em termos de intensidade, os utilizadores têm dificuldade em sentir o *feedback* háptico durante a tarefa de condução, devido à carga cognitiva adicional. Da mesma forma, num cenário real, as vibrações do veículo poderão ser um fator que cause a mesma situação.

Num estudo realizado por Grane e Bengtsson [46], os autores observaram a performance (na condução) de utilizadores durante a seleção de menus com um dispositivo rotativo com *feedback* háptico. Foram testadas 4 combinações de *feedback* háptico e visual num contexto de condução, usando, para isso, um simulador realista com o LCT (ver 2.6). Na interface visual, 4 itens são apresentados e representados por efeitos hápticos (ou “texturas”) através do dispositivo rotativo.

Foi verificado que todas as interfaces incluídas no estudo aumentaram a quantidade de desvios na condução, contudo apenas as interfaces com *feedback* simplesmente visual e simplesmente visual com fraca componente háptica resultaram em menos linhas rodoviárias cruzadas erroneamente quando comparando com a atividade de conduzir sem realizar atividades secundárias. A interface apenas háptica resultou na falha de notar em alguns sinais rodoviários, enquanto que a interface em que se combinou *feedback* visual e háptico não causou efeitos significativos nas linhas cruzadas ou sinais falhados.

Outros estudos avaliaram a viabilidade de transmitir informação de navegação ao condutor, como a *Haptic Wheel*, desenvolvida por Sungjae Hwang e Jung-hee Ryu [47], onde foram montados 32 atuadores hápticos em torno do volante. O objetivo foi passar informações ao condutor tais como “alerta”, “virar à esquerda” ou “virar à direita” e verificou-se que foi possível reconhecer padrões de duração = 450ms com uma taxa de sucesso de 90,5% e tempo de resposta de 1,5s.

Ploch et al. [48] optaram por uma abordagem menos convencional. Desenvolveram um volante com uma componente móvel na sua superfície. Esta superfície pode rodar independentemente do volante, e “puxa” a palma da mão para cima ou para baixo (sentido horário ou anti-horário). Foi testado num ambiente estacionário, bem como num veículo em movimento e constataram que apesar de ser possível obter uma taxa de sucesso elevada na identificação do movimento, no veículo real, a taxa diminui com o aumento da velocidade do mesmo, até um mínimo de 80%.

Chun et al. [49] aplicaram *feedback* háptico para alerta de perigo devido aos ângulos mortos nas manobras de mudança de via rodoviária. Embutiram atuadores hápticos no volante e no cinto de segurança para este efeito e realizaram uma análise qualitativa, sem um cenário base para comparação. Realizaram 2 estudos com grupos etários diferentes, dos 30 aos 40 anos e dos 50 aos 60 anos. Os utilizadores demonstraram maior satisfação com o *feedback* no volante, principalmente os utilizadores mais velhos, sugerindo que condutores mais velhos estão dispostos a aceitar novos tipos de alertas de segurança.

2.4. Sensibilidade da Mão a *Feedback* Háptico

Em termos de *feedback* háptico no volante, os autores Shakeri et al. [50] avaliaram um volante com 6 atuadores hápticos (3 de cada lado) num cenário de condução simulado. Foram avaliados diversos padrões de *feedback*, bem como o número ideal de atuadores simultâneos e os padrões mais perceptíveis. Foi notado que proporcionar o *feedback* nas palmas das mãos é ideal, visto que ao agarrar um objeto cilíndrico, as palmas exercem força enquanto que *feedback* nos dedos pode resultar numa redução do aperto ou firmeza na operação de condução.

Estudos realizados [51] indicam que há contacto definitivo entre o objeto e a região a cinzento na *Figura 3*, sendo a parte preta menos sensível aos estímulos e a parte branca ainda pior (mais de 20% menos sensível em relação à preta), desta forma os autores concluíram que qualquer tipo de atuação háptica no volante deverá estar presente na zona

cinzenta. Verificou-se, ainda, que o número ideal de pinos para realizar um padrão era 3 ou 4.

Gallace et al. [52], exploraram, também, como o volante de um automóvel pode ser usado como superfície para *feedback* tátil. Os autores mostram que até 4 atuadores simultâneos resultam numa identificação de padrões quase sem erros.

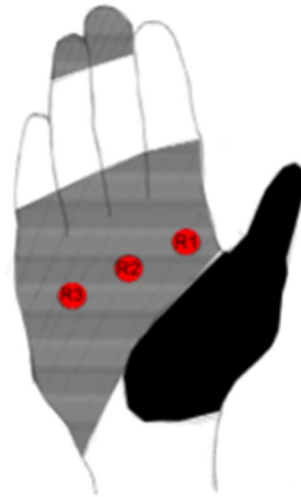


Figura 3. Zonas da mão mais sensíveis a *feedback* háptico [50, Fig. 3]

De notar que neste estudo, os atuadores não são motores de vibração, mas sim pinos que atuam contra a pele num movimento binário (*up-down*). Os resultados mostraram que os resultados foram melhores quando a atuação foi simétrica nas duas mãos e que as melhores aplicações do sistema foram para deteção de ângulos mortos, condições da estrada e informação de navegação.

2.5. Posição das Mãos no Volante

No âmbito de desenvolver um protótipo útil, que utilize o volante como meio para *feedback*, é necessário saber onde os condutores colocam as mãos com mais frequência. Foi referido em 2.4 a zona da mão mais sensível ao *feedback* háptico e com mais contacto com o volante. Jonnson [53] realizou um estudo neste sentido, onde avaliou a posição das mãos dos condutores numa estrada pública com limite de velocidade de 70 km/h, num país em que a posição do volante é à esquerda. Podemos assumir então que os resultados relativos à posição das mãos são simétricos (i.e., posição da mão esquerda corresponde à posição da mão direita e vice-versa) quando a posição do volante é à direita. Verificou-

se uma diferença significativa da posição das mãos entre homens e mulheres. Trinta e oito por cento dos homens e 50% das mulheres tinham a mão esquerda ligeiramente abaixo do centro do volante. Cinquenta e cinco por cento dos homens e 49% das mulheres tinham a mão esquerda acima do centro do volante (sectores 9-12 na *Figura 4*).

Por outro lado, a recomendação mais recente da posição das mãos passou do tradicional *10h and 2h* (sectores 10 e 2 na *Figura 4*) para os sectores 9 e 3, ou seja, nas laterais do volante, a uma altura central, devido a razões de segurança [54].

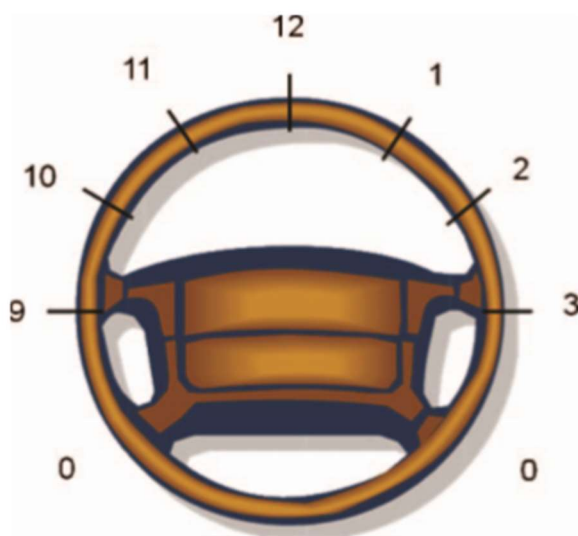


Figura 4. Sectores definidos no estudo para a posição das mãos [53, Fig. 1]

Dado que o protótipo pretendido também se enquadra no contexto de condução com o volante à esquerda e a interação com o infotainment se realizará com a mão direita, os dados relativos à posição da mão esquerda são os resultados com valor para este trabalho.

2.6. Avaliação - *Lane Change Test* (LCT)

No sentido de avaliar o impacto das técnicas apresentadas acima há a necessidade de colocar os utilizadores num ambiente de teste padronizado (standard) e replicável. Para que os resultados que pretendemos obter sejam válidos, é crucial que os utilizadores realizem a tarefa primária (condução) de uma forma clara e realista. A inatenção dos condutores pode ser avaliada de várias maneiras. Uma má condução pode ser caracterizada por um aumento no tempo de reação numa travagem, aumento de falta de contacto visual com a estrada, falha na deteção de sinais rodoviários, entre outras [55]. Sendo assim, é

necessário de simular realisticamente a tarefa da condução de uma forma que nos permita obter resultados válidos e objetivos.

O uso de um simulador é uma escolha óbvia em comparação a realizar os testes num veículo real e numa situação de trânsito real devido às implicações de segurança, não só para o condutor do veículo, mas para todos os restantes condutores e peões. Além disto, o custo e facilidade dos testes são melhorados significativamente com o uso de um simulador.

O termo “simulador” cobre uma grande quantidade de aplicações, desde configurações de PC com um único monitor e um comando ou teclado até configurações completamente imersivas com projeção panorâmica e uma cabine interior de um veículo real. Devido às implicações de custo do segundo exemplo [56], a primeira opção é a escolha óbvia para a nossa aplicação.



Figura 5. Exemplo de um simulador com o software LCT [57]

A metodologia de teste deverá ter baixo custo e uma implementação prática. Uma metodologia de teste, chamada *Lane Change Test* (LCT), tem recebido uma quantidade considerável de atenção, visto demonstrar ser uma medida prática e eficiente dos custos associados à operação de dispositivos num veículo durante a tarefa da condução. Este teste é especialmente atrativo devido ao seu baixo custo e rapidez de implementação, ser padronizado, e não ser restrito à avaliação de apenas um tipo de distração.

O LCT é sujeito ao padrão ISO 26022:2010 [58] que descreve um método dinâmico de 2 tarefas que mede de forma quantitativa a degradação da performance de um condutor na tarefa primária da condução quando realiza uma tarefa secundária. Este

teste é aplicável a qualquer tipo de tarefas secundárias e a qualquer tipo de feedback – visual, auditivo e háptico. O método é aplicável a testes em que o automóvel se desloca a uma velocidade constante. Esta limitação deve-se ao facto de que a tarefa de acelerar ou travar adiciona variáveis indesejadas ao teste e aumenta a carga cognitiva da tarefa a ser realizada.

O LCT é um simulador baseado em *software*, com baixo custo de implementação, orientado à avaliação de tecnologias em veículos. Foi originalmente desenvolvido como parte do projeto *Advanced Driver Attention Metrics (ADAM)* [59] para investigação de novas interfaces no interior dos veículos. Este *software* permite facilitar a avaliação das interfaces em veículos, contudo, está limitado a veículos ligeiros, devido ao modelo de dinâmicas do veículo e à posição assumida do condutor. O input pode ser realizado através de teclado, no entanto, o uso de volante e pedais proporciona um cenário de teste mais realista. Estudos indicam que a mudança de trajetórias é melhorada com esta configuração [60] e que este *software* foi eficaz em avaliar a degradação da performance da condução com realização de tarefas secundárias [61].

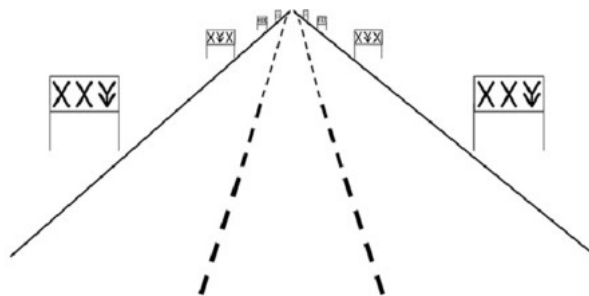


Figura 6. Cenário com 3 vias e sinais regulares [62, Fig. 1]

O teste consiste em conduzir numa estrada com 3 vias de trânsito em que sinais com indicações de mudança de via aparecem em intervalos regulares. É avaliada a capacidade de atenção aos sinais bem como o tempo de reação a executar a mudança indicada pelo sinal.

O simulador LCT permite ainda visualizar um gráfico (Figura 7) com o percurso do carro em relação ao percurso ideal, e medidas como o desvio médio. Esta última medida permite realizar uma avaliação em relação à capacidade de controlo lateral do veículo que o condutor demonstra durante o teste.

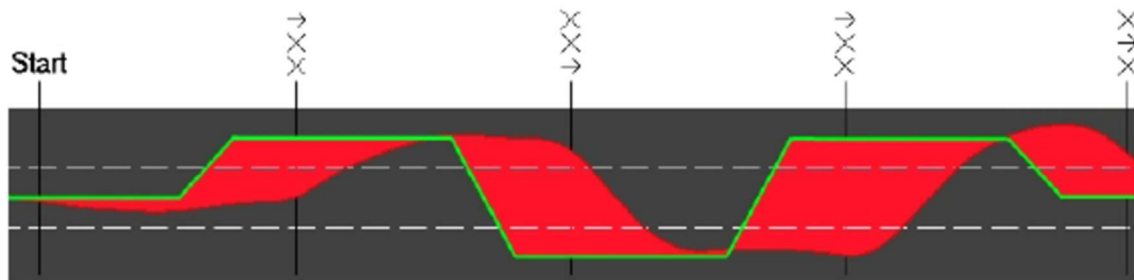


Figura 7. Gráfico com o percurso ideal a verde e o desvio a vermelho [63]

Vários autores (e.g.: [38], [44]–[46], [64]) escolheram o LCT para avaliação e estudo dos seus projetos e obtiveram resultados objetivos e confiáveis. Devido a ser uma metodologia padronizada, utilizada e testada por vários autores, em adição a todos os fatores indicados acima, nomeadamente custo, facilidade de implementação e de obtenção de dados úteis e viáveis, considero esta a melhor opção para uso nos testes deste projeto.

2.6.1. Configurações Comuns de Avaliação

Apesar do LCT ser um ponto comum em muitas das avaliações de novos projetos num automóvel, a configuração e o método de avaliação em si diferem entre as contribuições apresentadas. Nesta secção, apresentamos o método seguido pelas diferentes técnicas de interação avaliadas. Regra geral, os estudos focaram-se na utilização de ambientes simulados com diferentes níveis de fidelidade.

Um estudo que analisou técnicas de interação com ecrãs tácteis [36] realizou os testes com vários utilizadores, 7 homens e 5 mulheres, notando-se que eram todos destros. No contexto da condução, este fator é irrelevante, dado que num automóvel não se pode alterar a posição do volante e da consola central para acomodar esta preferência. A configuração foi montada sempre com o objetivo de replicar um cenário real com a maior fidelidade. Neste caso, pretendiam simular um computador portátil com ecrã táctil e para isso usaram um monitor táctil e um teclado, montando-os numa configuração semelhante à pretendida.

Já em estudos relacionados com interação em automóveis, a tendência é utilizar volantes e pedais para simuladores (e.g., [65]), tal como no estudo [37]. A configuração consistiu em montar o volante numa mesa com os pedais no chão enquanto o utilizador se senta numa cadeira, tentando obter uma posição de condução realista. Foi colocado um monitor de 24 polegadas para mostrar a interface desenvolvida, bem como o *software* de

simulação utilizado [66]. Todos os sons provenientes do carro, tais como som do motor e dos pneus, foram ligados, sempre na tentativa de obter um cenário mais realista.

Noutro estudo [40], foi decidido realizar os testes num automóvel real, onde montaram um *tablet* de 11.5 polegadas e um controlador *Leap Motion*⁹ à consola central do automóvel.

Pitts et al. [19] realizaram os seus testes num simulador mais complexo, consistindo de um interior de automóvel real, mas com o cenário projetado num ecrã curvo de 270°, com ecrãs extra para simular os espelhos do automóvel. O *software* da simulação foi o mesmo utilizado em [37]. O protótipo do sistema (ecrã táctil com capacidades hápticas incluídas) foi mais uma vez montado na consola central, tentando aproximar-se das condições ergonómicas de um sistema de fábrica.



Figura 8. Exemplo de uma configuração de teste com o LCT [64, Fig. 1]

À semelhança deste estudo, um outro teste [67] foi realizado num simulador que consiste num interior de um veículo real e um ecrã de grandes dimensões para projeção do cenário.

Como referido na secção 2.6, o LCT é uma ferramenta comum para este tipo de testes. Vários estudos realizados [38], [44]–[46], [64] utilizaram esta ferramenta devido aos benefícios referidos nessa secção. Por norma, tentaram recriar a configuração do interior de um automóvel, usando volante e pedais para simuladores, um ou mais ecrãs

⁹ <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>

para projetar a simulação do cenário de condução e o protótipo colocado numa posição semelhante à da consola central.

2.7. Conclusões e Solução

Tendo em conta os trabalhos e conceitos expostos neste capítulo, e considerando os seus resultados, custo de implementação e avaliação, decidimos combinar as abordagens de [40] (secção 2.2.2), [42] (secção 2.3), com algumas alterações, na solução proposta em 1.2. Esta proposta é esquematizada na Figura 9.

Para o módulo de *feedback* háptico, o protótipo de [42] (secção 2.3) será usado como inspiração. Uma série de atuadores hápticos será montada na posição do volante referida em 2.5 (secção às 9h), numa disposição a determinar, para que se possa ter flexibilidade no tipo de padrões de vibração a reproduzir. A disposição dos atuadores e a área que irão ocupar terá em conta a área da mão mais sensível a este tipo de *feedback*, referida em 2.4. Para este módulo, será usado um volante de jogos.

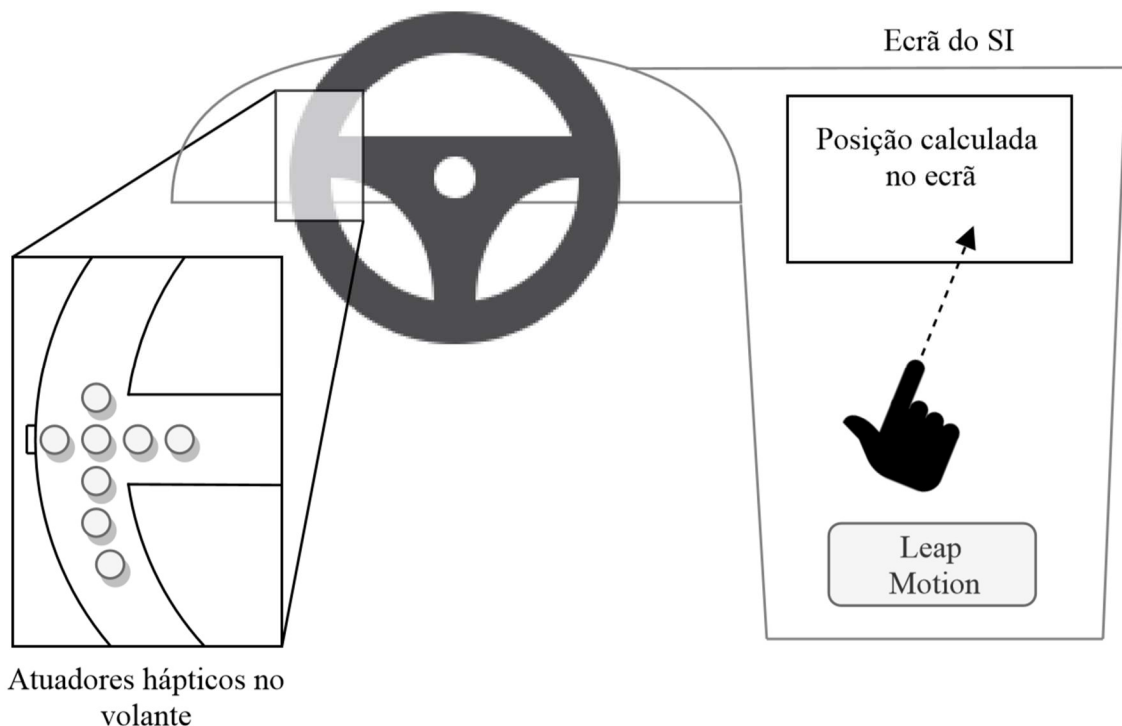


Figura 9. Esquemático da solução proposta

Para o módulo de interação com o SI, da solução proposta, será implementada uma variação da solução apresentada em [40], de modo a que seja possível rastrear a mão direita do condutor e calcular a posição direta para onde está a apontar no ecrã do SI. Com

essa informação posicional será, então, possível proporcionar *feedback* háptico adequado no volante. Além da informação posicional, será proporcionado *feedback* quando algum botão no ecrã é clicado ou quando o condutor passa o dedo pelas arestas dos botões (sem tocar no ecrã). Este *feedback* será proporcionado na forma de uma vibração rápida para simular um clique, visto ser a melhor abordagem, como concluído em [45]. Este mesmo *feedback* será proporcionado ao condutor imediatamente após realizar a ação no SI, visto que se concluiu que a introdução de um atraso entre a ação e o *feedback* afeta negativamente a interação com o SI [19]. Para este módulo, serão usados um tablet e um controlador *Leap Motion*. A disposição dos atuadores permite ainda que sejam reproduzidos padrões sequenciais, caso se pretenda transmitir informações adicionais (e.g.: *swipes* nalguma direção).

Para avaliação, será montado o protótipo fielmente ao interior de um veículo, e serão usados um volante e pedais de jogos para simular a tarefa primária de condução. Será usado o *software* LCT (ver 2.6) que será exibido num monitor. Esta configuração será semelhante à da Figura 8.

As tarefas secundárias (ou terciárias, seguindo a definição de Richter et al. [44]), a que os participantes de teste serão submetidos, serão relacionadas com o sistema de navegação GPS e o sistema de rádio, como referido em 2.1.

O objetivo principal deste projeto será reduzir a distração visual, além de melhorar a performance da condução durante a realização de tarefas secundárias.

Expostos em detalhe a solução proposta e o método de avaliação, apresentamos, nos capítulos seguintes, o processo de implementação de cada um dos subsistemas da solução proposta (1.2). Começamos com 3, onde se expõe trabalho relacionado com o subsistema 1, referente ao módulo de *feedback* háptico.

3. Módulo de *Feedback* Háptico

Neste capítulo descreve-se a implementação e avaliação dos protótipos experimentais relativos à componente háptica da solução proposta. O objetivo desta avaliação não foi apenas confirmar que *feedback* háptico poderia ser usado para transmitir informação, mas também estudar que tipo de informação pode ser transmitida tendo em conta as limitações de um ambiente de condução. De uma forma geral, queríamos confirmar a viabilidade da utilização de *feedback* háptico no volante para a proposta de solução apresentada anteriormente (ver secção 1.2).

Serão aplicadas as conclusões expostas ao longo da Revisão de Literatura, nomeadamente o uso de atuadores hápticos dispostos num padrão, manter a área abrangida pelo padrão dentro, ou razoavelmente perto, da zona da mão mais sensível a este tipo de *feedback*, ter em conta a posição das mãos no volante e, por fim, o tipo de vibração geralmente preferido por utilizadores.

Em cada subcapítulo é apresentado o âmbito de cada protótipo, como foi realizada a sua montagem, qual é o seu funcionamento, como se caracterizam os participantes, qual o procedimento e os resultados dos testes com utilizadores. Por fim, é feito um resumo da contribuição de cada um para o protótipo seguinte e para o protótipo final.

Começamos pela secção 3.1, onde se expõe o primeiro protótipo desenvolvido para o subsistema 1 do sistema *InfoSteer* (ver Figura 9).

3.1. Matriz de Atuadores Hápticos

Nesta fase, pretendeu-se construir um dispositivo que permitisse simular a componente háptica da solução proposta como um estudo preliminar. Assim, tendo em conta o esforço e custo de implementação, foi usado um tubo de PVC para simular a forma cilíndrica de um volante. Neste tubo, foram montados uma série de atuadores hápticos numa disposição de matriz, pois esta disposição demonstrou ser eficaz a transmitir padrões de vibração, tais como *swipes*, através da mão (ver 2.3). No entanto, no estudo referido, a mão era colocada sobre os atuadores com os dedos abertos, portanto houve a necessidade de testar uma configuração semelhante em que os atuadores eram agarrados com a mão fechada.

O objetivo deste protótipo foi avaliar a capacidade de transmitir informação a um utilizador através de padrões de vibração num objeto cilíndrico.

3.1.1. Montagem

Um protótipo inicial foi implementado de forma semelhante a [42] descrito no capítulo 2.3. Foram usados 9 atuadores hápticos dispostos numa matriz com dimensões 3×3 , como exemplificado na Figura 10. O espaçamento entre cada atuador foi definido de modo a que a área ocupada pela matriz se enquadrasse aproximadamente na zona da mão identificada como mais sensível a *feedback* háptico em [50] no capítulo 2.4. Assim, a distância entre o centro de cada atuador foi de aproximadamente 1,5cm. A posição aproximada dos atuadores na palma da mão está esquematizada na Figura 18.

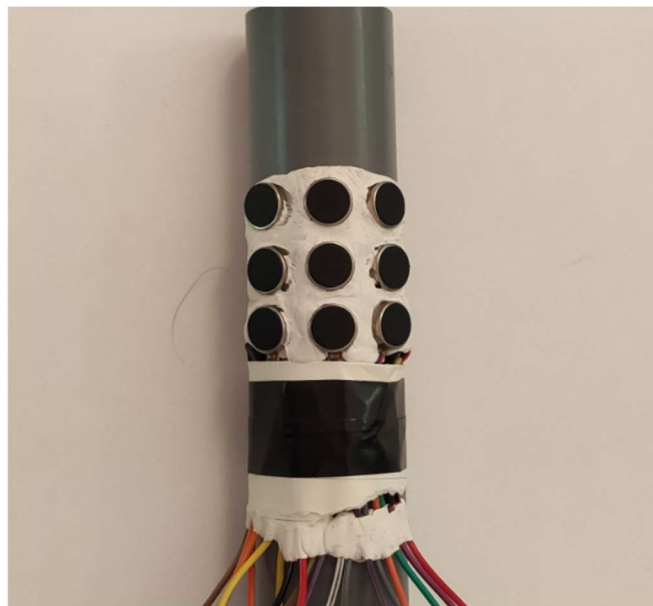


Figura 10. Primeiro protótipo – matriz de atuadores num tubo de PVC

Neste primeiro protótipo, a colagem dos atuadores ao tubo foi feita com *bostik*¹⁰, de forma que os motores ficaram fixos de forma quase sólida com o tubo (Figura 10). Esta abordagem levou a que a vibração de um atuador individual fosse transferida para o tubo e desta forma era impossível distinguir qual dos atuadores estava a vibrar.

Uma montagem diferente foi conseguida, introduzindo um material esponjoso entre os motores e o tubo. Desta forma, cada atuador tem mais alcance de movimento, visto que o material esponjoso permite que cada motor se mova independentemente quando vibra, sem transmitir esse movimento para o tubo.

¹⁰ <https://www.uhu.pt/pt/produto/patafix-branco/4683>

A colagem dos atuadores ao material esponjoso foi feita com fita-cola de dupla face, sendo a própria fita cola feita de um material esponjoso, acentuando os benefícios desta abordagem. Este protótipo, apresentado na figura seguinte (Figura 11), permitiu a fácil identificação de cada atuador individual quando vibravam.

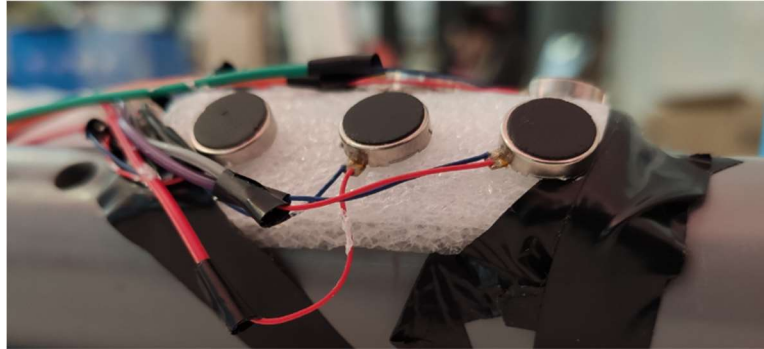


Figura 11. Material esponjoso entre os atuadores e a superfície de montagem

Cada atuador háptico é controlado por um *driver* (ou controlador) que permite uma implementação mais rápida de funcionalidades e fornece uma camada de abstração (em termos de código) dos conceitos mais primitivos. Deste modo, são disponibilizados, por defeito, vários padrões de vibração para cada atuador individual, desde padrões que simulam um clique, até padrões que realizam uma combinação mais complexa de vibrações individuais. Para cada um destes padrões existem, ainda, variações dos mesmos com diferentes intensidades de vibração. Foram testados, informalmente, todos os padrões disponíveis de forma a escolher o que transmitisse *feedback* mais claro e perceptível para o objetivo pretendido.

3.1.2. Funcionamento

De forma a cumprir o objetivo deste protótipo, foram implementados vários padrões que simulam *swipes* em oito direções – cima, baixo, direita, esquerda e respetivas diagonais. Estes primeiros padrões foram testados através de pequenos testes informais entre colegas. Os padrões implementados são ilustrados na figura seguinte (Figura 12), no entanto, foram descartados os padrões diagonais nesta fase porque demonstraram ser difíceis de identificar, causaram confusão com outros padrões e adicionaram complexidade desnecessária à tarefa. Os padrões foram implementados fazendo vibrar sequencialmente os atuadores respetivos. Para este protótipo, o intervalo entre cada ativação individual dos atuadores foi de 100ms, ou seja, para qualquer padrão da imagem

seguinte (Figura 12), em que cada sequência consiste em ativar 3 atuadores, o tempo total de execução desse padrão é dado pela seguinte fórmula:

$$(número\ de\ atuadores - 1) \times intervalo + tempo\ de\ vibração\ individual$$

Isto resulta num tempo total de execução de ~250ms para cada sequência, visto que a ativação de cada atuador é assíncrona (Figura 13).

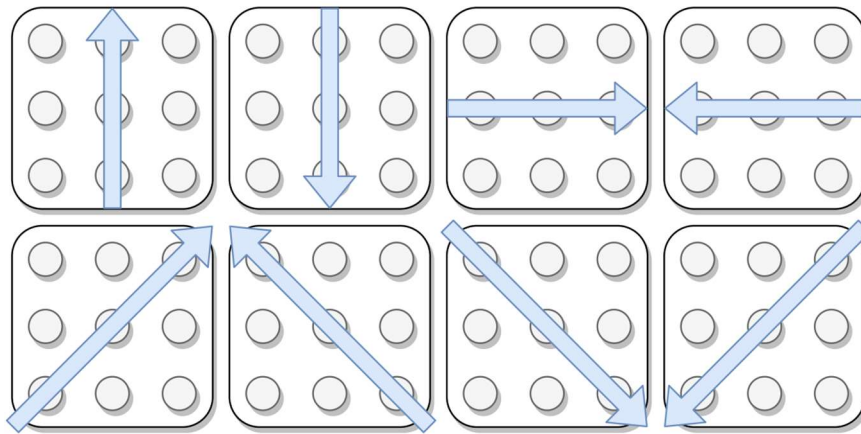


Figura 12. Conjunto de padrões iniciais

O valor do intervalo entre vibrações foi definido como 100ms devido a ser o valor que permitiu uma deteção e distinção entre padrões mais fiável, mantendo o tempo total de execução do padrão aceitável.

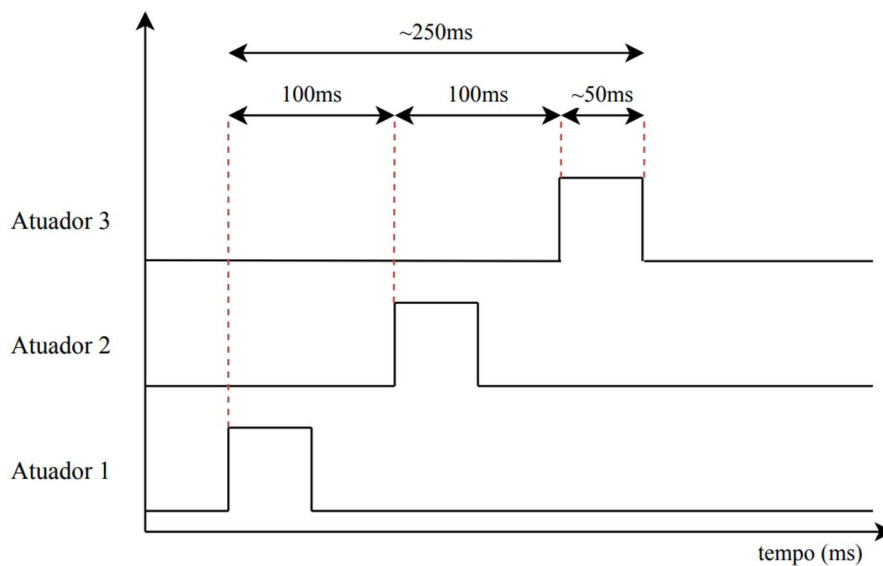


Figura 13. Matriz de atuadores hápticos – Sequência de ativação dos atuadores hápticos

Após esta implementação e tendo em conta que foram descartados os padrões diagonais, foram implementados de novo os 4 padrões restantes, de forma a aproveitar todos os atuadores hápticos, numa tentativa de obter uma percepção e distinção entre padrões ainda melhor. Deste modo, a sequência de cada padrão passou a usar não apenas 3 atuadores, mas sim 9. Isto foi realizado ativando 3 atuadores simultaneamente entre cada intervalo, como representado na imagem seguinte (Figura 14). De notar que como são ativados 3 atuadores simultaneamente em cada fase da sequência, o tempo de execução do padrão continua com o mesmo valor de aproximadamente 250ms.

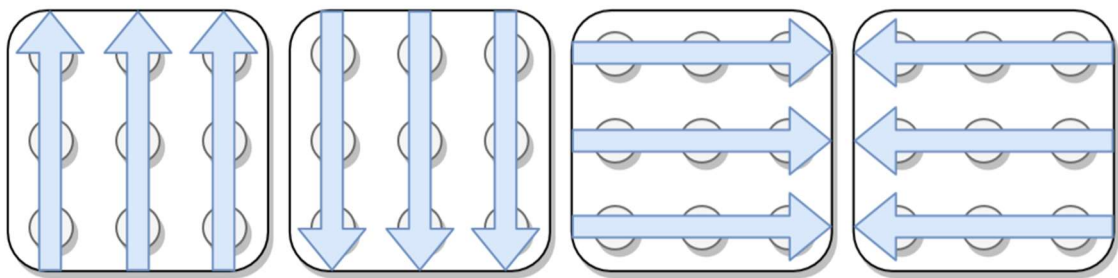


Figura 14. Padrões com ativação de todos os atuadores – *Swipe up*, *Swipe down*, *Swipe right*, *Swipe left*

Tomando o padrão *Swipe up* como exemplo, na iteração anterior (ver Figura 12), apenas era acionada a coluna central numa sequência de baixo para cima. Nesta iteração, são acionadas as 3 colunas de forma semelhante e em paralelo, ou seja, em cada vibração da sequência, são ativados os 3 atuadores da linha inferior em simultâneo, depois os atuadores da linha central e por fim a linha superior. Este procedimento é semelhante para os restantes padrões.

Em suma, o protótipo resultante desta iteração (o qual foi usado para os testes com utilizadores) disponibilizou os padrões da figura anterior (Figura 14) em que o tempo total de execução de cada padrão foi de aproximadamente 250ms, resultante de um intervalo entre vibrações de 100ms.

3.1.3. Avaliação

Para avaliar o funcionamento do protótipo, pretendeu-se analisar a capacidade de participantes identificarem e distinguírem os padrões apresentados acima (Figura 14). Este subcapítulo descreve em detalhe a configuração de teste, bem como cada fase dos testes com utilizadores. Cada utilizador realizou o teste individualmente, com o mínimo de interação com o responsável pelo teste. Os testes foram realizados sempre na mesma

sala e com a mesma configuração. Cada teste teve uma duração de 17 a 24 minutos. O protocolo do teste é resumido na Tabela 1.

	Fase	Duração
1	Introdução	2 minutos
2	Treino	1-3 minutos
3	Teste com Dispositivo	13 minutos
4	Questionário NASA TLX	1 minuto
5	Entrevista	1-5 minutos
Total		17-24 minutos

Tabela 1. Fases do procedimento de teste

Foi criado um simples programa para automatizar o procedimento de teste. O utilizador tinha a seu dispor apenas o dispositivo e um teclado, enquanto que os monitores apenas estavam visíveis ao responsável pelo teste. Desta forma, minimizaram-se as fontes de distração para o utilizador e foi possível mostrar ao responsável algumas informações para verificar e validar o estado do teste (e.g.: qual a série e padrão atuais, teclas pressionadas pelo participante, etc.). A imagem seguinte (Figura 15) representa a configuração de testes usada.



Figura 15. Configuração de testes

3.1.3.1. Procedimento - Introdução

No início do teste foi feita uma introdução breve do responsável e do âmbito deste projeto. Foram recolhidos também alguns dados demográficos que pudessem ser úteis na análise dos resultados, tais como a mão dominante, a posse de carta de condução e, em caso positivo, com que frequência conduz. Além destes, também foram recolhidos as idades e o género apenas para fins estatísticos. Ainda nesta fase, foi introduzido o dispositivo que seria usado para realizar o teste. Foi mostrado como segurar o mesmo, e algumas dicas foram dadas sobre como obter melhor conforto e contacto com os atuadores hápticos. Os padrões foram reproduzidos e identificados verbalmente pelo responsável pelo teste. Foi ainda esclarecido a orientação dos padrões (cima, baixo, etc.), devido à orientação vertical do dispositivo.

3.1.3.2. Procedimento - Treino

Nesta fase, pretendeu-se familiarizar os participantes com o dispositivo desenvolvido bem como com o ambiente do teste. Para isto o utilizador foi informado que podia utilizar o as teclas direcionais do teclado para reproduzir os diferentes padrões (e.g.: tecla *Cima* reproduz o padrão *Swipe up*). Foi indicado ao participante que deveria reproduzir todos os padrões e ajustar a mão até que se sentisse confortável em identificar e distinguir todos os padrões. Este processo foi repetido várias vezes até o participante estar confiante para começar o teste. Cada participante treinou todos os padrões e no total todos os participantes testaram no mínimo 20 padrões.

Foi referido que apenas são dados 3s para responder. Isto faz com que o utilizador sinta alguma pressão, o que permitiu obter resultados mais úteis, visto que a identificação rápida dos padrões era um requisito do teste. Foi referido ainda que o utilizador podia corrigir a resposta antes do padrão seguinte (dentro da janela de 3s). Finalmente, foi indicado que o utilizador podia iniciar o teste quando quisesse, clicando *Enter*.

3.1.3.3. Procedimento - Teste com Dispositivo

Após a fase de treino cada participante foi informado que durante o teste teria apenas 3 segundos para indicar qual o padrão reproduzido e que a resposta seria obrigatória. Foi também explicado que as respostas eram submetidas através das teclas direcionais de um teclado. Durante este procedimento, o participante segura o dispositivo com a mão esquerda e opera o teclado com a mão direita (ver Figura 15).

O teste consistiu em realizar 11 séries, em que cada série reproduziu 20 padrões, perfazendo um total de 220 padrões. Em cada série foram repetidos 5 vezes cada padrão, sendo a ordem dos mesmo aleatória entre cada série. A primeira série foi apenas para teste e assegurar que o participante se ambienta ao procedimento, pelo que os resultados desta série não foram armazenados. Este facto foi omitido dos participantes e apenas foi referido que iam ser submetidos a 10 séries.

O teste foi completamente automatizado, sendo que após o seu início a participação do responsável pelo teste foi desnecessária. Entre cada série houve um intervalo de 10 segundos para o utilizador descansar ou ajustar a mão. Em cada série, como referido anteriormente, foram reproduzidos 20 padrões em ordem aleatória (5 repetições de cada um dos 4 padrões).

3.1.3.4. Procedimento - Questionário NASA TLX

Após o teste, foi pedido que cada utilizador respondesse a um curto questionário padrão desenvolvido pela NASA [68], que é uma ferramenta de análise subjetiva de uma carga de trabalho. Este questionário foi escolhido por ser usado frequentemente para realizar análises de utilizadores que trabalham com diversos sistemas de interface humano-computador (e.g.: usado mundialmente para avaliação em diversos ambientes, tais como cockpits de aviões, estações de comando, controlo e comunicações, entre outros). Finalmente, o questionário resulta numa média ponderada de pontuações baseadas em 6 subescalas (exigência mental, exigência física, exigência temporal, performance, esforço e frustração).

3.1.3.5. Procedimento - Entrevista

A última fase do procedimento consistiu em questionar os utilizadores sobre o que acharam do teste, do dispositivo, e se tinham sugestões sobre como melhorar algum aspeto do protótipo. Foi questionado, também, se existiram situações de dificuldade em distinguir padrões e o que acharam que causou essa dificuldade. Além destas perguntas essenciais, os utilizadores tiveram liberdade para comentar ou sugerir qualquer aspeto que considerassem pertinente, pelo que esta foi a fase do procedimento que demonstrou mais variação em termos de duração.

3.1.4. Participantes

O estudo contou com a participação de 10 utilizadores, com idades entre os 22 e os 33 (média = 25,7) anos. Os participantes foram recrutados numa tentativa de obter um equilíbrio entre homens e mulheres, sendo que 60% foram homens e 40% foram mulheres. A tabela seguinte (Tabela 2) resume a caracterização dos participantes.

	Idade	Género	Mão Dominante	Carta de Condução	Frequência de Condução
1	29	Feminino	Direita	Sim	Frequente
2	26	Feminino	Direita	Sim	Frequente
3	22	Masculino	Direita	Sim	Frequente
4	26	Masculino	Direita	Sim	Frequente
5	33	Masculino	Direita	Sim	Frequente
6	24	Masculino	Direita	Sim	Semi-frequente
7	22	Masculino	Direita	Sim	Frequente
8	25	Masculino	Direita	Não	Nunca
9	22	Feminino	Esquerda	Sim	Ocasional
10	28	Feminino	Direita	Não	Nunca

Tabela 2. Matriz de atuadores hápticos – Caracterização dos participantes

Noventa por cento (90%) dos participantes eram destros e 80% tinham carta de condução. Destes, 5 (62,5%) consideraram que conduziam frequentemente. Dos restantes utilizadores com carta de condução, 1 não conduzia frequentemente, 1 conduzia algo frequentemente e 1 conduzia ocasionalmente. De notar que na tabela anterior (Tabela 2), em relação à frequência de condução, “frequente” significa conduzir 5 a 7 vezes por semana, “semi-frequente” significa conduzir 3 a 4 vezes por semana, e “ocasional” significa conduzir 2 ou menos vezes por semana.

3.1.5. Resultados e Análise

Os resultados obtidos neste teste foram piores do que o esperado. Testes breves e informais indicaram percentagens de respostas corretas perto de 70%. Contudo, verificou-se que esta estimativa não foi representativa dos resultados obtidos, como demonstra a

seguinte tabela (Tabela 3). Foram ignorados os *outliers* (participante 6 na Tabela 3) na análise dos resultados.

	<i>Swipe Up</i>	<i>Swipe Down</i>	<i>Swipe Right</i>	<i>Swipe Left</i>	Total
Participante 1	48,00%	70,00%	56,00%	60,00%	58,50%
Participante 2	28,00%	60,00%	44,00%	42,00%	43,50%
Participante 3	34,00%	54,00%	52,00%	72,00%	53,00%
Participante 4	46,00%	30,00%	48,00%	56,00%	45,00%
Participante 5	28,00%	62,00%	24,00%	40,00%	38,50%
Participante 6	74,00%	78,00%	90,00%	98,00%	85,00%
Participante 7	22,00%	66,00%	50,00%	86,00%	56,00%
Participante 8	6,00%	18,00%	74,00%	72,00%	42,50%
Participante 9	60,00%	28,00%	44,00%	30,00%	40,50%
Participante 10	54,00%	70,00%	72,00%	58,00%	63,50%
Média (sem outliers)	36,22%	50,89%	51,56%	57,33%	49,00%

Tabela 3. Matriz de atuadores hápticos – Média total e de cada padrão

No total, os participantes identificaram corretamente 49% (SD = 8,92%) dos padrões. Em termos de padrões individuais, o padrão *Swipe up* obteve o pior resultado, com 36,22% (SD = 17,22%) de respostas corretas, seguido do padrão *Swipe down* com 50,89% (SD = 20,05%) de respostas corretas. Os padrões *Swipe right* e *Swipe left* obtiveram as melhores taxas de sucesso, com 51,56% (SD = 15,13%) e 57,33% (SD = 17,83%), respectivamente. Estes resultados sugerem uma maior facilidade em identificar e diferenciar entre os padrões horizontais em comparação com os padrões verticais.

Foi esperado que, ao longo do teste, a taxa de sucesso aumentasse devido não só aos ajustes que os participantes realizassem na forma como agarravam o dispositivo, mas também tendo em conta o fator de aprendizagem pelo uso repetido do mesmo. O gráfico seguinte (Figura 16) representa as taxas de sucesso médias de cada série ao longo do teste.

Notamos que não houve uma evolução clara da taxa de sucesso na identificação de padrões. Ao contrário do esperado, a taxa de sucesso diminuiu gradualmente, apesar de na primeira série ter sido conseguida uma taxa de sucesso acima de 50%.

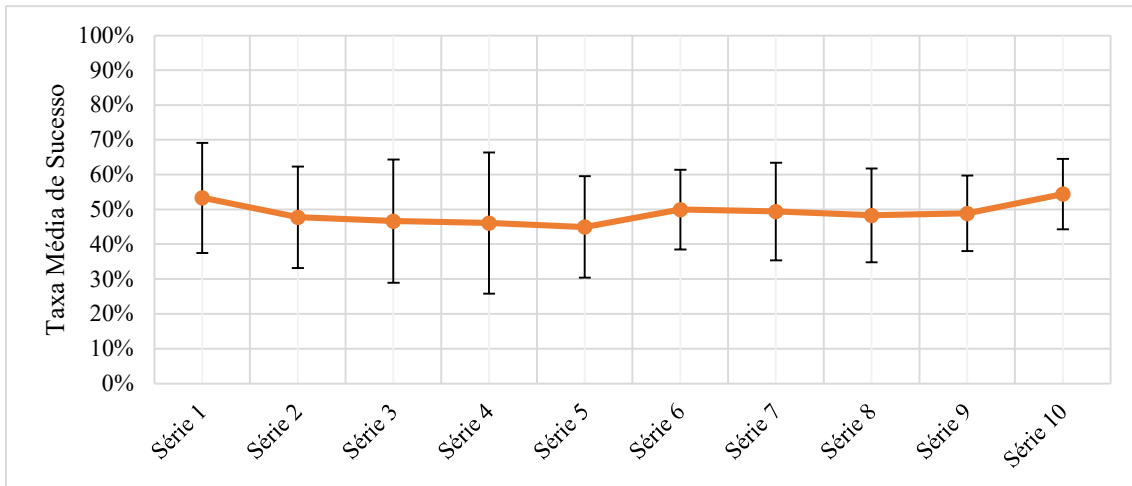


Figura 16. Matriz de atuadores hápticos – Taxas médias de sucesso ao longo do teste

A meio do teste a percentagem de respostas corretas volta a subir e estabiliza entre 48% e 50%, antes de subir de novo na última série para 54,44% (SD = 10,14%). Não se verifica uma linha de tendência positiva, contudo, pode ser considerada a existência de evolução a partir da série 5.

Os resultados do questionário NASA TLX foram calculados sem pesos, visto ser uma maneira válida de aplicar o questionário [69]. Também foi ignorado o utilizador identificado como *outlier*. Os resultados do questionário são apresentados no gráfico seguinte (Figura 17).

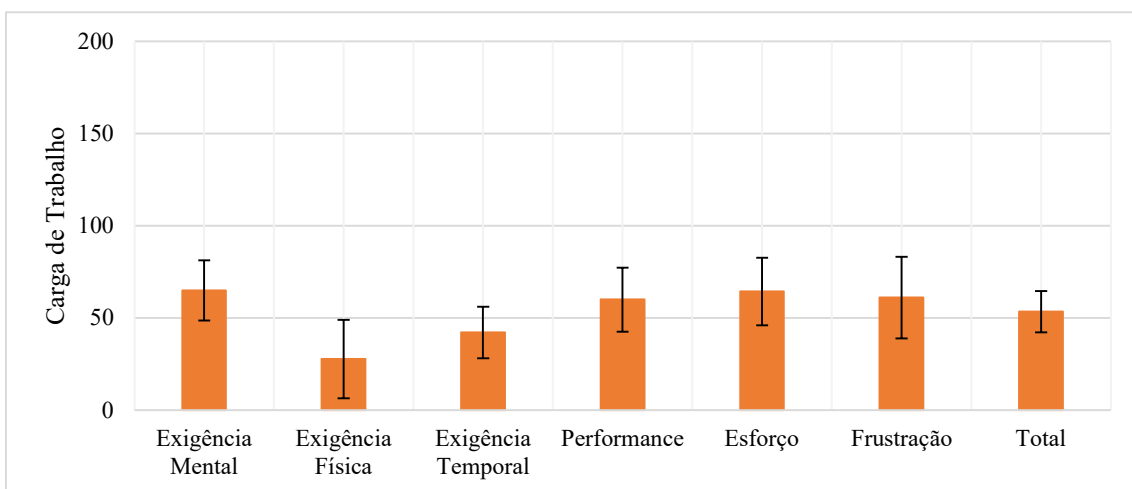


Figura 17. Matriz de atuadores hápticos – Valores médios do NASA TLX

A média global de todos os parâmetros resultou num valor de 53,43 (SD = 11,21), num intervalo de resultados possíveis entre 0 e 200, onde 0 seria o melhor resultado. Estes

resultados alusivos à carga de trabalho subjetiva são positivos, visto enquadrarem-se na metade inferior do intervalo de resultados possíveis. Isto indica que a utilização do dispositivo não demonstrou ser uma tarefa árdua ou que sobrecarregasse os utilizadores. Mais especificamente, o resultado alusivo à exigência física foi muito positivo, com um valor médio de 27,78 (SD = 21,23), pelo que se conclui que a tarefa de identificar os padrões não é cansativa. A exigência mental apresenta um valor de 65,00 (SD = 16,39), que apesar de superior à exigência física, ainda se enquadra na metade inferior do intervalo de resultados possíveis.

As entrevistas finais permitiram compreender algumas limitações do protótipo que não foram detetadas durante o seu desenvolvimento e testes limitados. Apesar das sugestões sobre como agarrar no dispositivo, um dos atuadores hápticos não fez contacto com a mão em quase todos os utilizadores (identificado na Figura 18).

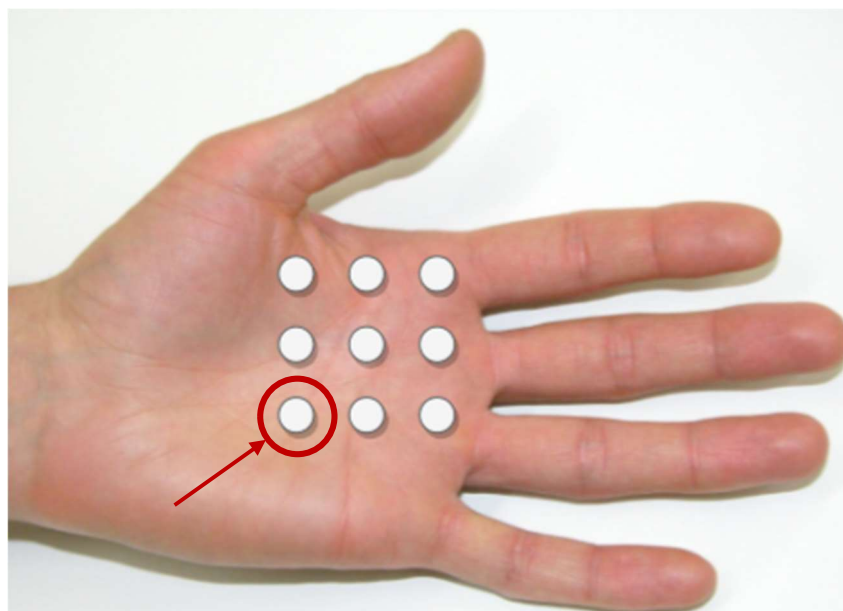


Figura 18. Posição aproximada da matriz na mão

O facto de este atuador não contactar com a palma da mão fez com que muitos dos padrões fossem mal identificados, com alguns participantes notando que certos padrões pareciam ser diagonais.

Da mesma forma que o mau contacto deste atuador causou confusão, foi notado que todos os atuadores nos vértices da matriz causaram o mesmo sintoma, indicando que a abordagem de ativar as 3 colunas ou as 3 linhas da matriz em paralelo acabou por gerar resultados menos positivos, contrariamente ao que foi esperado.

Outras sugestões indicaram que a área abrangida pela matriz devia ser maior. Para isto, foi sugerido aumentar o espaço entre os atuadores ou o número dos mesmos. Desta forma, haveria uma maior distinção entre a posição do primeiro e do último atuador de cada padrão, o que iria facilitar a sua identificação.

No mesmo intuito, foi sugerido que as vibrações individuais deveriam ser mais fortes e longas, de modo a eliminar os pontos mortos resultantes do intervalo entre vibrações. Assim, o padrão iria simular de melhor forma um movimento de deslize mais suave, em vez de 3 vibrações individuais e distintas.

Apesar da taxa de sucesso obtida (cerca de 50%), no geral, os utilizares referiram falta de confiança nas suas respostas. Por outro lado, quase todos referiram que na fase de treino conseguiam identificar claramente a direção e sentido de todos os padrões porque associavam-no a uma ação (clicar numa das teclas direcionais). Esta observação foi encorajadora, porque num cenário real, em interação com um sistema de *infotainment*, o utilizador vai saber, mesmo que vagamente, se está a fazer um movimento numa certa direção, e assim associar o respetivo padrão a essa ação.

3.1.6. Sumário

Foi demonstrado que é possível detetar e identificar padrões através de *feedback* háptico na palma da mão num curto intervalo de tempo, apesar de os resultados não serem os esperados. Verificou-se alguma variação entre padrões e entre utilizadores. A taxa de sucesso inferior a 50% não foi aceitável e este protótipo seria um impedimento no contexto do sistema completo do *InfoSteer*.

Este estudo inicial revelou limitações significativas do protótipo. Por outro lado, permitiu planear a montagem de um segundo protótipo e prevenir/corrigir muitas das limitações encontradas nesta fase, nomeadamente, eliminar a confusão causada pelos atuadores nos vértices da matriz, tentar montar os atuadores numa disposição que abranja maior área da palma da mão (tendo sempre em conta as conclusões da secção 2.4) e reproduzir as vibrações numa tentativa de simular um *swipe* com maior eficácia.

3.2. Cruz de Atuadores Hápticos

Após os resultados do protótipo anterior (ver 3.1), foi necessário rever a componente háptica para que se conseguisse um protótipo capaz de transmitir informação a utilizadores com uma elevada taxa de sucesso. Outro objetivo foi testar a solução num

ambiente mais próximo do real – um ambiente de condução. Deste modo, os mesmos atuadores hápticos foram dispostos, desta vez num volante, em forma de cruz, com o objetivo principal de conseguir uma taxa de sucesso elevada na tarefa de reconhecimento de padrões. Para atingir esta taxa de sucesso, tivemos em conta as conclusões do protótipo anterior, bem como as sugestões e observações dos utilizadores, para tentar resolver todos os defeitos do mesmo.

3.2.1. Montagem

Nesta nova abordagem, os atuadores hápticos foram dispostos em forma de cruz, com 5 atuadores em cada eixo (1 comum a ambos os eixos, num total de 9 atuadores), eliminando, assim, os atuadores dos vértices e aumentando a área abrangida pelos restantes. Foi mantido o espaçamento de 1,5cm entre os centros dos atuadores. Desta forma, devido à maior área ocupada pelos atuadores, o protótipo adequa-se a um maior número de utilizadores, com mais variedade nas dimensões das mãos. A montagem foi feita às 9h do volante (ver Figura 19), visto ser a posição recomendada para segurar o volante no capítulo 2.5.

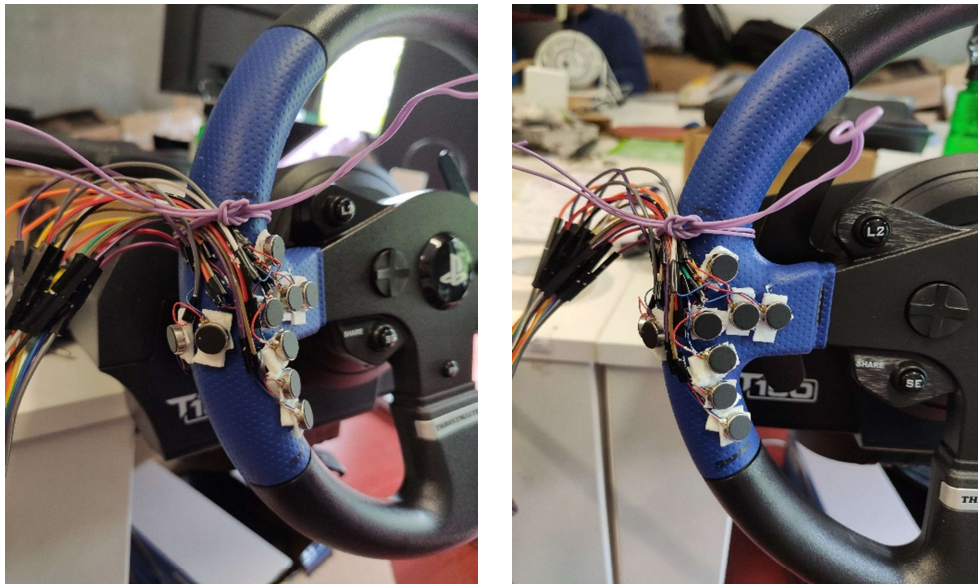


Figura 19. Cruz de atuadores num volante – Montagem com fita-cola esponjosa de dupla face

Como foi referido em 3.1.1, uma interface esponjosa entre a superfície de montagem e os atuadores permite distinguir qual dos atuadores está ativo num determinado momento. No entanto, a fita-cola usada descolava facilmente após colocar a mão sobre os sensores. Foi escolhida uma montagem mais permanente para resolver este

problema. Os motores foram montados ao volante sobre o mesmo material esponjoso da Figura 11 e a fixação (do material ao volante e dos atuadores ao material) foi feita com cola universal, como se pode ver na figura seguinte (Figura 20).

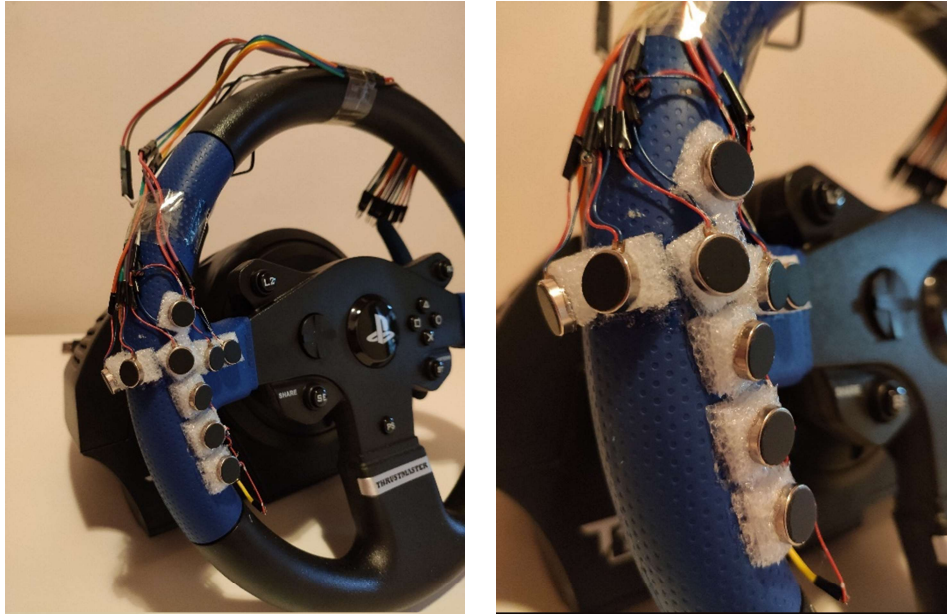


Figura 20. Cruz de atuadores hápticos – Montagem com cola universal e material esponjoso

Nesta segunda abordagem também foram organizados os fios para que não interferissem com o utilizador nem com o manuseio do volante (é possível rodar o volante pelo menos 180°). Este passo não foi fundamental nesta fase, já que o procedimento de teste para este protótipo não envolveu manejar o volante. Contudo, tentar encontrar uma solução para este problema seria necessário para os testes do sistema final.

3.2.2. Funcionamento

Com o objetivo de melhorar a eficácia do protótipo anterior (3.1), foram implementados os mesmos 4 padrões referidos em 3.1.2 (*swipe up*, *swipe down*, *swipe right*, *swipe left*), esquematizados na Figura 23.

Apesar de esta disposição abranger uma maior área na mão, foi possível manter os atuadores aproximadamente em contacto com a zona da mão mais sensível a *feedback* háptico (ver Figura 3). A Figura 22 esquematiza a posição aproximada da nova disposição de atuadores.

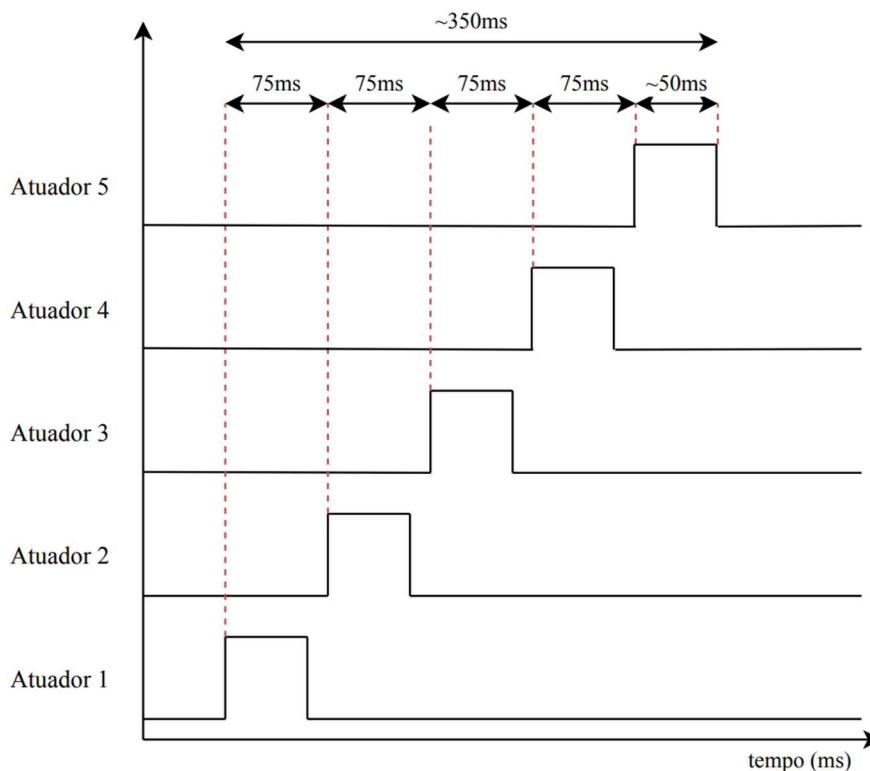


Figura 21. Cruz de atuadores hápticos – Tempo total de um padrão

Nesta iteração, a vibração de cada atuador foi mais intensa e o intervalo entre cada ativação individual foi reduzido para que o padrão fosse percebido pelos participantes como mais fluído. Foi escolhido um intervalo de 75ms entre ativações, resultando num tempo de aproximadamente 350ms por padrão (ver Figura 21). Com esta implementação, pontos mortos entre cada atuador são quase impercetíveis (intervalo entre atuações).

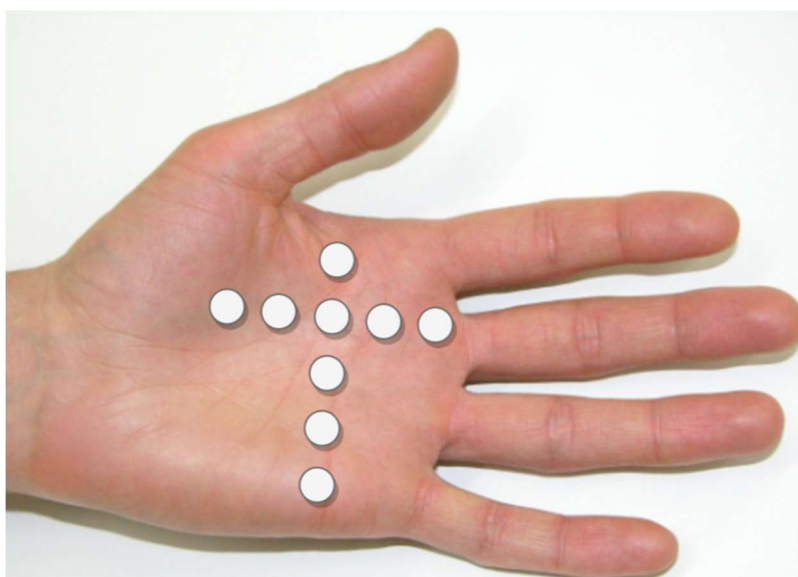


Figura 22. Posição aproximada da cruz na mão

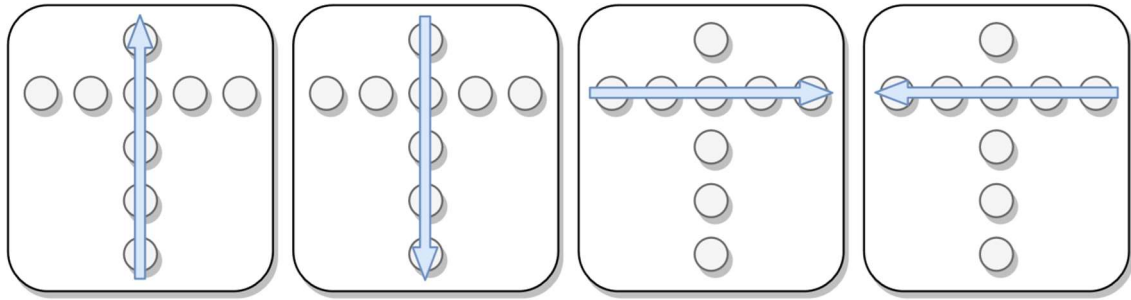


Figura 23. Cruz de atuadores hápticos – Padrões de vibração

3.2.3. Procedimento de Teste

O procedimento de teste aplicado a este protótipo foi idêntico ao descrito em 3.1.3, na Tabela 1, de modo a não introduzir variáveis novas e poder comparar e validar os resultados obtidos com os resultados anteriores. Apenas foi alterada a configuração de teste, dado que foi usado um volante em vez de um simples tubo. O volante foi fixado numa mesa e o teclado colocado ao seu lado direito. A restante configuração manteve-se igual à Figura 15.

3.2.4. Participantes

Foram realizadas 3 sessões de testes para avaliar o protótipo, com um total de 18 utilizadores. Foram escolhidos participantes novos, que não fizeram parte dos testes do protótipo anterior, de modo a evitar casos em que a experiência dos testes anteriores alterasse os novos resultados. Além disto, recrutar participantes sem experiência prévia vai de encontro ao objetivo de realizar os testes com as mesmas condições do protótipo anterior, já que os participantes originais também não tinham experiência com o protótipo. A primeira sessão, feita com 5 utilizadores, foi realizada com a primeira montagem (ver 3.2.1, Figura 19). Devido a falhas na montagem, os resultados desta sessão demonstraram ser inválidos e serão descartados, pelo que, daqui em diante, apenas serão expostos e analisados os resultados das restantes sessões, cujos participantes estão caracterizados na seguinte tabela (Tabela 4).

Os participantes pertencem à faixa etária entre os 20 e 38 anos de idade (média = 24,6). Nove dos participantes eram masculinos (69%), e os restantes femininos (31%). Todos os participantes eram destros, e apenas um não tinha carta de condução. Dos participantes com carta de condução, 8 conduziam frequentemente, 2 conduziam semi-frequentemente e 2 conduziam ocasionalmente (ver caracterização das frequências de condução em 3.1.4).

	Idade	Género	Mão Dominante	Carta de Condução	Frequência de Condução
1	20	Masculino	Direita	Não	Nunca
2	22	Feminino	Direita	Sim	Frequente
3	25	Masculino	Direita	Sim	Ocasional
4	22	Feminino	Direita	Sim	Frequente
5	22	Masculino	Direita	Sim	Ocasional
6	21	Feminino	Direita	Sim	Frequente
7	22	Masculino	Direita	Sim	Frequente
8	30	Masculino	Direita	Sim	Frequente
9	24	Feminino	Direita	Sim	Frequente
10	38	Masculino	Direita	Sim	Frequente
11	28	Masculino	Direita	Sim	Frequente
12	21	Masculino	Direita	Sim	Semi-frequente
13	25	Masculino	Direita	Sim	Semi-frequente

Tabela 4. Cruz de atuadores hápticos – Caracterização dos participantes

3.2.5. Resultados e Análise

Os resultados deste estudo foram de encontro às expectativas. Com as melhorias no protótipo, seria de esperar uma melhoria nos resultados obtidos e testes breves e informais suportaram esta expectativa. De facto, verificou-se uma melhoria enorme no sucesso na identificação de padrões, como mostra a Tabela 5. Na seguinte análise serão ignorados os resultados do participante 1 na Tabela 5, identificado como *outlier*. Esta decisão tem como base o facto de este participante ter realizado uma avaliação preliminar do protótipo após a nova montagem, e num ambiente diferente dos restantes participantes.

No total, os padrões foram identificados com sucesso em 96,79% (SD = 2,76%) dos casos, uma melhoria considerável em comparação à taxa de sucesso de 49% (SD = 8,92%) do protótipo anterior (3.1). Não se verificou grande diferença entre os padrões individuais (todos com sucesso entre 95% e 98%). Aplicando o teste de Kruskal-Wallis ($p > 0,05$), confirma-se que não houve diferença significativa entre cada padrão individual. Aplicando o mesmo teste ($p < 0,05$) aos resultados entre participantes, verifica-se a existência de diferenças significativas. Para este teste, foi calculada uma média das taxas

de sucesso de cada sessão, resultando em 10 pontos por participante. Apesar de todos os participantes terem obtido uma taxa de sucesso acima de 75%, o participante 1 obteve resultados consideravelmente piores que os restantes participantes.

	<i>Swipe Up</i>	<i>Swipe Down</i>	<i>Swipe Right</i>	<i>Swipe Left</i>	Total
Participante 1	88,00%	78,00%	78,00%	66,00%	77,50%
Participante 2	98,00%	96,00%	96,00%	98,00%	97,00%
Participante 3	92,00%	98,00%	90,00%	90,00%	92,50%
Participante 4	92,00%	98,00%	90,00%	92,00%	93,00%
Participante 5	96,00%	96,00%	94,00%	96,00%	95,50%
Participante 6	98,00%	100,00%	90,00%	98,00%	96,50%
Participante 7	100,00%	98,00%	100,00%	100,00%	99,50%
Participante 8	98,00%	98,00%	88,00%	92,00%	94,00%
Participante 9	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Participante 10	100,00%	94,00%	96,00%	92,00%	95,50%
Participante 11	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Participante 12	100,00%	96,00%	98,00%	98,00%	98,00%
Participante 13	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Média (sem outliers)	97,83%	97,83%	95,17%	96,33%	96,79%

Tabela 5. Cruz de atuadores hápticos – Média total e de cada padrão

Esta observação confirma-se pela comparação a pares de um teste de Kruskal-Wallis, que resultou em 12 diferenças significativas entre o participante 1 e os restantes. Para este teste calculou-se a média de cada sessão por participante, resultando assim numa tabela com 10 linhas (sessões) e 13 colunas (participantes). Conclui-se que se conseguiu obter uniformidade, entre utilizadores, no esforço requerido para identificar e distinguir qualquer um dos 4 padrões.

O gráfico seguinte (Figura 24) resume os resultados obtidos ao longo do teste. Mais uma vez, não se verificou uma linha de tendência positiva. No entanto, todas as séries mostraram uma taxa média de sucesso superior a 95%. Houve muito pouca variação nos resultados, e um máximo de 98,75% (SD = 2,26%) foi atingido na série 9. Podemos

afirmar que, desde a primeira série até o fim do teste, o protótipo permitiu uma identificação correta e consistente de qualquer um dos 4 padrões.

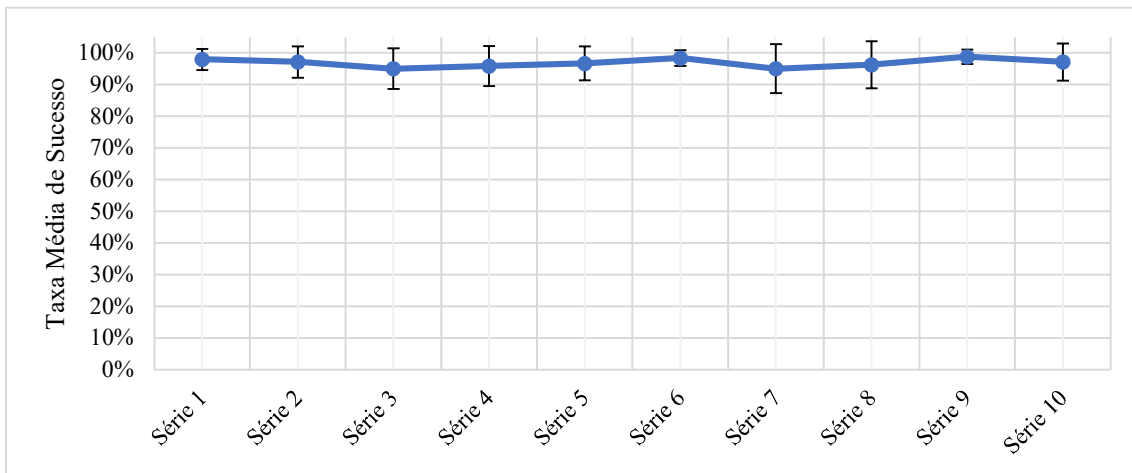


Figura 24. Cruz de atuadores hápticos – Taxas médias de sucesso ao longo do teste

Analisando os resultados do questionário NASA TLX (Figura 25), observamos que a média total de todos os parâmetros deste teste foi de 38,26 (SD = 16,57), o que demonstra uma redução na carga de trabalho subjetiva em relação ao protótipo anterior (53,43, ver 3.1). Todos os parâmetros obtiveram uma média <50, exceto no Esforço, onde se verificou uma média de 51,25 (SD = 27,64), ou seja, encontram-se no quarto inferior do intervalo de resultados possíveis. Nota-se a redução mais drástica no parâmetro da Frustração, com um resultado de 15,83 (SD = 12,03). Tendo em conta a elevada taxa de sucesso na identificação e distinção de padrões, conclui-se que além de não ser uma tarefa árdua ou cansativa, o uso deste protótipo é intuitivo e fácil.

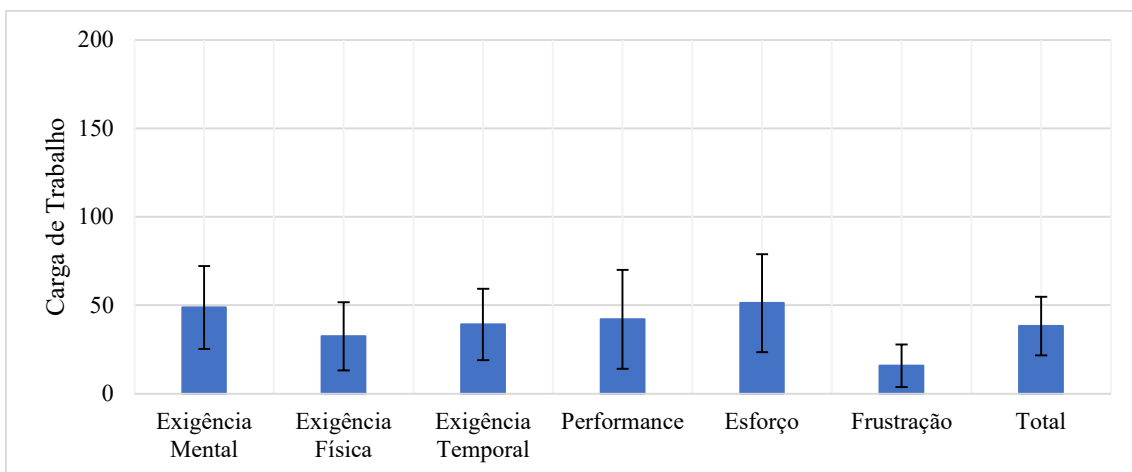


Figura 25. Cruz de atuadores hápticos – Valores médios do NASA TLX

As entrevistas finais revelaram pouca ou nenhuma frustração por parte dos participantes, menos sugestões de como melhorar o protótipo e, no geral, mais confiança nas suas respostas. Todos estes pontos revelam melhorias consideráveis em relação ao primeiro protótipo (ver 3.1).

3.2.6. Matriz vs Cruz de Atuadores Hápticos

Apresentamos, aqui, uma comparação dos resultados de ambos os protótipos experimentais, relativos ao módulo de *feedback* háptico, para fácil comparação. Em relação à taxa de sucesso total, houve uma evolução de 49% para 96,79%, que representa um aumento de quase 2×. Além desta melhoria, verificou-se um desvio padrão muito inferior em todas as séries e, por consequência, na média total (2,76% vs 8,92%), demonstrando a uniformidade entre utilizadores na identificação bem-sucedida dos padrões. O gráfico seguinte (Figura 26) ilustra a melhoria nas taxas de sucesso ao longo do teste.

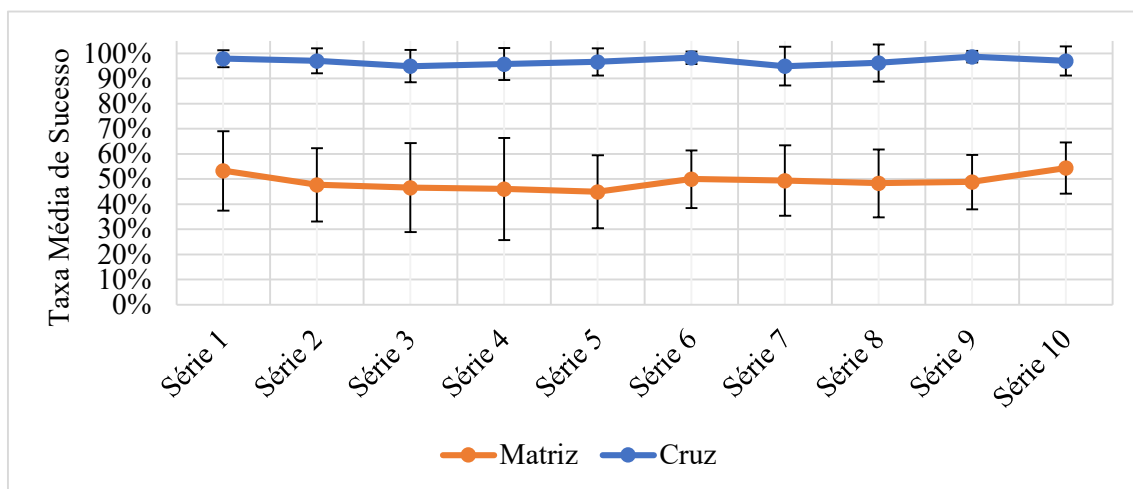


Figura 26. Matriz vs Cruz – Melhoria nas taxas de sucesso

A falta de uma linha de tendência no primeiro protótipo (3.1) demonstrou que o seu uso continuado não fez com que fosse mais fácil detetar e identificar padrões. No segundo protótipo (3.2), verificou-se a mesma falta da linha de tendência, contudo, os valores perto de 100%, ao longo do teste, revelam uma facilidade consistente no seu uso. Relativamente aos resultados do NASA TLX, a carga de trabalho subjetiva foi reduzida, apesar de não se ter verificado uma melhoria tão drástica como a verificada na taxa de sucesso. Os resultados do questionário são expostos no gráfico seguinte (Figura 27).

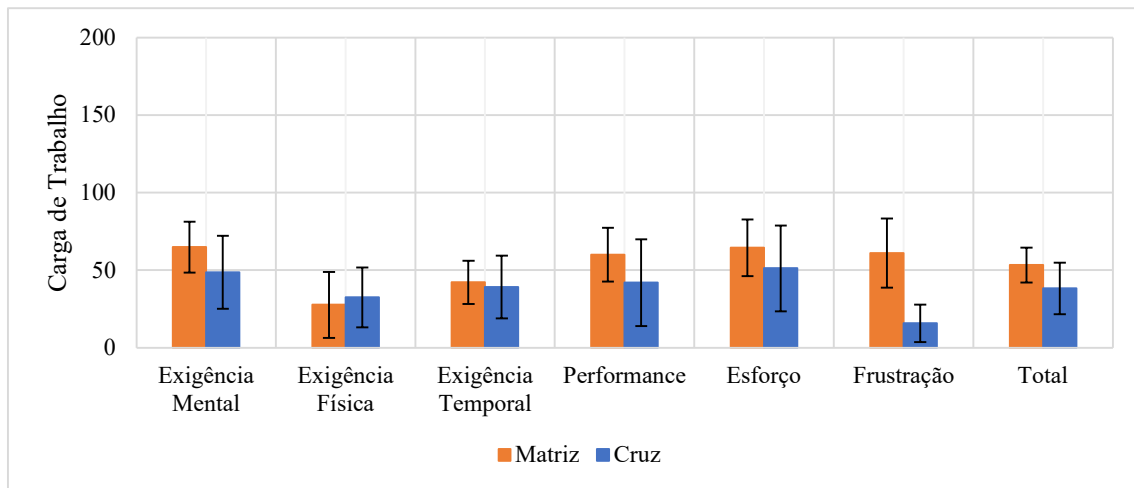


Figura 27. Matriz vs Cruz – Melhoria no NASA TLX

Notou-se a maior melhoria na exigência mental, com uma redução de 65 para 48,75 (melhoria de 25%), na performance percebida, com uma redução de 60 para 42,08 (melhoria de 29,87%), e na frustração, com uma redução de 61,11 para 15,83 (melhoria de 74,1%). No resultado total verificou-se uma redução de 53,43 para 38,26 (melhoria de 28,48%). Especial atenção aos resultados do parâmetro Frustração, onde se verificou a maior melhoria. A frustração é algo que afeta muitos condutores, e sendo o SI um dispositivo com o qual o condutor interage regularmente, é muito importante que essa interação não induza esse sentimento. Conclui-se que os resultados foram muito positivos neste aspeto, e confirma-se este resultado com as entrevistas pós-teste de ambos os protótipos. Como referido anteriormente, houve uma redução drástica nos relatos de frustração, o que possivelmente se relaciona com a facilidade que se verificou (não só pelos resultados obtidos, mas também pelos relatos dos participantes) na tarefa de identificar os padrões.

Comparando com o protótipo desenvolvido em [47], este sistema demonstrou melhorias no número de padrões que é possível reproduzir, e ainda identifica-los com uma maior taxa de sucesso (96,79% vs 90,50%). Além disto, os padrões reproduzidos têm menos duração (350ms vs 450ms), o que permite que o sistema apresente mais padrões em menos tempo, possivelmente reduzindo o tempo de interação com o SI. Podemos verificar a mesma vantagem de poder reproduzir um maior número de padrões que o estudo realizado em [48]. Esta abordagem reduz ainda a complexidade do volante por não apresentar partes móveis, o que poderá levar a que o sistema seja mais duradouro e robusto. No geral, podemos afirmar que o protótipo obtido nesta fase constitui uma boa solução para o subsistema 1 da solução proposta em 1.2 e 2.7 (ver Figura 1 e Figura 9).

3.2.7. Sumário

No início do desenvolvimento deste módulo, propusemo-nos a desenvolver um protótipo capaz de aplicar as propriedades do *feedback* háptico para transmitir informações a utilizadores. O objetivo do protótipo final deste desenvolvimento era que utilizadores conseguissem reconhecer e identificar padrões direcionais de vibração com facilidade e consistência. Para isso, foi desenvolvido um protótipo em que se montaram 9 atuadores hápticos numa disposição inicial, sobre o qual foram realizadas várias iterações.

Foi possível melhorar o protótipo original e resolver todas as suas limitações. Este protótipo apresenta, também, melhorias relativas a sistemas semelhantes. Comprovou-se, com elevada taxa de sucesso, que a abordagem pretendida para a solução final é viável. Demonstrou-se que é possível detetar e distinguir padrões de vibração com uma disposição de atuadores hápticos montados num volante. Esta tarefa foi consistente entre utilizadores e padrões, e verificou-se que representa uma carga de trabalho reduzida e, principalmente, que não é cansativa nem frustrante para o utilizador.

Obteve-se, assim, uma base sólida para o módulo háptico da solução proposta em 1.2. Como referido anteriormente, este sistema poderia ser usado em integração com outras abordagens de interação, como a exposta em [19], onde o utilizador poderia deslizar o dedo sobre o ecrã enquanto recebia *feedback* háptico no volante e eventualmente, pressionar com mais força para selecionar um botão.

Os capítulos seguintes expõem o desenvolvimento do módulo de interação com o ecrã táctil do SI proposto para este sistema.

4. Módulo de Interação com *TouchScreen*

Neste capítulo, é exposto o desenvolvimento do módulo de interação com o *touchscreen*, proposto no capítulo 1.2, e detalhado no capítulo 2.7. O objetivo deste desenvolvimento foi conseguir um sistema que permita uma interação mais intuitiva com um ecrã táctil, e que reduza a carga visual associada, normalmente, a esta interação. Para isto, propusemo-nos a implementar um sistema que permita rastrear a posição da mão direita de um utilizador e traduzi-la numa posição discreta no ecrã, à semelhança do estudo em [40]. Deste modo, o utilizador poderá “controlar um cursor invisível” que faz com que seja possível obter qualquer tipo de *feedback* ao interagir com os elementos da interface (e.g.: botões virtuais) antes de realizar o toque.

São expostos dois métodos desenvolvidos para o cálculo da posição para onde o utilizador aponta, e quais os benefícios de cada um para a solução proposta. Ainda neste capítulo, são referidas as interfaces visuais que foram desenvolvidas tendo em conta as tarefas mais comuns realizadas nos SI. Por fim, é explicado como este módulo se integra no sistema final e como será realizada a comunicação entre os dois subsistemas descritos em 1.2.

Começamos pelo capítulo 4.1, onde se descreve, em detalhe, os passos realizados para obter um rastreamento intuitivo e fiável.

4.1. Rastreo da Mão

Uma das características principais da solução proposta é o rastreo da mão direita do utilizador, para que se pudesse proporcionar *feedback* antes de realizar o toque no ecrã. Para conseguir esta funcionalidade, foi usado um controlador *Leap Motion* que permite observar a posição de várias mãos, simultaneamente, no espaço em três dimensões. Este dispositivo disponibiliza, ainda, várias informações relativas às mãos rastreadas, tais como posições, direções e dimensões, tanto das mãos como dos ossos que as compõem. Estas informações permitem que se calcule a posição para a qual o utilizador aponta com o dedo indicador da mão direita.

4.1.1. Montagem

O sistema de rastreamento foi desenhado com o objetivo de ter flexibilidade na sua montagem. Isto quer dizer que o controlador *Leap Motion* pode ser colocado em várias posições em relação ao ecrã, com apenas algumas restrições.

A imagem seguinte (Figura 28) representa o esquema de montagem adotado e as restrições do posicionamento do controlador. Como mostra a imagem, o sistema permite flexibilidade no tamanho do ecrã, tanto em dimensões físicas como em resolução, e na distância e elevação do ecrã em relação ao controlador *Leap Motion*.

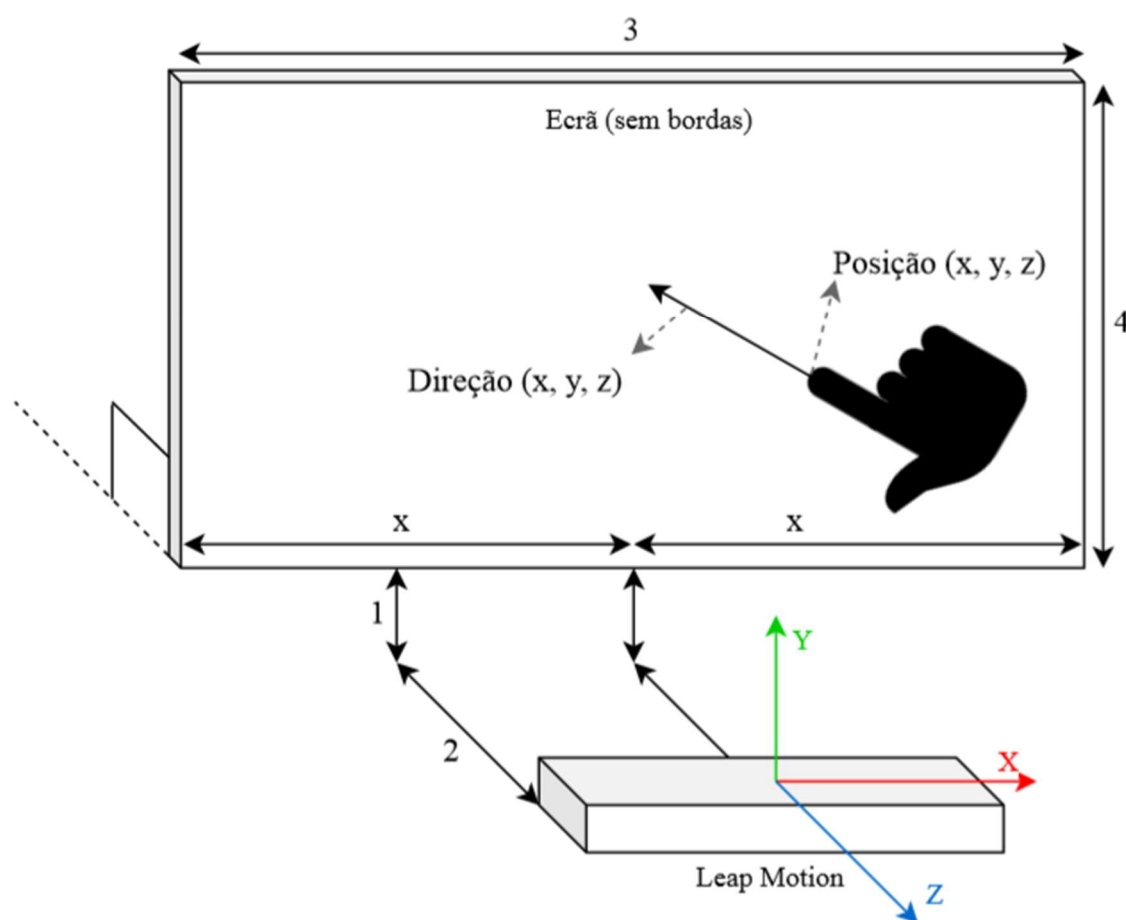


Figura 28. Esquema de montagem do controlador *Leap Motion*

Quanto às restrições, o ecrã deverá estar perpendicular em relação à superfície onde se encontra o controlador (ver ângulo reto na Figura 28), deverá estar paralelo ao controlador em relação ao eixo X, e o seu centro longitudinal deverá coincidir com o centro longitudinal do controlador. Por fim, de modo a não obstruir o campo de visão do controlador, o ecrã deverá ter uma elevação pelo menos superior à altura do controlador

e uma distância adequada a essa elevação. Contudo, o controlador possui um campo de visão bastante amplo (aproximadamente 135°), pelo que estas últimas restrições só se manifestam em caso de uma montagem propositadamente má.

O *software* desenvolvido para esta funcionalidade requer um ficheiro de configuração, onde se encontram os valores das seguintes variáveis, indicadas por números no esquema anterior (Figura 28):

1. Elevação do ecrã em relação à base do controlador.
2. Distância do ecrã à lateral do controlador mais próxima.
3. Comprimento do ecrã.
4. Altura do ecrã.

De notar que estas medidas são indicadas em milímetros. Finalmente, é ainda indicada a resolução do ecrã neste ficheiro.

4.1.2. Métodos de Rastreio

Com os dados provenientes do controlador, é possível obter um vetor, em três dimensões, representativo da direção para onde o dedo indicador aponta e com origem no próprio dedo. No entanto, devido a limitações encontradas com esta abordagem (em certas posições, a posição do dedo era reportada de forma errada), foi necessário calcular um vetor novo, analisando a posição e direção dos ossos individuais da mão. Relativamente a traduzir o gesto (de apontar) para uma posição discreta no ecrã, foram implementadas duas técnicas de rastreio e cálculo. Tendo em conta os estudos referidos na secção 2.2.2, estes métodos focam-se numa tradução direta, sem qualquer algoritmo de previsão de movimentos.

A seta preta, nas imagens seguintes (Figura 29 e Figura 30), representa o vetor direção, composto pelos seus componentes X, Y e Z (setas vermelha, verde e azul, respetivamente). Este vetor tem origem na ponta do dedo, mas, como referido anteriormente, foram realizados cálculos para obter um vetor com direção e origem ligeiramente diferentes do ilustrado. Além disto, os dados provenientes do controlador foram filtrados de modo a eliminar qualquer ruído e a conseguir um controlo mais suave da interface.

O primeiro método, ilustrado na Figura 29, consiste em traduzir diretamente a posição da ponta do dedo indicador numa posição discreta no ecrã, descartando a direção para onde o dedo aponta (ver seta amarela na Figura 29). Por outras palavras, apenas são

consideradas as coordenadas da origem do vetor direção. Nos cálculos são consideradas, ainda, as dimensões do controlador *Leap Motion* (comprimento de 80mm, largura de 30mm e altura de 7mm). Relembre-se as variáveis do ficheiro de configuração, nomeadamente elevação, distância, altura e comprimento.

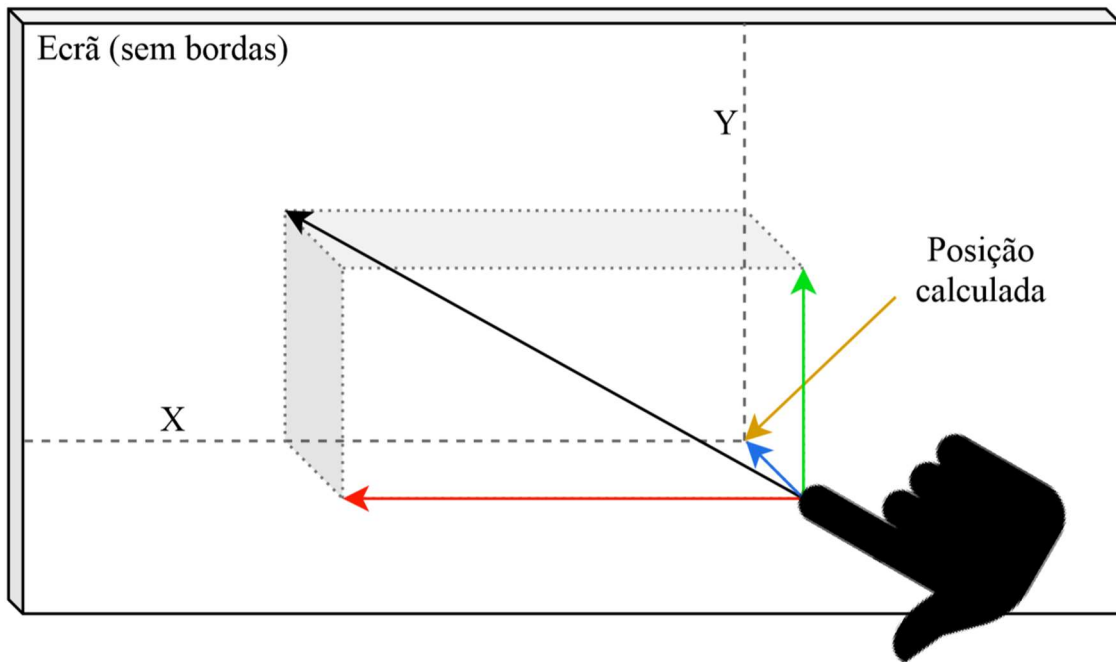


Figura 29. Primeiro método de rastreamento

Para este método, as seguintes fórmulas foram aplicadas para calcular as coordenadas (em milímetros) da posição prevista do toque no ecrã:

$$X = \frac{\text{largura}}{2} + \text{origem}.X$$

$$Y = \text{altura} - \text{origem}.Y - 7 + \text{elevação}$$

Após estes cálculos, as coordenadas foram traduzidas para uma posição, em pixéis, proporcional à resolução do ecrã. Este método mostrou ser eficaz, em testes informais, no caso de ecrãs mais pequenos, e onde o utilizador está em frente ao ecrã, ou seja, quando o seu dedo aponta (quase) perpendicularmente ao ecrã. Numa situação em que o ecrã está inclinado, ou deitado, este método também foi intuitivo e eficaz, no entanto, este caso implica uma montagem mais difícil, devido às restrições mencionadas em 4.1.1, e a um

rastreio com erros. Quando o ecrã está rodado no eixo vertical, ou ao lado do utilizador (sendo este o caso da maioria dos ecrãs dos SI), este método mostrou ser menos intuitivo e preciso. Assim, foi desenvolvido um método que calcula a posição para onde o utilizador aponta, tendo em conta a direção do dedo (ver seta amarela na Figura 30).

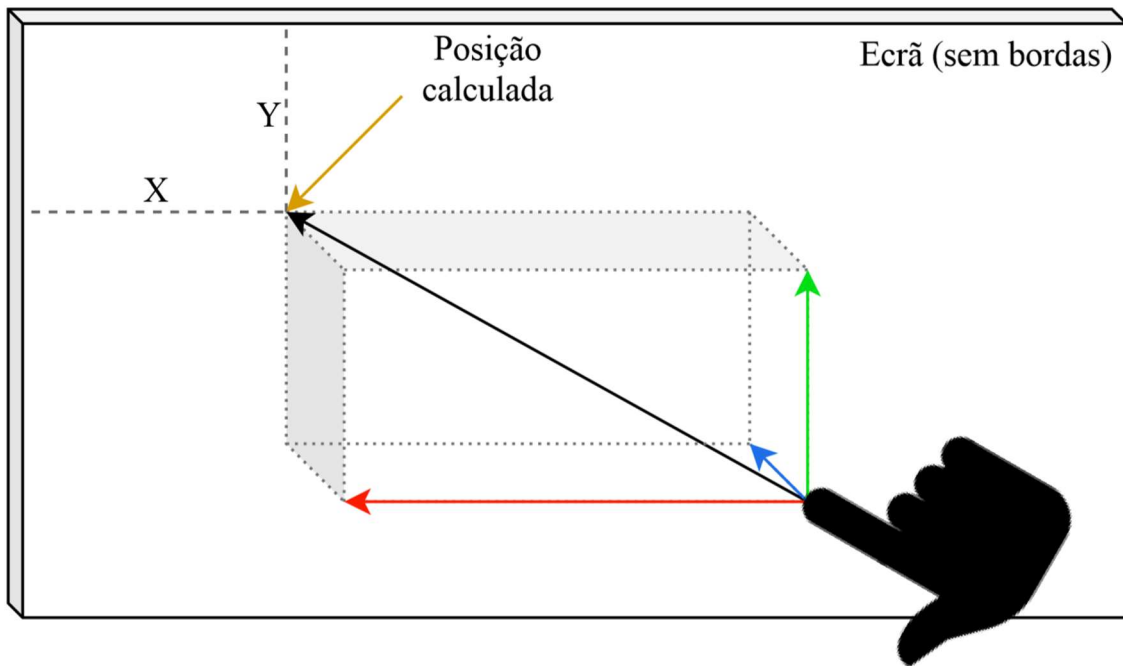


Figura 30. Segundo método de rastreio

As seguintes fórmulas foram aplicadas para obter as coordenadas com este método:

$$X = \frac{\text{direção}.X}{-\text{direção}.Z} \times (\text{distância} + 15 + \text{origem}.Z) + \frac{\text{largura}}{2} + \text{origem}.X$$

$$Y' = \frac{\text{direção}.Y}{-\text{direção}.Z} \times (\text{distância} + 15 + \text{origem}.Z) + \text{origem}.Y + 7 - \text{elevação}$$

$$Y = \text{altura} - Y'$$

Após os cálculos das coordenadas e a sua respetiva tradução à resolução do ecrã, este método demonstrou ser mais preciso. No caso em que o utilizador está em frente ao ecrã, não se verificam desvantagens em relação ao primeiro método, mas eliminaram-se as limitações nos restantes casos. Numa disposição tradicional, semelhante à de um SI

genérico, este método demonstrou ser o mais preciso e fácil de usar. Por estas razões, este método foi o escolhido para os passos seguintes do protótipo.

4.2. Interfaces de Utilizador

Nesta secção, são ilustradas as interfaces de utilizador desenvolvidas para o *touchscreen*, que foram baseadas em sistemas de *infotainment* reais, como indicado em 2.1.1. Baseando-se no sistema presente no Renault Clio (2018), três interfaces de utilizador foram desenvolvidas seguindo um *design* semelhante. A linguagem visual inclui botões grandes, distribuídos uniformemente pelo ecrã, e o uso de cores para ajudar na distinção visual dos botões. Além disto, os botões refletem o seu estado (i.e.: premido, ativo, etc.) de forma visual (ver Figura 34).

Tendo definido a linguagem visual e as tarefas mais realizadas nos SI, foram desenhadas as seguintes interfaces.

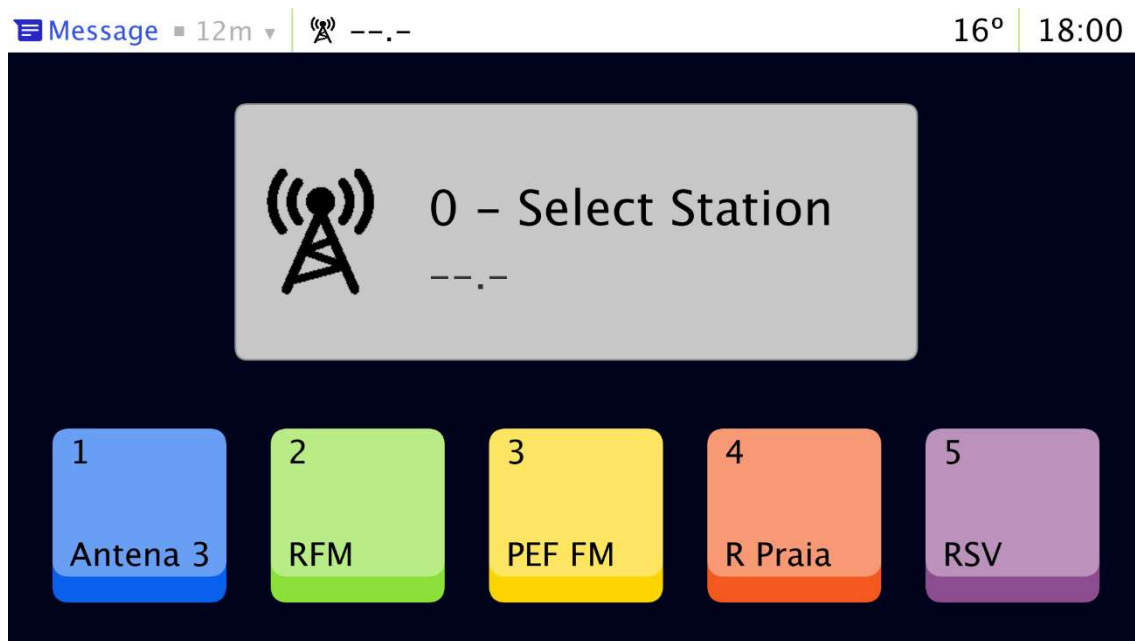


Figura 31. Interface de utilizador – Rádio

A primeira interface consiste num ecrã onde são dispostos cinco botões correspondentes a diferentes estações de rádio. Nesta interface, o utilizador apenas tem de realizar uma seleção horizontal. Esta interface foi escolhida para a primeira tarefa, visto que o utilizador apenas tem de movimentar e posicionar o dedo numa dimensão – horizontal.

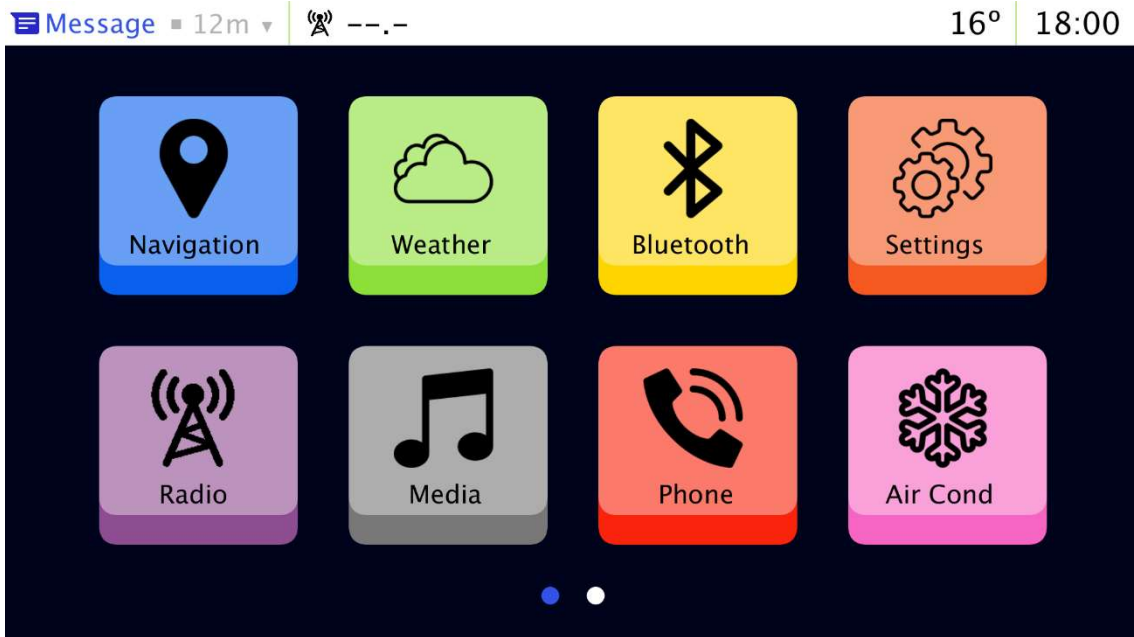


Figura 32. Interface de utilizador – Menu

A segunda interface simula o menu principal do sistema, seguindo as regras principais da linguagem visual. Neste menu, o utilizador tem de movimentar e posicionar o dedo horizontal e verticalmente, numa área maior. Esta tarefa foi incluída como passo intermédio entre o rádio e a tarefa de navegação de modo a não aumentar a dificuldade drasticamente entre tarefas. Nesta interface já é possível avaliar a capacidade do utilizador se localizar numa interface com duas dimensões.



Figura 33. Interface de utilizador – Navegação

A terceira, e última, interface desenvolvida simula o menu de introdução de uma morada num sistema de navegação. Nesta interface, o utilizador necessita de se posicionar com mais precisão devido à dimensão reduzida dos botões. À medida que o utilizador introduz caracteres, a funcionalidade de preenchimento automático mostra moradas correspondentes à que está a ser introduzida. Como referido anteriormente, todos os botões refletem visualmente o seu estado, como ilustra a imagem seguinte (Figura 34).



Figura 34. Representação visual do estado do botão, por ordem (normal, dedo a apontar ao botão, premido, selecionado)

Nesta imagem, estão representados os quatro estados possíveis dos botões. Primeiro, o botão no seu estado normal. Segundo, o botão é representado num estado semi-premido. Este estado é aplicado quando o dedo do utilizador está a apontar para o botão, sem ainda realizar o toque. Terceiro, o botão é representado num estado completamente premido, quando o utilizador realiza o toque. Estes três estados simulam o comportamento real de um botão físico e fornecem *feedback* visual ao utilizador. Todos os botões das três interfaces apresentam estes três estados. O último estado, em que o botão aparenta estar “iluminado” indica que é o botão atualmente selecionado e é apenas aplicado à primeira interface (Rádio).

5. Sistema *InfoSteer*

Neste capítulo é abordado o sistema final, *InfoSteer*, que resulta de toda a pesquisa realizada, e protótipos desenvolvidos ao longo dos capítulos anteriores. É ainda exposto como foi planeada e realizada a avaliação do sistema, e analisados os resultados. Por fim é feita uma avaliação do sistema, das suas vantagens e pontos a melhorar em iterações futuras.

O sistema completo tem como objetivo principal tornar a interação com o sistema de *infotainment* dos veículos modernos mais intuitivo e reduzir a quantidade de vezes que o condutor precisa de desviar os olhos da estrada durante a tarefa de condução, enquanto realiza uma operação no SI, reduzindo, desta forma, o risco de acidentes.

Foi possível alcançar este objetivo com a implementação de dois subsistemas – um subsistema de *feedback* háptico (ver capítulo 3) e um subsistema de interação com um ecrã táctil (ver capítulo 4). O primeiro sistema permite proporcionar *feedback* ao condutor, na forma de padrões de vibração, através de uma cruz de atuadores hápticos montados sobre a zona onde a mão esquerda do condutor assenta no volante. O segundo subsistema permite uma interação com um ecrã táctil, antes de realizar o toque. Esta interação manifesta-se na capacidade de o condutor poder apontar para o ecrã e controlar um cursor invisível. Quando este cursor passa por cima dos elementos da interface (no caso deste sistema, de botões virtuais), o utilizador recebe, simultaneamente, *feedback* visual (ver 4.2) e háptico (ver 3.2), de acordo com o movimento que realizou com o dedo.

Individualmente, os subsistemas oferecem poucas, ou nenhuma, vantagens ao utilizador, apesar do módulo de interação proporcionar *feedback* visual antes da realização do toque. Para cumprir com o objetivo do protótipo, realiza-se uma comunicação unidirecional entre o sistema de interação e o sistema de *feedback*. Esta comunicação é realizada sem fios e tem origem sempre no sistema de interação (Figura 1).

Sempre que o condutor move o seu dedo sobre o ecrã do sistema de *infotainment*, a posição para onde aponta é calculada (ver 4.1.2) para que a informação adequada seja comunicada ao sistema de *feedback*. Nas interfaces de utilizador 1 e 2 (rádio e menu, respetivamente), sempre que o dedo do utilizador “entra” num botão, um padrão com a informação direcional do movimento é comunicado ao sistema de *feedback* para que este possa reproduzir as vibrações correspondentes. Por exemplo, se o utilizador faz um

movimento horizontal da esquerda para a direita e passa pela aresta de um botão, ser-lhe-á proporcionado *feedback* na forma de um padrão horizontal nesse mesmo sentido (i.e.: *swipe right*).

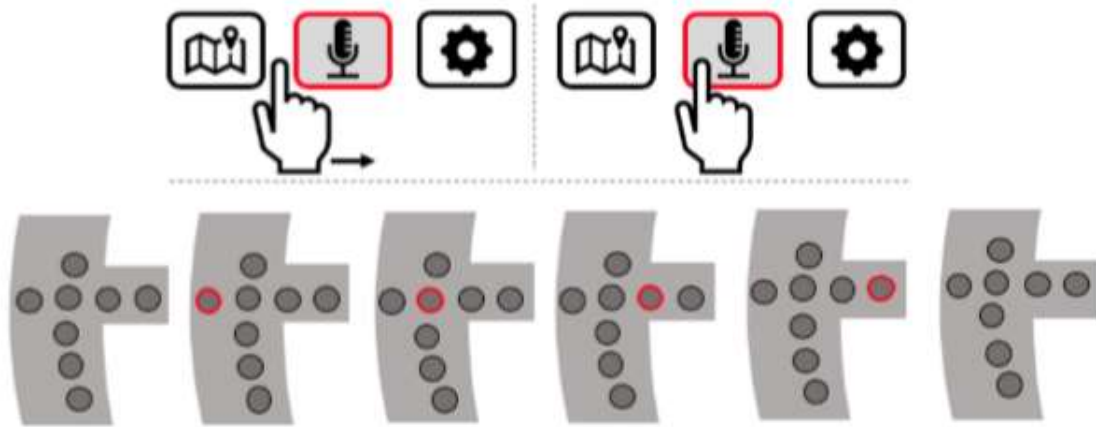


Figura 35. Sequência de ativação dos atuadores hápticos durante o movimento horizontal

Esta interação é exemplificada na Figura 35, onde os círculos vermelhos indicam o atuador háptico que está ativo durante a interação ilustrada. O mesmo aplica-se para o sentido oposto e para os sentidos verticais. Já na tarefa de navegação, onde os botões são mais pequenos e próximos uns dos outros, esta abordagem não é apropriada. Com um pequeno movimento, o dedo do utilizador passa por vários botões, o que faria o volante reproduzir vários padrões seguidos num curto intervalo de tempo. Isto faria o sistema sobrecarregar o utilizador, que ficaria sem perceber qual o padrão que está a ser reproduzido. Neste caso, um simples clique é reproduzido, indicando que o dedo já se encontra sobre outro botão. Este mesmo clique é reproduzido em todas as interfaces quando o utilizador realiza um clique em qualquer botão, assegurando-lhe que a sua ação foi registada com sucesso.

No subcapítulo seguinte, é descrito como o ambiente de teste foi preparado.

5.1. Ambiente de Teste

Como referido na secção 2.7, o sistema foi montado numa disposição semelhante à de um veículo real, com volante à esquerda. Foram usados pedais de jogo, tal como o volante usado para a montagem do módulo de *feedback*. O sistema foi montado numa mesa, onde assentou todo o material necessário, à exceção dos pedais, que foram montados no chão. O material sobre a mesa inclui um computador portátil (onde foi

mostrado o percurso virtual, ou simulador, para efeito de testes) e uma câmara, apontados ao utilizador, o volante e todo o material associado ao módulo de *feedback* (i.e.: fios e circuitos), uma caixa, na qual foi fixado tanto o *tablet* (para simular o ecrã do SI), como o controlador *Leap Motion* (para que a posição relativa destes dois dispositivos se mantivesse fixa), e, ainda, outro computador portátil para correr outros programas necessários aos testes (este computador foi apenas usado pelo supervisor dos testes). A câmara virada para o participante teve apenas o objetivo de rastrear o olhar para fins de calcular quantas vezes (e durante quanto tempo) o condutor olhou para fora da estrada (ver 5.1.1). Devido ao elevado número de programas e configurações (a realizar entre tarefas) necessários para realizar estes testes, a carga foi distribuída por 2 computadores. Um deles ficou responsável por correr o programa do simulador e mostrar o percurso ao utilizador, correr o programa de rastreio visual e receber o *input* do volante e pedais. No outro computador, cujo ecrã esteve visível apenas ao supervisor dos testes, correram os programas que controlam a interface do SI, o rastreio da mão direita do participante, e o acesso remoto ao *Raspberry Pi* responsável pelo controlo do sistema de *feedback* háptico. A imagem seguinte (Figura 36) ilustra um dos participantes a realizar os testes ao sistema *InfoSteer* com a configuração final.



Figura 36. Participante a realizar testes com o protótipo e configurações finais

De notar que o posicionamento do *tablet* foi aproximado ao de um veículo real e esteve sempre ao alcance dos participantes, pelo que não foi necessário esforçarem-se para interagir com o sistema. O mesmo verifica-se com o volante e com os pedais, que foram sempre adequados a cada participante para que estivessem na posição mais confortável possível antes de iniciar os testes. Para além destes ajustes, a restante configuração manteve-se constante para todos os participantes. É exposto, de seguida, como foi implementado o rastreio visual, mencionado anteriormente.

5.1.1. Rastreio Visual

Tendo em conta a importância da atenção visual durante a tarefa de condução referida nos estudos previamente referidos (ver 1.1), um dos objetivos deste trabalho foi reduzir o número de vezes que o condutor retira os olhos da estrada, bem como o tempo total em que não está a olhar para a mesma durante a tarefa primária de condução. Para monitorizar este parâmetro, foi implementado um pequeno programa automatizado, que faz uso das funcionalidades do *software GazePointer*¹¹ para rastrear o olhar de cada participante. Este *software* fornece um fluxo contínuo das coordenadas para onde o utilizador está a olhar, o que permitiu implementar facilmente um programa que verifica se essas coordenadas pertencem, ou não, à área do ecrã. Tendo em conta que o simulador LCT ocupa toda a área do ecrã, associa-se o acto de desviar o olhar do ecrã como o equivalente de desviar o olhar da estrada, pelo que é suficiente registar quando, e por quanto tempo, é que o utilizador realiza estes desvios.

5.2. Avaliação

Nesta secção, descreve-se como foi realizada a avaliação do sistema *InfoSteer* e qual o procedimento de teste preparado. Para a avaliação do protótipo, procedeu-se à realização de testes com 10 utilizadores sob as condições mencionadas anteriormente. Pretendeu-se observar a capacidade de os utilizadores realizarem determinadas tarefas no ecrã táctil do SI enquanto realizam a tarefa primária de condução. Cada participante realizou a avaliação do sistema individualmente e reduziu-se a interação com o supervisor dos testes apenas à necessária. Nesta fase, foram recrutados alguns participantes que já tinham realizado testes com os protótipos anteriores, e também foram recrutados participantes sem experiência prévia. Considerou-se que o uso deste sistema é

¹¹ <https://gazerecorder.com/gazepointer-beta/>

suficientemente diferente dos protótipos anteriores, pelo que a experiência que os participantes possam ter adquirido aquando da avaliação desses sistemas não influenciaria a sua performance nesta avaliação. De seguida, é exposto, em detalhe, o procedimento de teste desenvolvido para esta fase.

5.2.1. Procedimento de Teste

Os participantes realizaram 3 tarefas no sistema *InfoSteer*, sem, e com os sistemas de interação e *feedback*, para um total de 6 tarefas. Estas tarefas foram escolhidas tendo em conta a pesquisa realizada sobre as operações mais realizadas atualmente nos SI (ver 2.1). Todas as tarefas foram executadas enquanto o participante realizava a tarefa de condução no simulador LCT. Para cada tarefa, foi ainda escolhido um percurso aleatoriamente, de acordo com as instruções de uso do simulador. Antes da realização das tarefas, houve um período de ambientação com o sistema e com o simulador, recolha de dados demográficos, e no final, após todas as tarefas, um período para preencher questionários, e realizar uma pequena entrevista.

	Fase	Duração
1	Introdução	3 minutos
2	Ambientação com o simulador	2-4 minutos
3	Ambientação com o protótipo	4 minutos
4	Calibração do sistema de rastreio visual	2 minutos
5	Realização do percurso sem tarefa	3 minutos
6	Tarefa 1 – Rádio sem <i>InfoSteer</i>	2 minutos
7	Tarefa 1 – Rádio com <i>InfoSteer</i>	2 minutos
8	Tarefa 2 – Menu sem <i>InfoSteer</i>	2 minutos
9	Tarefa 2 – Menu com <i>InfoSteer</i>	2 minutos
10	Tarefa 3 – GPS sem <i>InfoSteer</i>	1 min
11	Tarefa 3 – GPS com <i>InfoSteer</i>	1 min
12	Questionários NASA TLX	5 minuto
13	Entrevista	1-5 minutos
Outro	Tempo despendido a alternar e preparar as tarefas	2-4 minutos
Total		30-40 minutos

Tabela 6. Fases do procedimento de teste do sistema final

No total, cada teste teve uma duração de entre 30 a 40 minutos. A tabela anterior (Tabela 6) expõe, de forma resumida, as diversas fases do procedimento de teste.

Nos pontos seguintes, descreve-se cada fase do procedimento em mais detalhadamente.

5.2.1.1. Procedimento – Introdução

Como primeira fase da avaliação, foi feita uma breve introdução, semelhante à feita em 3.1.3.1, onde o responsável de testes se apresentou e explicou o âmbito do sistema *InfoSteer*. Foram recolhidos dados demográficos e foi feita uma breve introdução sobre como o sistema funciona. Foi indicado como segurar o volante (como colocar a mão esquerda sobre os atuadores hápticos para se obter um melhor contacto entre os atuadores e a palma da mão). As tarefas a serem realizadas foram introduzidas e explicadas em detalhe e foi exposto o plano geral sobre como o teste seria realizado.

5.2.1.2. Procedimento – Ambientação com o Simulador

Após a introdução, o simulador LCT (ver 2.6) foi ligado para que o utilizador pudesse conduzir o veículo num percurso aleatório durante o tempo que fosse necessário até se sentir confortável com a sensação e os controlos do veículo. Durante esta ambientação, foi indicado ao utilizador como funciona o simulador (e.g.: deve manter o acelerador pressionado ao máximo durante todo o percurso) e como deveria interpretar os sinais de mudança de via de trânsito.

5.2.1.3. Procedimento – Ambientação com o Protótipo

De seguida, o participante foi instruído sobre o funcionamento do SI e sobre como realizar cada tarefa. Foi exemplificado como usar o sistema de rastreio da mão e como é que os movimentos da mão se relacionam com o *feedback* reproduzido no volante. Foi exemplificado o comportamento dos botões virtuais como ilustrado na Figura 34. Cada tarefa foi explicada e exemplificada pelo supervisor e, de seguida, dado um tempo para que o participante se ambientasse ao sistema, primeiro sem o simulador LCT, e depois enquanto conduzia no percurso virtual.

5.2.1.4. Procedimento – Calibração do sistema de rastreio visual

Quando cada participante indicava estar confiante com o sistema e as suas funcionalidades, procedeu-se à calibração do sistema de rastreio visual para obter um rastreio fiável e preciso. Este passo foi essencial, visto que se observou uma grande

variação entre os perfis de rastreio de diferentes utilizadores em testes breves e privados, ou seja, não foi possível usar o perfil de um utilizador como perfil genérico para realizar o rastreio de outro utilizador. Todos os participantes foram submetidos, então, a este passo.

5.2.1.5. Procedimento – Realização do percurso sem tarefa

Após a calibração, cada participante conduziu durante um percurso inteiro, com duração de aproximadamente 3 minutos, para se obter um resultado base com o qual comparar a condução com realização de tarefas secundárias. Durante a análise dos resultados, esta tarefa será referida como *condução base*.

5.2.1.6. Procedimento – Tarefa 1 – Rádio sem *InfoSteer*

Após toda a preparação, treino e calibração, deu-se início à realização das tarefas, começando pela tarefa do rádio, sem as funcionalidades do *InfoSteer*. Após o participante cruzar a linha de início no simulador LCT, foi-lhe indicado, a cada 5 segundos, em que botão clicar, usando o número das estações para identificar cada botão (e.g.: “selecione a estação 2”), sendo que os botões estavam ordenados da esquerda para a direita, como ilustrado na Figura 31. Este processo repetiu-se 20 vezes, indicando sempre botões numa ordem aleatória.

5.2.1.7. Procedimento – Tarefa 1 – Rádio com *InfoSteer*

Na fase seguinte, repetiu-se exatamente o procedimento da tarefa anterior, mas desta vez, com as funcionalidades do *InfoSteer* ativas.

5.2.1.8. Procedimento – Tarefa 2 – Menu sem *InfoSteer*

Para a Tarefa 2, o procedimento foi semelhante, tendo como única variação a quantidade e disposição dos botões, que nesta tarefa se apresentaram em grelha, e não em linha. Aos participantes, foi indicado que clicassem “no terceiro em cima” ou “no quarto em baixo”, de 5 em 5 segundos, para um total de 20 vezes, tal como na tarefa anterior.

5.2.1.9. Procedimento – Menu sem *InfoSteer*

De seguida, repetiu-se a o mesmo processo, mas com o sistema *InfoSteer* ativo.

5.2.1.10. Procedimento – GPS sem *InfoSteer*

Finalmente, na Tarefa 3, foi indicado aos participantes que introduzissem uma morada no sistema de GPS, até que a interface apresentasse uma morada completa através

de um sistema de *autocomplete* (este sistema entrava em ação após o participante introduzir 5 caracteres). A tarefa acabava quando o participante clicava sobre a morada completa sugerida pelo sistema. Nesta tarefa, o tempo para a completar foi tido em conta como critério de avaliação, mas foi indicado aos participantes que a prioridade deveria ser realizar uma condução correta.

5.2.1.11. Procedimento – Questionários NASA TLX

Após todas as tarefas concluídas, os participantes preencheram o questionário NASA TLX para cada uma das 3 tarefas, com e sem o sistema *InfoSteer*, para um total de 6 questionários por participante. Esta abordagem de responder a todos os questionários apenas após realizar todas as tarefas, ao invés de responder a cada um imediatamente após cada tarefa, foi escolhida por duas razões. Primeiro, devido ao volante estar fixo na mesa, o participante teria de se levantar para preencher o questionário 6 vezes, o que seria cansativo. Segundo, ao responder a todas as tarefas ao mesmo tempo, é mais fácil fazer uma comparação para cada parâmetro do questionário (e.g.: o esforço mental exigido para uma tarefa com e sem o sistema *InfoSteer*). Deste modo, o participante pode ordenar cada parâmetro do questionário, por tarefa, mais facilmente.

5.2.1.12. Procedimento – Entrevista

Finalmente, uma curta entrevista foi realizada para tentar compreender o ponto de vista do participante sobre a utilização do sistema, se as suas funcionalidades o ajudaram a realizar as tarefas, ou se foram uma desvantagem. Estas entrevistas permitiram uma melhor compreensão dos resultados obtidos e ajudaram, também, a descobrir quais das funcionalidades do sistema foram vantajosas ou desvantajosas.

5.2.1.13. Tempo Restante

Entre cada tarefa, o responsável de testes configurou os sistemas para a tarefa seguinte, servindo esta pausa para cada participante descansar durante cerca de 1 minuto por tarefa.

5.2.2. Participantes

Foram recrutados 10 participantes para a avaliação final do sistema, com idades entre os 20 e os 48 anos (média = 30,7). Setenta por cento (70%) dos participantes foram homens e os restantes 30% mulheres, pelo que não se conseguiu uma distribuição tão

equilibrada como no primeiro estudo (ver 3.1.4). A tabela seguinte (Tabela 7) apresenta uma caracterização resumida dos participantes.

	Idade	Género	Mão Dominante	Carta de Condução	Frequência de Condução
1	48	Feminino	Direita	Sim	Frequente
2	22	Feminino	Direita	Sim	Semi-frequente
3	29	Masculino	Direita	Sim	Semi-frequente
4	24	Masculino	Direita	Sim	Semi-frequente
5	29	Masculino	Direita	Sim	Semi-frequente
6	45	Feminino	Direita	Sim	Frequente
7	20	Masculino	Direita	Não	Nunca
8	23	Masculino	Direita	Sim	Frequente
9	22	Masculino	Direita	Sim	Ocasional
10	45	Masculino	Direita	Sim	Frequente

Tabela 7. Sistema InfoSteer - Caracterização dos participantes

Todos os participantes eram destros e 90% deles possuíam carta de condução, que foi um fator importante para a avaliação deste sistema, visto incluir uma componente de condução. Destes 9 participantes com carta de condução, 4 conduziam frequentemente, 4 conduziam semi-frequentemente e 1 conduzia ocasionalmente. A definição para esta caracterização é a mesma que nos testes anteriores (ver 3.1.4).

5.3. Resultados e Análise

Nesta secção, são expostos e analisados os resultados da avaliação realizada ao sistema *IntoSteer*. Para cada uma das 3 tarefas realizadas, com e sem o sistema *InfoSteer*, foram registados vários parâmetros relevantes, nomeadamente o número de desvios visuais que o condutor realizou (i.e.: quando o condutor desvia o olhar da estrada para o ecrã do SI), a duração total destes desvios (i.e.: o tempo total em que o condutor não olhou para a estrada), o número de cliques errados que o condutor realizou na interface visual (i.e.: quando o clique é realizado fora do botão, ou num botão incorreto), e o desvio na condução, calculado pelo software LCT. Este desvio é representado por um valor, em

metros, qua avalia a diferença entre o percurso realizado pelo participante, durante a tarefa primária, e o percurso ideal. Quanto mais próximo de zero for o valor do desvio, melhor foi a condução do participante. A Figura 37 representa o início do percurso de um participante numa das tarefas realizadas. A figura é gerada automaticamente pelo *software* e mostra o percurso ideal com uma linha verde e percurso realizado com uma linha vermelha. A Figura 7 ilustra o desvio do percurso de forma mais clara, com a área a vermelho.

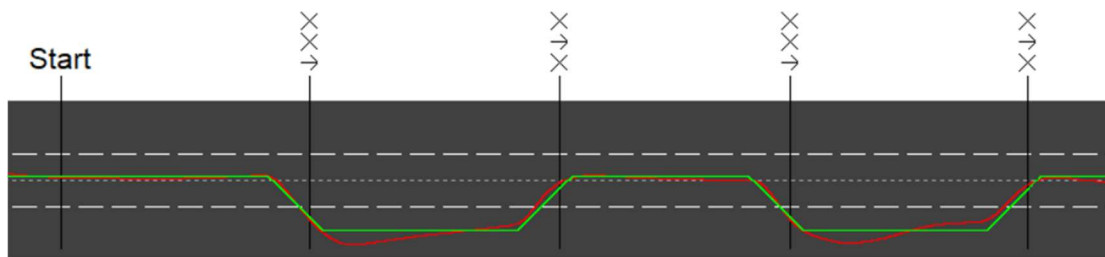


Figura 37. Excerto do percurso de um participante durante a avaliação do sistema.

Além destes parâmetros, na terceira tarefa (GPS) foi ainda cronometrado o tempo para concluir o objetivo. Após esta análise. São expostos e analisados os resultados dos questionários NASA TLX. Começando pelo primeiro parâmetro, o gráfico da Figura 38 resume os resultados da avaliação, comparando as tarefas com e sem o sistema *InfoSteer*.

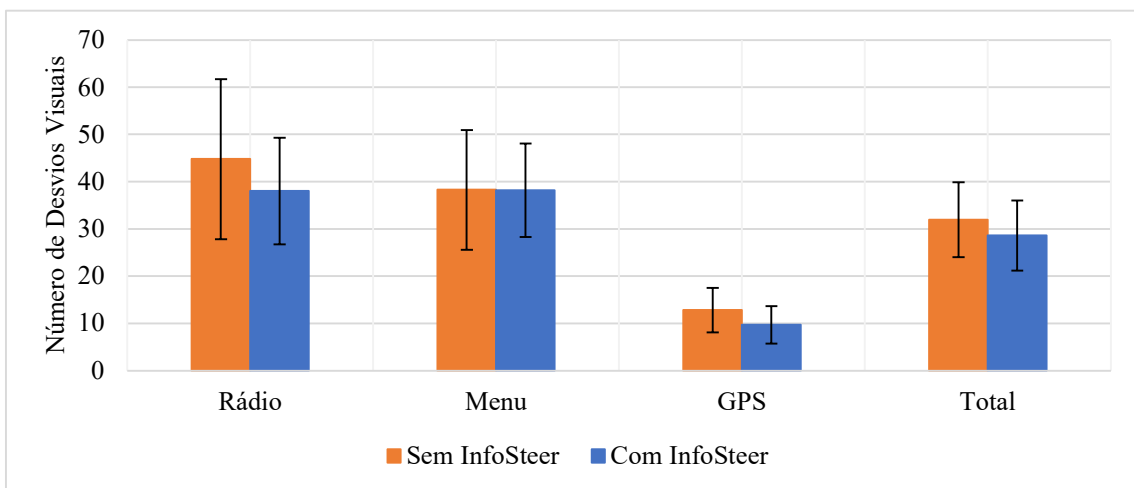


Figura 38. Número de desvios visuais - com e sem *InfoSteer*

Na primeira tarefa, em média, cada participante desviou o olhar da estrada 44,80 vezes (SD = 16,95) sem o sistema *InfoSteer*. Com o sistema ativo, este valor foi reduzido

para 38 (SD = 11,28). Esta redução representa uma melhoria de 15,18% no número de desvios visuais.

Na segunda tarefa (Menu), cada participante desviou o olhar da estrada, em média, 38,30 vezes (SD = 12,68) sem o sistema *InfoSteer*. Com o sistema ativo, este valor desceu ligeiramente para 38,20 (SD = 9,90), o que resulta numa melhoria de 0,26%, considerando-se que nesta tarefa, este parâmetro de avaliação não sofreu melhoria.

Na tarefa final (GPS), cada participante registou, em média, 12,80 (SD = 4,71) desvios visuais sem o sistema *InfoSteer*, em contraste com 9,70 (SD = 3,95) desvios registados na avaliação com o sistema ativo. Esta redução representa uma melhoria de 24,22%, quando foi usado o sistema *InfoSteer*.

Na totalidade das tarefas, cada participante desviou o olhar da estrada, em média, 31,97 (SD = 7,95) vezes, com o sistema desativado, e 28,63 (SD = 7,42) vezes com o sistema. Registou-se, então, uma melhoria significativa de 10,45%, comprovada por um *t-test* ($t(10) = 2,59, p = 0,03$). Para este *t-test*, calculou-se a média por participante, por condição do sistema *InfoSteer*. Ignorando, assim, o fator tarefa, esta decisão teve como objetivo diluir possíveis diferenças entre tarefas, pois o objetivo da avaliação é avaliar o impacto do *feedback* háptico do sistema *InfoSteer* e não as diferenças entre tarefas.

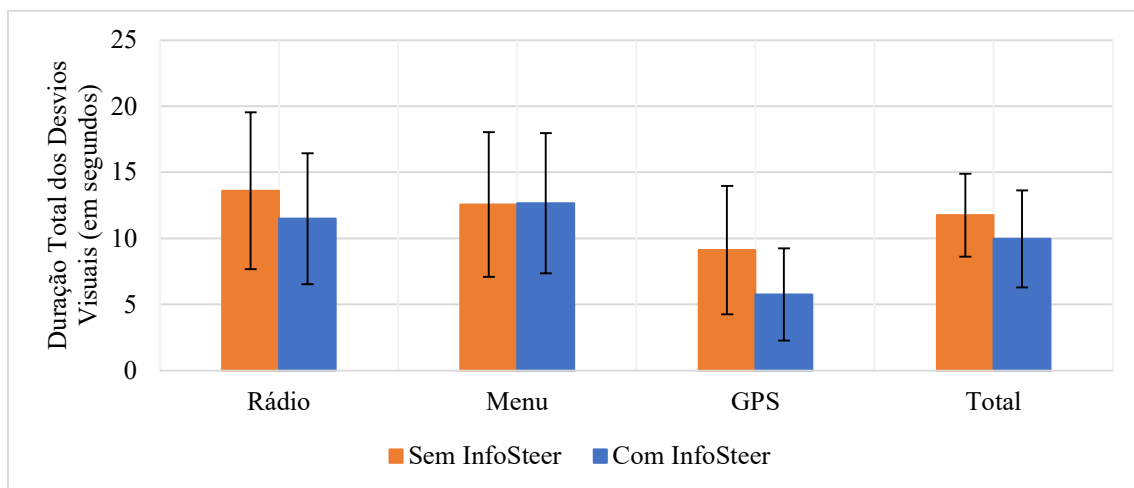


Figura 39. Duração total dos desvios visuais - com e sem *InfoSteer*

Em termos da duração total em que os participantes olharam para fora da estrada, os resultados assemelham-se aos registados para o parâmetro anterior, na medida em que se verificaram melhorias nas mesmas tarefas.

Na tarefa do Rádio, sem o sistema *InfoSteer*, os participantes olharam para fora da estrada durante 13,61 segundos (SD = 5,93), em média. Após a ativação do sistema, este valor foi reduzido para 11,51 segundos (SD = 4,95), equivalente a uma melhoria de 15,43%.

Na tarefa de interação com um Menu, sem o *InfoSteer*, cada participante desviou o olhar da estrada, em média, durante 12,57 segundos (SD = 5,47), registrando-se um ligeiro aumento para 12,67 segundos (SD = 5,30) com o sistema em uso. Verificou-se, então, um deterioramento de 0,80% com o uso do *InfoSteer*.

Finalmente, na terceira tarefa, cada participante registou, em média, um total de 9,13 segundos (SD = 4,86) de desvios visuais, sem o sistema, e 5,77 segundos (SD = 3,49), com a ajuda do sistema *InfoSteer*. Este resultado indica uma melhoria de 36,80%.

Em todas as tarefas, cada participante desviou o olhar da estrada, em média, durante 11,77 segundos (SD = 3,13), sem o sistema, e durante 9,98 segundos (SD = 3,67) com o sistema, que resulta numa melhoria de 15,21%, significativa, de acordo com um *t-test* ($t(10) = 3,27, p = 0,01$).

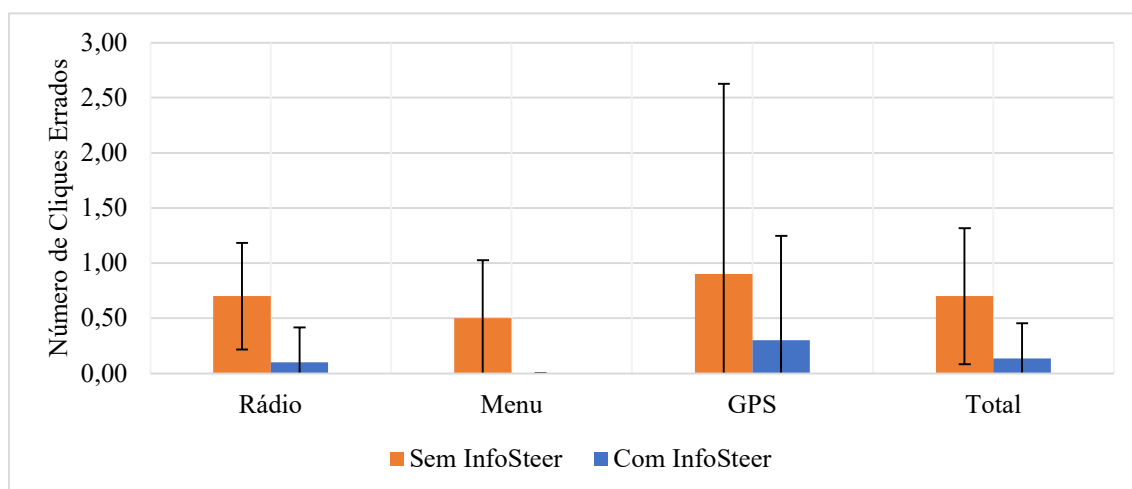


Figura 40. Número de cliques errados - com e sem *InfoSteer*

O número de cliques errados foi, em média, baixo em todas as tarefas. No entanto, observou-se, para todas as tarefas, um número de cliques errados mais baixo quando o sistema *InfoSteer* estava em uso.

Na primeira tarefa, cada participante realizou cliques errados, em média, 0,70 vezes (SD = 0,48), sem o *InfoSteer*. Com o sistema em uso, este valor foi reduzido para 0,10 (SD = 0,32), representando uma melhoria de 87,71%.

Na tarefa de interação com um Menu, sem o sistema em uso, cada participante errou no toque, em média 0,50 vezes (SD = 0,53). Com o *InfoSteer*, não se registou nenhum clique errado nesta tarefa, pelo que se registou uma melhoria de 100%.

Na tarefa final, sem o sistema *InfoSteer*, cada participante errou no toque, em média, 0,90 vezes (SD = 1,73), e verificou-se uma redução deste valor para 0,30 (SD = 0,95), quando a tarefa foi realizada com o auxílio do sistema desenvolvido. Esta redução equivale a uma melhoria de 66.67%.

Entre todas as tarefas, cada participante registou, em média, 0,70 cliques errados (SD = 0,62), sem o *InfoSteer* e 0,13 cliques errados (SD = 0,32), equivalente a uma melhoria significativa de 81,43%, comprovada por um *t-test* ($t(10) = -4,03$, $p = 0,003$).

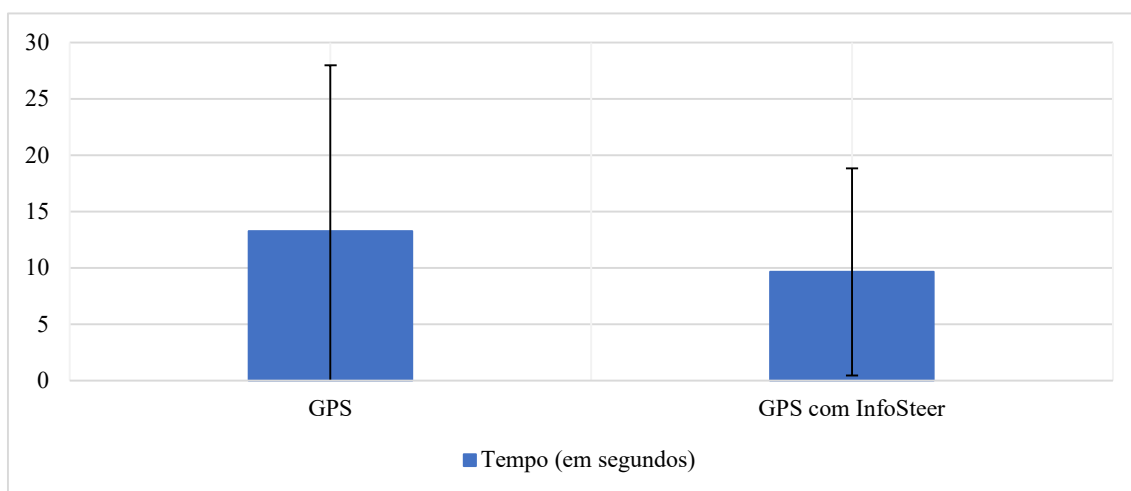


Figura 41. Tempo para completar a tarefa - com e sem *InfoSteer*

Na última tarefa, de interação com um sistema de navegação, o tempo para concluir a tarefa foi registado. Observou-se uma média de 13,27 segundos (SD = 14,72) para cada participante concluir a tarefa sem o sistema *InfoSteer*. Em contraste, o uso do sistema permitiu reduzir este valor para 9,65 segundos (SD = 9,20), o que equivale a uma melhoria de 26,48%. Apesar desta melhoria, uma análise *t-test* ($t(10) = 0,32$, $p = 0,75$) comprova que a diferença não é significativa.

O desvio na condução registado pelo LCT confirma que realizar tarefas secundárias enquanto se conduz leva a um aumento da distância perpendicular ao percurso ideal. Em todas as tarefas, tanto sem o sistema *InfoSteer*, como com o mesmo, todos os participantes registaram um desvio maior quando realizaram tarefas secundárias, do que o desvio registado na *condução base* (0,54m, SD = 0,22). Além disto, o uso do sistema *InfoSteer*

levou a um aumento do desvio numa das tarefas (Rádio), comparando com a avaliação sem o sistema. Nesta tarefa, cada participante teve, em média, um desvio de 0,81m (SD = 0,39), sem o sistema. Com o mesmo ativo, este resultado aumentou para 0,93m (SD = 0,45), o que representa um deterioramento de 14,81%.

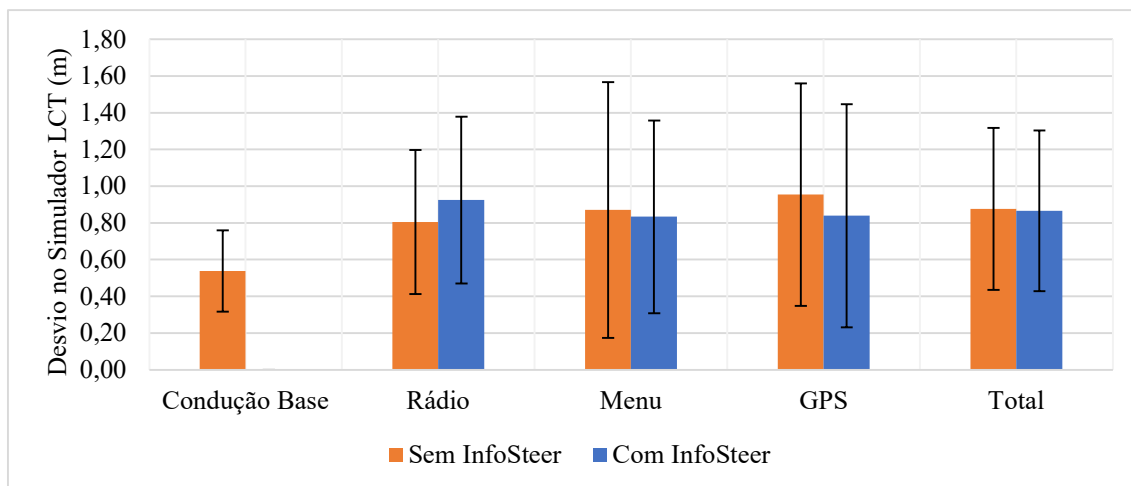


Figura 42. Desvio no simulador LCT - com e sem InfoSteer

Na tarefa do Menu, sem o *InfoSteer*, cada participante desviou do percurso ideal, em média, 0,87m (SD = 0,70), e observou-se uma redução deste valor para 0,83m (SD = 0,53) após a ativação do sistema. Registou-se uma melhoria de 4,60%.

Na tarefa final, de interação com um sistema de navegação, cada participante obteve, em média, um desvio de 0,95m (SD = 0,61), sem o sistema *InfoSteer*. Realizando a mesma tarefa com o auxílio do sistema, obteve-se uma redução deste resultado para 0,84m (SD = 0,61), equivalente a uma melhoria de 11,58%.

No geral, sem o uso do sistema *InfoSteer*, os participantes registaram um desvio médio de 0,88m (SD = 0,44), o que representa um aumento de 62,96% em comparação com o desvio médio registado na *condução base*. Com o auxílio do sistema, observou-se um desvio médio de 0,87m (SD = 0,44), indicativo de um aumento de 61,11% em comparação a *condução base*.

Comprovou-se que a realização de tarefas secundárias afeta a qualidade da condução, tanto com e sem o uso do sistema *InfoSteer*. Registaram-se diferenças significativas entre a *condução base* e a condução com tarefas secundárias sem o sistema ($t(10) = -2,30$, $p = 0,047$) e com o sistema *InfoSteer* ($t(10) = -2,34$, $p = 0,044$). Comparando as conduções com realização de tarefas, observou-se uma melhoria ligeira

de 1,14% (a favor do caso de uso com o sistema *InfoSteer* ativo), que um *t-test* ($t(10) = 0,139$, $p = 0,89$) indica ser não significativa.

De seguida, são expostos os resultados dos questionários NASA TLX realizados após todas as avaliações. Com estes questionários, foi possível uma melhor compreensão sobre a carga de trabalho subjetiva que o sistema coloca sobre os utilizadores, comparando com a ausência do mesmo.

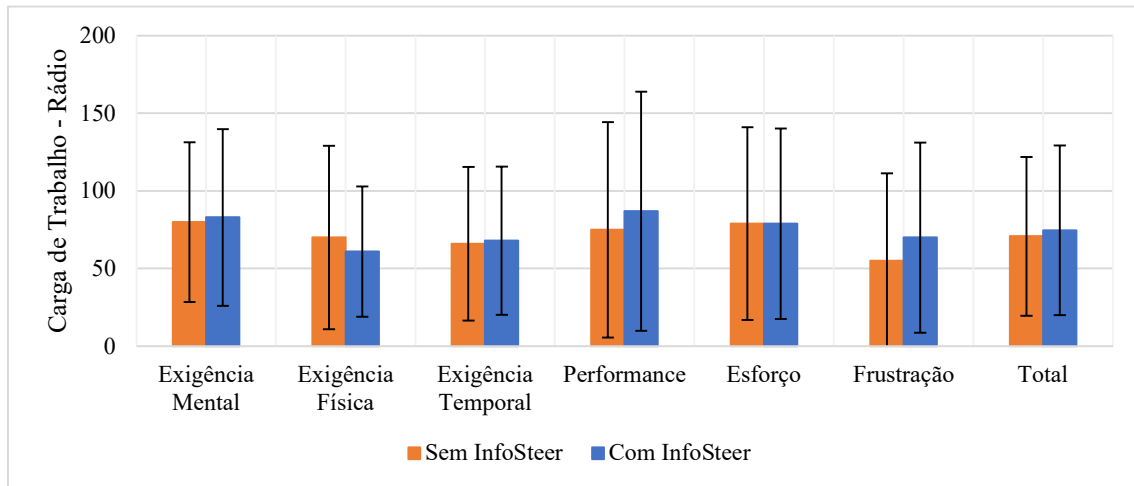


Figura 43. Valores médios do NASA TLX – Rádio

Na primeira tarefa verificou-se que os participantes foram submetidos a uma carga de trabalho semelhante entre os dois métodos de interação – sem, e com o sistema *InfoSteer*.

Entre os parâmetros individuais do questionário, verificaram-se melhorias apenas na exigência física, enquanto os restantes parâmetros exibiram uma regressão quando os utilizadores usaram o *InfoSteer*. No total, cada participante registou uma pontuação de 70,83 (SD = 51,13) e 74,67 (SD = 54,64), pelo que houve uma queda de 5,42%.

Na tarefa de interação com um menu, a situação foi semelhante à anterior, e apenas se registou uma melhoria ligeira num dos parâmetros do questionário – no esforço. Nos restantes parâmetros, os resultados foram ligeiramente negativos, que resultaram numa pontuação média total de 73,50 (SD = 52,78) para a realização das tarefas sem o protótipo, e de 78,17 (SD = 54,62) para o cenário de uso do *InfoSteer*, uma regressão de 6,35%.

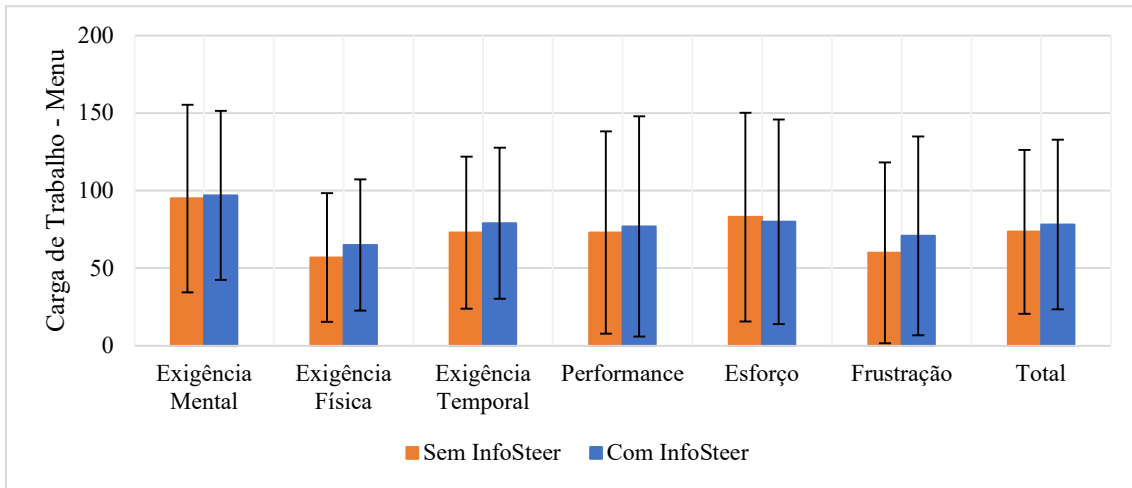


Figura 44. Valores médios do NASA TLX – Menu

Na tarefa final, observaram-se resultados de acordo com as duas tarefas anteriores, no entanto, verificaram-se menos regressões. Nos parâmetros da exigência mental e física, os participantes registaram os mesmos valores com e sem o sistema *InfoSteer*. Verificou-se uma ligeira melhoria na exigência temporal e regressões nos restantes parâmetros. No total, registou-se um pioramento ligeiro de 5,79% entre a realização das tarefas sem *feedback* (77,67, SD = 48,45) e com *feedback* (82,17, SD = 51,96).

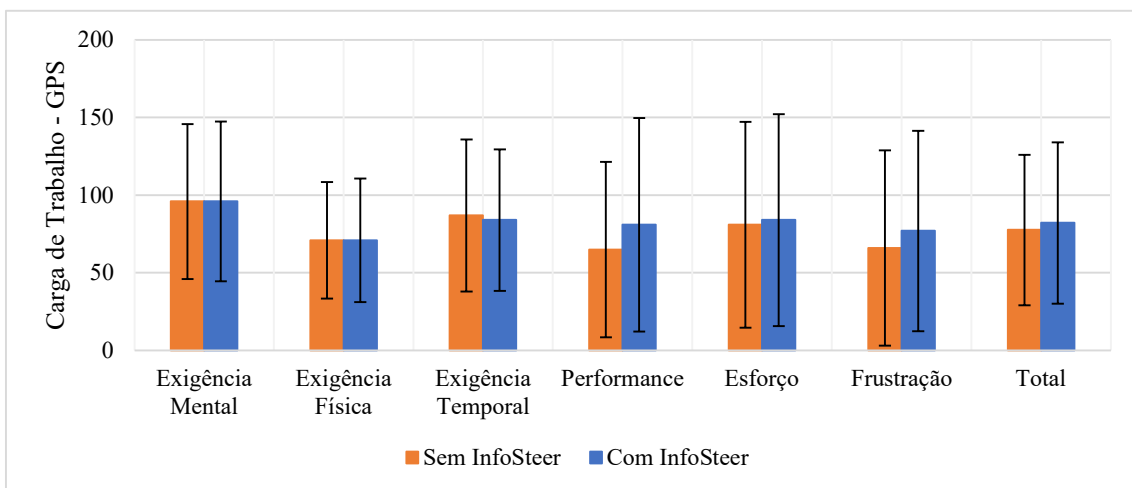


Figura 45. Valores médios do NASA TLX – GPS

Analisando a média de todas as tarefas, os resultados são os esperados. No parâmetro do esforço, os resultados foram iguais entre as duas avaliações (81,00) e houve uma pequena melhoria na exigência física, com ligeiras regressões nos restantes parâmetros. No total cada participante registou, em média, uma pontuação de 74,00 (SD

= 49,70) na realização das avaliações sem o protótipo final, e de 78,33 (SD = 52,70) com o uso do *InfoSteer*. Registrou-se, então, uma queda de 5,85%, não significativa, de acordo com um *t-test* ($t(10) = -0,69, p = 0,50$).

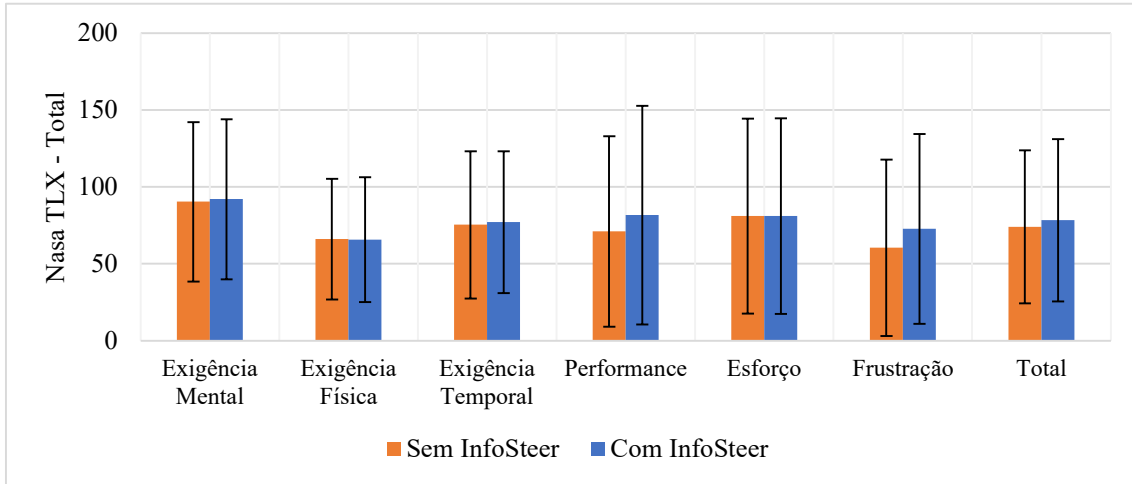


Figura 46. Valores médios do NASA TLX – Total

5.3.1. Comentários e Observações

Para finalizar o procedimento de teste, as entrevistas permitiram explorar as qualidades do sistema desenvolvido de uma forma qualitativa. De forma geral, todos os participantes concordaram que o sistema desenvolvido ajudou a interação com o SI, principalmente devido ao *feedback* háptico proporcionado na realização de um clique. Segundo os participantes, esta garantia de que o seu toque foi registado foi a principal vantagem e, desta forma, não foi necessário olhar para o ecrã durante mais tempo que o necessário, ou guiar-se apenas pelo *feedback* visual, para saber que a sua ação foi registada com sucesso. Durante a realização das tarefas sem o sistema em uso, foi notado que não era possível garantir que o toque tinha sido realizado corretamente sem olhar para o ecrã do SI. Durante esta interação, foi necessário ainda manter o olhar no ecrã até receber o *feedback* visual. Outra abordagem observada foi olhar brevemente para o ecrã antes da interação, e brevemente durante ou após a realização do toque para verificar se o toque foi bem-sucedido (através do *feedback* visual dos botões). Já com o uso do sistema *InfoSteer*, os participantes notaram que bastava um olhar inicial antes da interação para se guiarem aproximadamente. Após este olhar breve, os participantes realizavam o toque, guiando-se pela visão periférica e, principalmente, pelo *feedback* háptico de confirmação da realização do toque. Os resultados quantitativos confirmaram estas observações e

comentários, nomeadamente na redução da quantidade de desvios visuais para fora da estrada (Figura 38), bem como a duração total destes desvios (Figura 39) e, ainda, na redução da quantidade de cliques errados (Figura 40). Apesar desta redução em desvios visuais e cliques errados, a melhoria que se registou no tempo para completar a tarefa de interação com o GPS (Figura 41) acabou por ser não significativa, pelo que não podemos afirmar que o sistema é vantajoso neste parâmetro.

Os participantes notaram, de forma geral, que apesar de conseguirem identificar facilmente os padrões de vibração e guiar-se na interface através dos mesmos durante a fase de treino e ambientação, o mesmo não foi possível durante as avaliações. Durante a tarefa primária de condução, devido à exigência mental do simulador LCT e da tarefa secundária de interação com o SI, tornou-se difícil perceber os padrões de vibração que estavam a ser reproduzidos. Além disto, as tarefas de interação requeriam alguma rapidez e os próprios participantes tentaram realizar os toques no ecrã o mais rápido possível para que não desviassem o olhar da estrada durante mais tempo que o necessário. Desta forma, a maioria dos toques foram realizados rapidamente, de maneira que a mão não foi detetada pelo sistema de rastreio durante tempo suficiente para ativar os padrões de vibração. Esta abordagem foi escolhida pelos utilizadores, segundo a maioria, porque seria a abordagem que teriam numa situação de condução real, onde o objetivo é manter os olhos na estrada sempre que possível.

5.4. Discussão

Neste subcapítulo, é feita uma discussão detalhada dos resultados mencionados anteriormente, comparando dados relevantes com estudos relacionados. É explorado como o sistema *InfoSteer* é capaz de melhorar a performance e qualidade da condução durante a realização de tarefas secundárias, como foi possível reduzir a distração do condutor durante estas tarefas, nomeadamente a distração visual, e como foi possível melhorar a interação com um SI moderno. De uma forma geral, são exploradas as características do sistema que provaram ser vantajosas e quais as características que podem ser melhoradas.

5.4.1. Melhorar a Condução

A qualidade da condução foi avaliada através do desvio calculado pelo simulador LCT. Além de se considerar a distração visual (ver Figura 38 e Figura 39) como um dos

parâmetros mais importante para a segurança da condução, a performance da condução em si é o fator mais relevante num cenário real. Foi confirmado que realizar tarefas secundárias durante a condução afeta negativamente este parâmetro (ver Figura 42) comparando com o cenário de condução sem realização de tarefas secundárias. Estes resultados estão de acordo com estudos recentes [70].

Comparando as duas abordagens de interação, a modalidade de *feedback* com a modalidade sem *feedback* háptico, o sistema desenvolvido não permitiu melhorar significativamente a performance da condução, ao contrário do que era esperado e do que era um dos objetivos principais deste projeto. No entanto, esta observação alinha-se com estudos relacionados [45], [46], e mostra que adicionar *feedback* à interação não afeta negativamente a performance da condução.

Apesar de não se ter registado melhorias significativas neste parâmetro, podemos argumentar que as melhorias significativas observadas no número de desvios visuais para fora da estrada e na duração total destes desvios (a favor do uso do sistema desenvolvido) são uma vantagem importante que o sistema apresenta em relação às modalidades de interação tradicional com SI, sem *feedback* háptico. Uma das causas para que estas melhorias possam não ter sido refletidas no desvio da condução é a simplicidade da simulação do LCT, que não apresenta curvas (durante o percurso avaliado), trânsito, pedões ou outros fatores que requerem atenção visual.

5.4.2. Redução da Distração na Condução

O objetivo principal deste projeto, como referido na secção 2.7, é a redução da distração visual proveniente da interação com SI modernos, que representa a principal causa de acidentes ou quase-acidentes. Nesta secção da discussão, apenas são referidos os dados relativos às duas modalidades de interação, visto que durante a *condução base* os participantes não realizaram nenhuma tarefa secundária e focaram-se completamente na condução.

Relativamente aos resultados do NASA TLX (ver Figura 46), o uso do sistema *InfoSteer* não afetou, de forma significativa, a carga de trabalho associada à realização das tarefas secundárias, apesar de introduzir uma nova forma de interação e de *feedback*. Esta observação é positiva, já que seria esperado que a introdução destas componentes acrescentasse carga cognitiva à interação.

Conduzir é uma tarefa muito mais complexa do que apenas mudar de via de trânsito. Para realizar uma condução segura, o condutor depende principalmente da visão. Shinar

e Schieber [71] alegam que a condução é uma tarefa 95% visual, logo, reduzir a quantidade de vezes que o condutor retira os olhos da estrada e a duração total em que não olha para a mesma pode influenciar significativamente a segurança na condução. Esta afirmação alinha-se com estudos que descobriram que distrações durante a condução relacionam-se diretamente com situações perigosas tais como acidentes ou atropelamento de peões [20]. Efetivamente, apesar do sistema desenvolvido não ter causado melhorias significativas na performance da condução, permitiu registar melhorias significativas no número de desvios visuais para fora da estrada e na duração total de todos os desvios visuais. Assim, podemos argumentar que o uso do sistema *InfoSteer* para realização de tarefas secundárias (nomeadamente, interação com o SI) pode apresentar vantagens a nível de segurança durante a condução.

5.4.3. Interação com o SI

Quando os participantes realizaram as tarefas secundárias com o protótipo desenvolvido, cometeram menos erros, em termos de cliques errados, e estes resultados são comprovados por estudos semelhantes relativos a *feedback* háptico em interfaces de ecrãs tácteis [17], [72], em cenários de interação com ecrãs tácteis em contexto automóvel [46] e, ainda, em cenários em que o *feedback* não é proporcionado no local de interação [21]. Como referido em 5.3.1, apesar das melhorias em vários parâmetros de avaliação e dos resultados obtidos em 3.2 para o módulo de *feedback*, os utilizadores não referiram a informação direcional dos padrões de vibração como uma vantagem, afirmando até que devido à concentração exigida para realizar as tarefas secundárias durante a condução, não foi possível identificar os padrões direcionais. A característica mais vantajosa e preferida pelos participantes foi o clique de confirmação após realizar um toque no ecrã táctil. Todos os participantes alegaram um grau de confiança nas suas ações muito superior quando o sistema *InfoSteer* esteve em uso, devido a esta característica. Os resultados observados com o sistema *InfoSteer* justificam uma maior liberdade para os designers de SI em relação ao posicionamento do *feedback*, da interação e da informação.

5.4.4. Outras Configurações de Teste

O sistema completo simulado foi configurado à semelhança de um veículo real. No entanto, o nível de fidelidade não foi o mais alto, devido a restrições de espaço e material. Estudos realizados na área da interação humano-computador (IHC) em veículos efetuam as avaliações dos seus protótipos com configurações de testes com vários níveis de

fidelidade. De todos os estudos expostos na Revisão de Literatura, a configuração final deste projeto enquadra-se entre os estudos com configurações de teste de menor fidelidade. No mais alto nível, a avaliação dos protótipos foi realizada num veículo real, numa situação de condução real [40], [41], [48], apesar de nem sempre com o carro em movimento. Com ligeiramente menos fidelidade, certos autores realizaram as suas avaliações com um veículo real, mas com um percurso projetado ou exposto numa área de grandes dimensões [19]. Passando às configurações onde se tenta simular o interior de um veículo real, os autores optam sempre por usar volantes e pedais de jogos ou simulador, uma cadeira com estofos, e um ecrã táctil para simular o SI do veículo. Nesta categoria de configurações há, ainda, variação no método de exposição do percurso de testes. Certos estudos tentaram aumentar a fidelidade da simulação, apesar do material disponível e, para tal, usaram um ecrã de grandes dimensões, vários ecrãs, ou uma tela projetada, de modo a aumentar a imersão do participante na simulação [39], [45], [49]. Finalmente, com as mesmas características destes simuladores, mas com ecrãs de menores dimensões, enquadram-se os restantes estudos [37], [38], [44], [46], onde se enquadra o estudo realizado para o sistema *InfoSteer*.

Devido à natureza háptica do *feedback* produzido pelo sistema desenvolvido, as vibrações de um veículo real podem afetar a capacidade de identificar e até sentir as vibrações produzidas pelos atuadores hápticos. Uma avaliação de maior fidelidade seria necessária para averiguar estes fatores. A avaliação poderia ser realizada num veículo real com o motor ligado (e com as devidas alterações ao procedimento de teste) e um percurso projetado, ou até mesmo numa situação de condução real (com as devidas precauções de segurança, devido à montagem do material no volante). Outro fator a melhorar na avaliação do *InfoSteer* seria a fidelidade do banco onde o participante se senta. Além disto, a posição do condutor, a sua elevação e distância em relação ao volante são fatores que afetam a forma como cada participante agarra no volante e, conseqüentemente, realiza o contacto da palma da mão com os atuadores hápticos.

5.5. Limitações

Apesar dos bons resultados obtidos, o protótipo apresentou algumas limitações. Embora explícito aos participantes qual a melhor forma de agarrar o volante, nem sempre se conseguiu obter o melhor contacto entre os atuadores hápticos e a palma da mão, devido a diferenças físicas entre os participantes e a falta de flexibilidade do equipamento

(e.g.: cadeira com altura fixa). Os resultados da avaliação do protótipo final do módulo de *feedback* não mostraram falhas óbvias em relação a este problema, no entanto deve ser considerada uma maneira de garantir o melhor contacto entre o protótipo e o utilizador.

Sobre o módulo de interação, o sistema de rastreio da mão direita do utilizador exibiu limitações a nível do posicionamento. Apesar dos esforços de desenvolvimento de um algoritmo de rastreio que permitisse flexibilidade na montagem do controlador *Leap Motion*, os melhores resultados eram obtidos com uma montagem específica. Além disto, o controlador apresentou um pequeno atraso desde o posicionamento da mão sobre o seu campo de visão até a sua deteção. Associado ao facto de os participantes tentarem realizar a interação com o SI o mais rapidamente possível, muitas vezes o sistema não conseguiu registar as coordenadas e vetores da mão do utilizador, impossibilitando o sistema de funcionar na sua totalidade. Nestes casos, o sistema não proporcionou *feedback* na forma de padrões direcionais, mas sim apenas o *feedback* háptico de confirmação das ações.

O rastreio do dedo indicador direito do utilizador para uma posição discreta no ecrã apresentou um pequeno desfasamento, devido ao ruído nas coordenadas dadas pelo controlador. Foram feitos esforços para reduzir este ruído através de filtros, no entanto, foi impossível eliminá-lo completamente. Isto levou a que, por vezes, o cursor invisível controlado pelo gesto de apontar para o ecrã não correspondesse perfeitamente à posição que o utilizador esperava e, possivelmente, levasse a que fossem despoletados padrões de vibração erróneos.

Em relação ao procedimento de teste, a validade dos resultados podia ser melhorada trocando a ordem das tarefas entre participantes, aplicando, por exemplo, *Latin Square 7x7*. Além disto, o facto de os participantes estarem ambientados com o sistema (ver 5.2.1.2 e 5.2.1.3) pode invalidar os resultados. Por fim, a posição dos atuadores em relação à mão esquerda do condutor pode apresentar uma limitação. Apesar da posição recomendada das mãos ser às 9h e 3h, não é esperado que, durante uma sessão de condução, o condutor mantenha a mão esquerda sempre na mesma posição, o que pode limitar a capacidade de o sistema proporcionar *feedback* ao condutor. Uma possível solução para esta limitação seria aumentar a área abrangida pelos atuadores, aumentando a quantidade dos mesmos, para que o *feedback* possa ser proporcionado em várias posições do volante.

6. Implementação

Neste capítulo é explicado, de forma mais aprofundada, a montagem e implementação dos vários sistemas e programas desenvolvidos para este projeto, desde o *software* do próprio protótipo, aos programas de auxílio às avaliações.

6.1. Módulo de *Feedback*

Para conceber o módulo de *feedback*, procedeu-se à montagem do circuito esquematizado na figura seguinte.

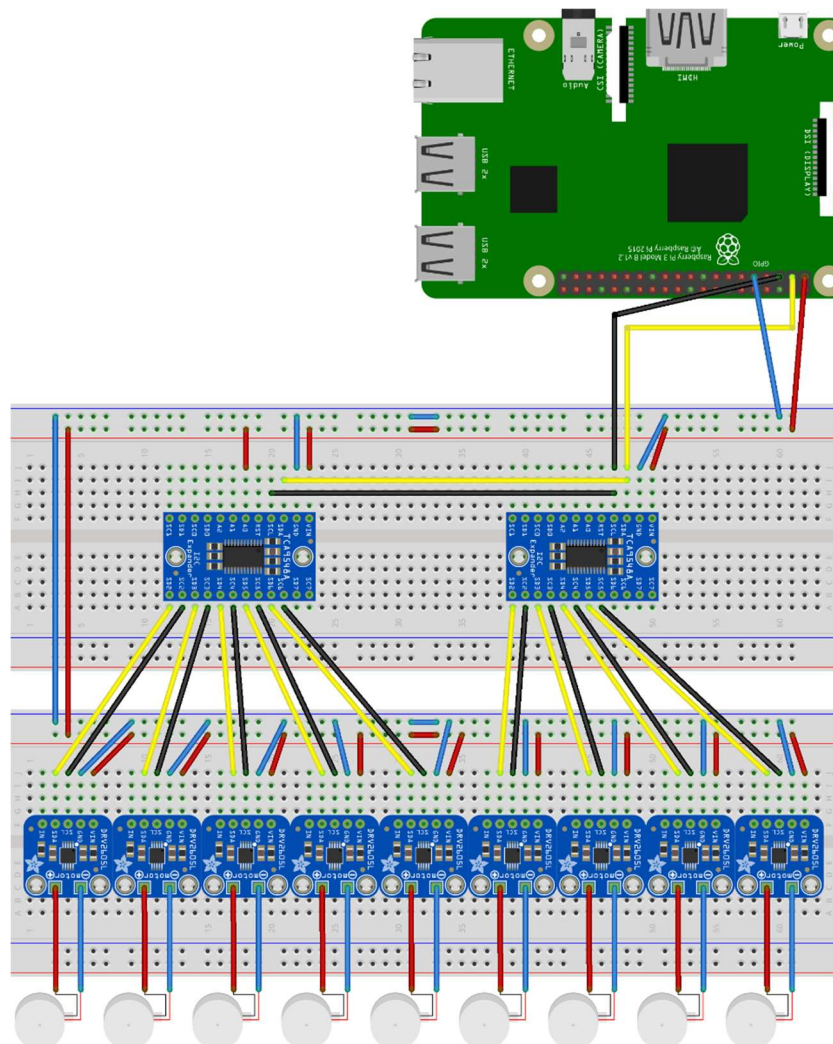


Figura 47. Circuito do módulo de feedback

Este circuito é composto por 9 atuadores hápticos [73], cada um deles conectado a um controlador [74]. Este conjunto de atuadores e controladores foi multiplexado por 2

multiplexers [75], de modo a ser possível controlar todos os atuadores hápticos através do mesmo canal de comunicação. Este circuito foi, então, conectado a um *Raspberry Pi Model 3 B+* [76], onde foi executado todo o *software* relativo a este sistema. Este *software* foi implementado, na sua totalidade, com a linguagem de programação *Python*, devido à sua facilidade de uso para prototipagem rápida, bem como forte suporte e compatibilidade com o material usado.

A implementação do *software* de controlo dos atuadores teve um foco na assincronicidade dos padrões de vibração. Esta característica fez com que fosse possível interromper um padrão para executar outro. Na avaliação deste módulo, esta característica não foi essencial, visto que os padrões foram executados em intervalos determinados. No entanto, a avaliação do sistema final foi representativa de um caso de uso real, em que o movimento da mão direita do utilizador pode exigir que o sistema reproduza vários padrões num curto intervalo de tempo, levando a esta necessidade de poder interromper um padrão a qualquer momento para reproduzir o próximo.

Para a avaliação do módulo (ver 3.1.3), foi ainda implementado um pequeno programa automatizado, que reproduzia um padrão aleatório a cada 3 segundos, 20 vezes (no total, cada um dos quatro padrões foi reproduzido 5 vezes). Este processo repetiu-se 11 vezes (a primeira série foi ignorada, sem o conhecimento dos participantes), com 10s de intervalo entre cada série.

6.2. Módulo de Interação

Devido a limitações de compatibilidade do equipamento utilizado, nomeadamente o controlador *Leap Motion*, foi escolhido o sistema operativo *Windows* como plataforma de desenvolvimento principal para este módulo.

Em termos arquiteturais, o sistema de rastreio é composto pela interface visual, que comunica com o módulo de *feedback*, e por uma componente que rastreia a mão direita do utilizador e traduz o seu gesto de apontar para uma posição discreta num ecrã, permitindo controlar o cursor do rato.

6.2.1. Interface Visual

Começando pela interface visual, foi usada a ferramenta *Processing* e a linguagem de programação *Java* para desenhar, programaticamente, as interfaces escolhidas para a avaliação do sistema. Esta ferramenta permite implementar protótipos visuais muito

rapidamente e usar as funcionalidades da linguagem *Java* para implementar o canal de comunicação deste módulo. Da mesma forma que no módulo de *feedback*, um *socket* é inicializado ao correr qualquer uma das interfaces.

6.2.2. Rastreo da Mão

O rastreo da mão direita do utilizador foi realizado com um controlador *Leap Motion*. O *software* implementado para este fim foi escrito em *Python* e foi usada a técnica de *polling* para ler os dados provenientes do dispositivo. Esta leitura foi realizada a uma frequência de 60 vezes por segundo, de modo a equilibrar a performance do programa (no computador usado) e a qualidade do controlo do cursor. O seguinte bloco de código foi executado a cada leitura.

```
frame = controller.frame()

for hand in frame.hands:
    # only if a right hand is detected
    if hand.is_right:
        index_finger = hand.fingers.finger_type(1)[0] # index finger

        bone 1 = index_finger.bone(1) # finger base bone
        bone 2 = index_finger.bone(0) # hand bone

        position = bone 1.center + bone 2.direction.normalized * -50
        direction = (bone 1.direction + bone 2.direction).normalized * -1
        mouse.position = calculate_cursor_position(direction, position)
```

Como foi referido em 4.1.2, foi escolhido o método de rastreo que calcula a posição do cursor tendo em conta a direção do gesto de apontar. No entanto, os dados provenientes do dispositivo apresentaram problemas quando o utilizador fechava a mão (exceto o dedo indicador) para realizar o gesto. Para atenuar esta limitação, foi realizado um cálculo que utiliza a posição e direção de outras partes da mão (ossos) para calcular o vetor direção (ver linhas sublinhadas no bloco de código anterior). Para realizar o cálculo final da posição do cursor, é realizada uma série de cálculos para traduzir a posição e direção do gesto de um valor em milímetros para uma posição em pixéis no ecrã. Para isto, uma série de configurações, relativas ao posicionamento do dispositivo e às dimensões do ecrã (ver

4.1), são lidas de um ficheiro de configuração. Finalmente, as coordenadas são filtradas para eliminar o ruído dos dados do dispositivo e o cursor é colocado na posição calculada.

6.2.3. Rastreio Visual

O rastreio visual é uma parte importante deste módulo, apesar de não ser necessário ao seu funcionamento. Esta funcionalidade permitiu monitorizar o olhar do utilizador durante as avaliações e registar métricas importantes, tais como as referidas em capítulos anteriores (número de desvios visuais para fora da estrada e duração total dos mesmos). Para este fim, foi usado um programa chamado *GazePointer*. Após realizar um processo automatizado de calibração, este *software* fornece um *stream* contínuo das coordenadas (em pixéis) para onde o utilizador está a olhar.

Foi implementado um programa em *C#* para realizar a leitura destes dados e registar automaticamente as métricas referidas. Sempre que um novo conjunto de coordenadas é lido, são comparadas com as coordenadas anteriores para determinar se o olhar saiu, entrou, ou manteve-se na mesma zona do ecrã. Ao finalizar a execução do programa, os dados são formatados e exportados para um ficheiro, para facilitar a leitura e análise dos mesmos.

6.3. Comunicação

A comunicação entre os dois módulos é realizada de forma unidirecional, através de um *socket*. Esta abordagem visou a comunicação de dados simples de forma rápida, fiável, com o mínimo de atraso possível, e sem fios.

No módulo de *feedback*, é inicializado um *socket* que fica à escuta de informação. É implementado em *Python* e comunica diretamente com o *software* que controla os atuadores hápticos, para que seja reproduzido a *feedback* desejado. No total, este canal apenas recebe 5 identificadores – um para cada padrão direcional e 1 para o “clique”.

No módulo de interação, as alterações à posição do cursor do rato são monitorizadas constantemente pelo *software* que corre as interfaces visuais e, quando este atravessa qualquer uma das arestas dos botões, a informação correspondente é transmitida ao módulo de *feedback*. Neste componente, o *socket* (implementado em *Java*) é inicializado e terminado sincronamente com as interfaces e recebe instruções diretamente das mesmas sobre qual a informação a enviar ao módulo de *feedback*.

6.4. Conclusão

O desenvolvimento deste sistema implicou o contacto com uma variedade de tecnologias, desde a montagem do *hardware* até à implementação de todo o *software* que compõe o sistema, e ainda aos programas de auxílio às avaliações. Todo este processo permitiu aplicar conhecimentos previamente adquiridos e aprender e utilizar novos conceitos, tais como rastreio visual (*eye tracking*), programação de microprocessadores e montagem e soldadura de circuitos.

O objetivo deste trabalho não foi apresentar uma contribuição técnica para a área do *feedback* háptico no contexto automóvel. Contudo, julgamos ter apresentado uma plataforma para a avaliação apropriada para o estudo em questão.

O objetivo dos programas auxiliares, alcançado com sucesso, foi automatizar ao máximo o processo de avaliação dos sistemas e eliminar possíveis falhas de observação e de registo de métricas por parte do responsável. Houve ainda um foco na responsividade e no funcionamento em tempo real do sistema, pelo que foram usados dois computadores (para paralelizar certos processos) na avaliação do protótipo final.

Todo o código e esquemáticos dos circuitos foram disponibilizados *online* para permitir a replicação da solução apresentada neste trabalho.

7. Artigos

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram submetidos os seguintes artigos para diferentes conferências:

- ***IUI 2020 Demos and Posters - Studying interaction with in-car infotainment systems using haptic and hovering techniques***
- ***DIS 2020 Provocations and WIP - Studying Interaction With In-Car Infotainment Systems Using Haptic and Hovering Techniques***
- ***AutomotiveUI 2020 Papers - InfoSteer: In-Car Infotainment System Feedback Using Haptic and Hovering Techniques***
- ***CHI 2021 Papers - HapWheel: In-Car Infotainment System Feedback Using Haptic and Hovering Techniques***

Infelizmente, nenhuma das submissões foi aceite, apesar da melhoria contínua da sua qualidade, como comprovada pelas críticas. De modo geral, foi reconhecido valor na ideia e nos estudos realizados, apenas notando-se dificuldade em expor claramente todo o âmbito do projeto, dados os limites dos artigos.

8. Conclusões

Neste trabalho foi apresentada toda pesquisa e desenvolvimento alusivos ao sistema *InfoSteer*. Nos capítulos iniciais, foi comprovada a importância da atenção visual durante a tarefa primária da condução. A maioria dos veículos modernos dependem de ecrãs tácteis como interface física principal para apresentação de informação secundária (e, por vezes, primária, como é o caso do fabricante Tesla). Além disto, dependem desse ecrã para realizar a maior parte das operações do sistema de *infotainment* do veículo. Esta modalidade de interação requer mais atenção visual do que na interação com interfaces tradicionais, compostas por botões e outros dispositivos tangíveis e físicos. Nestas interfaces, o condutor consegue localizar-se através do tacto e, muitas vezes, não precisa de desviar o olhar da estrada para realizar uma operação no SI.

Com isto, foi idealizado um sistema com um conjunto de objetivos estabelecidos, especificamente, criar um sistema que, usado em conjunto com uma interface táctil tradicional, permitisse replicar a vantagem supramencionada das interfaces tradicionais (delinear as arestas da interface visual) e, principalmente, reduzir a dependência visual que a interação com SI modernos requer.

Após uma pesquisa extensiva focada em trabalhos relacionados e estudos estatísticos sobre esta área de estudo, foram escolhidas algumas características de outros protótipos para implementar no sistema idealizado, integradas com novas funcionalidades. O sistema foi planeado em duas partes – uma parte focada na interação, e outra em proporcionar *feedback* háptico ao utilizador. Este sistema visou permitir que o utilizador se localizasse na interface táctil através de vibrações localizadas, na forma de padrões, antes de realizar o toque no ecrã.

O desenvolvimento começou pelo módulo de *feedback* háptico, que consistiu em montar um conjunto de atuadores hápticos na zona do volante onde o condutor coloca a mão esquerda. Numa primeira iteração, os atuadores foram montados numa disposição de matriz, e programados para realizar quatro padrões direcionais distintos. Uma avaliação ao sistema mostrou fraquezas e uma taxa de identificação de padrões relativamente baixa. Na segunda e última iteração deste módulo, foram implementadas melhorias orientadas a corrigir as fraquezas anteriores. Os atuadores foram montados em forma de cruz, de forma a acentuar a direccionalidade dos padrões e o contacto com a

palma da mão. Estas melhorias permitiram duplicar, efetivamente, a taxa de sucesso na identificação de padrões, obtendo-se um valor próximo de 100%.

Deu-se início ao desenvolvimento do módulo de interação. Com esta parte do sistema, pretendeu-se desenvolver uma forma de interação onde a mão direita do utilizador é rastreada, para que seja proporcionado o *feedback* háptico antes de realizar o toque e, também, imediatamente após o mesmo, para confirmar o registo bem-sucedido da ação. Foram implementadas 3 interfaces visuais de acordo com o SI do veículo mais popular em Portugal e de acordo com as tarefas realizadas com mais frequência – rádio, navegação GPS e, também, navegação entre menus.

Procedeu-se à avaliação do sistema completo, composto pelos dois módulos desenvolvidos individualmente. Para este fim, foi montada uma configuração de testes baseada em configurações de estudos semelhantes, com o intuito de replicar o interior de um veículo. Foram avaliadas três tarefas num simulador padronizado, realizadas com e sem o protótipo desenvolvido e foram registadas métricas quantitativas relevantes. Comparando com uma condução sem distrações e sem realização de tarefas secundárias, confirmou-se a distração visual que a sua realização induz no condutor. Comparando a realização das tarefas sem e com o sistema, observaram-se melhorias significativas em métricas tais como a quantidade de desvios visuais para fora da estrada, a duração total destes desvios, e a quantidade de cliques errados na interface. A qualidade da condução não foi afetada significativamente, à semelhança do tempo necessário para completar a tarefa da Navegação e do esforço necessário para realizar qualquer uma das tarefas. Em termos qualitativos, o sistema permitiu alcançar uma interação com mais confiança, principalmente devido ao *feedback* de confirmação das ações. A informação direcional acabou por apresentar pouca utilidade aos utilizadores, principalmente por estarem concentrados em realizar a tarefa com rapidez e manter a qualidade da condução. Efetivamente, a rapidez das interações realizadas não permitiu aos utilizadores usufruírem da informação direcional para se localizarem sem retirar os olhos da estrada. Verificou-se que os utilizadores preferem esta abordagem, com o objetivo de reduzir o tempo despendido a interagir com o SI.

De forma geral, os objetivos estabelecidos no início do projeto foram cumpridos, introduzindo apenas melhorias (ou resultados equivalentes) em relação à interação tradicional com SI modernos. Algumas das características implementadas no sistema *InfoSteer* não apresentaram a utilidade esperada. Contudo, considera-se que o sistema foi bem-sucedido em alcançar o proposto.

O sistema apresenta possibilidade de investigação adicional, nomeadamente na variedade dos padrões hápticos e em que momento da interação podem ser proporcionados. Em termos de avaliação, outros fatores tais como a vibração de um automóvel real devem ser considerados na implementação da configuração de testes e, até, no desenho e implementação do sistema em si.

Como consideração final, considera-se que, à semelhança de tantos aspetos do desenho e construção dos veículos modernos, também o desenho e implementação dos SI modernos deviam ser sujeitos a regulamentos e leis, visto que os dados acumulados ao longo dos anos comprovam o perigo que a distração visual causa durante a condução. No entanto, a grande maioria dos fabricantes opta cada vez mais por implementar ecrãs tácteis nos SI dos seus veículos, portanto, justifica-se o investimento no estudo e pesquisa de forma a facilitar a interação com estes sistemas, garantido a segurança e qualidade da condução.

Este trabalho foi uma jornada de aprendizagem, onde interagi pela primeira vez com uma variedade de tecnologias, tais como a montagem e soldadura de circuitos, interação com atuadores hápticos, programação dos controladores dos atuadores, uso de *software* de rastreio visual, bem como todo o desenvolvimento e montagem associado ao sistema proposto. Principalmente, aprendi a fazer um estudo de um sistema, desde o recrutamento dos participantes à análise e discussão dos resultados, passando pela preparação de um protocolo e toda a logística associada à preparação do ambiente de testes, nomeadamente na avaliação final, onde foi necessário separar e sincronizar tarefas entre 2 computadores. Por fim, participei na escrita de vários artigos relativos ao sistema desenvolvido, onde aprendi a expor a ideia, motivação e desenvolvimento de um sistema, bem como os resultados da sua avaliação, de uma forma lógica e científica.

Referências

- [1] «What is In-Vehicle Infotainment (IVI)? - Definition from Techopedia», *Techopedia.com*, Dez. 11, 2019. <https://www.techopedia.com/definition/27778/in-vehicle-infotainment-ivi> (acedido Dez. 11, 2019).
- [2] «BearingPoint: 80% of new vehicles connected by 2020», Ago. 06, 2015. <https://www.consultancy.uk/news/2353/bearingpoint-80-percent-of-new-vehicles-connected-by-2020> (acedido Dez. 11, 2019).
- [3] G. Meixner *et al.*, «Retrospective and Future Automotive Infotainment Systems—100 Years of User Interface Evolution», em *Automotive User Interfaces*, G. Meixner e C. Müller, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 3–53.
- [4] «A brief History of GPS In-Car Navigation», *NDrive*, Abr. 09, 2018. <https://ndrive.com/brief-history-gps-car-navigation/> (acedido Fev. 12, 2020).
- [5] «24 Alarming Distracted Driving Statistics - (2019 Update)», *carsurance*, Dez. 11, 2019. <https://carsurance.net/blog/distracted-driving-statistics/> (acedido Dez. 11, 2019).
- [6] «How the Audi control concepts have developed», *audi.com*. <https://www.audi.com/en/experience-audi/models-and-technology/design/control-concepts.html> (acedido Fev. 12, 2020).
- [7] «BMW iDrive vs Audi MMI vs Mercedes COMAND compared», *carwow.co.uk*. <https://www.carwow.co.uk/blog/bmw-idrive-v-audi-mmi-vs-mercedes-comand> (acedido Fev. 12, 2020).
- [8] «One Knob Too Far. How Car Manufacturers Killed The Volume Dial and Compromised Our Safety», *FruStrat*, Ago. 12, 2017. <https://frustrat.com/one-knob-too-far-how-car-manufacturers-killed-the-volume-dial/> (acedido Fev. 12, 2020).
- [9] «Study: More cars will get automatic software updates», *usatoday*, Dez. 11, 2019. <https://www.usatoday.com/story/money/cars/2016/09/06/study-more-cars-get-automatic-software-updates/89899568/> (acedido Dez. 11, 2019).
- [10] «Honda Refreshes HR-V and Pilot For 2019: Volume Knobs Are Back», *CarBuzz*, Jun. 30, 2018. <https://carbuzz.com/news/honda-refreshes-hr-v-and-pilot-for-2019-volume-knobs-are-back> (acedido Fev. 12, 2020).
- [11] «Why Mazda is purging touchscreens from its vehicles», *Motor Authority*, Dez. 11, 2019. https://www.motorauthority.com/news/1121372_why-mazda-is-purging-touchscreens-from-its-vehicles (acedido Dez. 11, 2019).
- [12] «Honda bucks industry trend by removing touchscreen controls», *Autocar*. <https://www.autocar.co.uk/car-news/motor-shows-geneva-motor-show/honda-bucks-industry-trend-removing-touchscreen-controls> (acedido Mar. 31, 2020).

- [13] «Que carro conduz? Estes são os 10 mais vendidos em Portugal em 2019», *Jornal Expresso*. <https://expresso.pt/economia/2019-11-23-Que-carro-conduz--Estes-sao-os-10-mais-vendidos-em-Portugal-em-2019> (acedido Fev. 12, 2020).
- [14] M. A. Pérez, «Safety implications of infotainment system use in naturalistic driving.», *Work*, vol. 41, n. Suppl, pp. 4200–4204, 2012, doi: 10.3233/WOR-2012-0122-4200.
- [15] «Car Accidents Caused by In-vehicle Infotainment Systems Distraction», *Orange County Accident Injury Lawyer*, Mai. 15, 2019. <https://www.napolinlaw.com/orange/car-accidents/infotainment-systems-distraction/> (acedido Dez. 11, 2019).
- [16] «The Disadvantages of Voice Recognition Software | Techwalla.com», *Techwalla*, Dez. 11, 2019. <https://www.techwalla.com/articles/the-disadvantages-of-voice-recognition-software> (acedido Dez. 11, 2019).
- [17] E. Hoggan, S. A. Brewster, e J. Johnston, «Investigating the effectiveness of tactile feedback for mobile touchscreens», em *Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI '08*, Florence, Italy, 2008, p. 1573, doi: 10.1145/1357054.1357300.
- [18] M. Tory e R. Kincaid, «Comparing physical, overlay, and touch screen parameter controls», em *Proceedings of the 2013 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces - ITS '13*, St. Andrews, Scotland, United Kingdom, 2013, pp. 91–100, doi: 10.1145/2512349.2512812.
- [19] M. J. Pitts, G. Burnett, L. Skrypchuk, T. Wellings, A. Attridge, e M. A. Williams, «Visual–haptic feedback interaction in automotive touchscreens», *Displays*, vol. 33, n. 1, pp. 7–16, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.displa.2011.09.002.
- [20] S. G. Klauer, T. A. Dingus, V. L. Neale, J. D. Sudweeks, e D. J. Ramsey, «The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data». Abr. 2006.
- [21] J. Henderson, J. Avery, L. Grisoni, e E. Lank, «Leveraging Distal Vibrotactile Feedback for Target Acquisition», em *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '19*, Glasgow, Scotland Uk, 2019, pp. 1–11, doi: 10.1145/3290605.3300715.
- [22] «A brief history of in-vehicle infotainment and car data storage». <https://www.tuxera.com/blog/a-brief-history-of-in-vehicle-infotainment-how-tuxera-fits-in/> (acedido Fev. 14, 2020).
- [23] «Elon Musk says web browsers in Tesla cars will be updated to Chromium - Business Insider». <https://www.businessinsider.com/elon-musk-tesla-web-browser-chromium-2019-3> (acedido Fev. 14, 2020).

- [24] «What's driving in-vehicle infotainment systems?»
<https://www.electronicsspecifier.com/products/artificial-intelligence/what-s-driving-in-vehicle-infotainment-systems> (acedido Fev. 14, 2020).
- [25] R. Ramnath, N. Kinnear, S. Chowdhury, e T. Hyatt, «Interacting with Android Auto and Apple CarPlay when driving: The effect on driver performance», Jan. 2020. Acedido: Mar. 20, 2020. [Em linha]. Disponível em:
https://iamwebsite.blob.core.windows.net/media/docs/default-source/default-document-library/infotainmentsudy.pdf?sfvrsn=f4c6755c_6.
- [26] «The best new infotainment systems available today - Roadshow».
<https://www.cnet.com/roadshow/news/best-car-infotainment-systems/> (acedido Fev. 14, 2020).
- [27] «The Best Infotainment Systems for 2020 | Digital Trends».
<https://www.digitaltrends.com/cars/best-infotainment-system/> (acedido Fev. 14, 2020).
- [28] «The 7 Best Car Infotainment Systems You Can Buy • Gear Patrol».
<https://gearpatrol.com/2019/04/23/the-7-best-car-infotainment-systems-you-can-buy/> (acedido Fev. 14, 2020).
- [29] «Audi MMI: Exploring Audi's in-car infotainment and tech options».
<https://www.pocket-lint.com/cars/news/audi/140154-audi-mmi-infotainment-tech-review-explored-cars> (acedido Fev. 14, 2020).
- [30] «BMW iDrive: The ultimate guide | TechRadar».
<https://www.techradar.com/news/car-tech/bmw-idrive-the-ultimate-guide-1085113> (acedido Fev. 14, 2020).
- [31] «Mercedes-Benz User Experience: Revolution in the cockpit.»
<https://www.mercedes-benz.com/en/innovation/connected/mbux-mercedes-benz-user-experience-revolution-in-the-cockpit/> (acedido Fev. 17, 2020).
- [32] K. Barry, «Choose an Infotainment System You'll Love», *Consumer Reports*.
<https://www.consumerreports.org/automotive-technology/choose-an-infotainment-system-you-will-love/> (acedido Fev. 17, 2020).
- [33] «Quais foram as marcas de carros mais vendidas em Portugal em 2019?»,
idealista.pt/news.
<https://www.idealista.pt/news/financas/economia/2020/01/06/41993-quais-foram-as-marcas-de-carros-mais-vendidas-em-portugal-em-2019> (acedido Fev. 17, 2020).
- [34] «2019 (Half Year) Europe: Best-Selling Car Manufacturers, Brands and Models», *Car Sales Statistics*, Jul. 22, 2019. <https://www.best-selling-cars.com/europe/2019-half-year-europe-best-selling-car-manufacturers-brands-and-models/> (acedido Fev. 17, 2020).

- [35] D. Strayer *et al.*, «Visual and Cognitive Demands of Using Apple’s CarPlay, Google’s Android Auto and Five Different OEM Infotainment Systems», University of Utah, p. 92.
- [36] X.-D. Yang, T. Grossman, P. Irani, e G. Fitzmaurice, «TouchCuts and TouchZoom: enhanced target selection for touch displays using finger proximity sensing», em *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems - CHI '11*, Vancouver, BC, Canada, 2011, p. 2585, doi: 10.1145/1978942.1979319.
- [37] I. E. González, J. O. Wobbrock, D. H. Chau, A. Faulring, e B. A. Myers, «Eyes on the Road, Hands on the Wheel: Thumb-based Interaction Techniques for Input on Steering Wheels», p. 8.
- [38] B. Pfleging, S. Schneegass, e A. Schmidt, «Multimodal interaction in the car: combining speech and gestures on the steering wheel», p. 8, 2012.
- [39] I. Aslan, A. Krischkowsky, A. Meschtscherjakov, M. Wuchse, e M. Tscheligi, «A leap for touch: proximity sensitive touch targets in cars», em *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI '15*, Nottingham, United Kingdom, 2015, pp. 39–46, doi: 10.1145/2799250.2799273.
- [40] B. I. Ahmad, P. M. Langdon, S. J. Godsill, R. Donkor, R. Wilde, e L. Skrypchuk, «You Do Not Have to Touch to Select: A Study on Predictive In-car Touchscreen with Mid-air Selection», em *Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - Automotive 'UI 16*, Ann Arbor, MI, USA, 2016, pp. 113–120, doi: 10.1145/3003715.3005461.
- [41] M. Berger, R. Bernhaupt, e B. Pfleging, «A tactile interaction concept for in-car passenger infotainment systems», em *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct Proceedings - AutomotiveUI '19*, Utrecht, Netherlands, 2019, pp. 109–114, doi: 10.1145/3349263.3351914.
- [42] D. Kontaris, D. Harrison, E.-E. Patsoule, S. Zhuang, e A. Slade, «Feelybean: communicating touch over distance», em *Proceedings of the 2012 ACM annual conference extended abstracts on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts - CHI EA '12*, Austin, Texas, USA, 2012, p. 1273, doi: 10.1145/2212776.2212439.
- [43] B. Chaparro e M. Deron, «How Important is Visual Feedback When Using a Touch Screen?», Jan. 2000.
- [44] H. Richter, R. Ecker, C. Deisler, e A. Butz, «HapTouch and the 2+1 state model: potentials of haptic feedback on touch based in-vehicle information systems», p. 8, 2010.

- [45] M. J. Pitts, L. Skrypchuk, T. Wellings, A. Attridge, e M. A. Williams, «Evaluating User Response to In-Car Haptic Feedback Touchscreens Using the Lane Change Test», *Advances in Human-Computer Interaction*, vol. 2012, pp. 1–13, 2012, doi: 10.1155/2012/598739.
- [46] C. Grane e P. Bengtsson, «Driving performance during visual and haptic menu selection with in-vehicle rotary device», *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 18, pp. 123–135, Mai. 2013, doi: 10.1016/j.trf.2012.12.011.
- [47] Sungjae Hwang e Jung-hee Ryu, «The Haptic steering Wheel: Vibro-tactile based navigation for the driving environment», em *2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, Mannheim, Germany, Mar. 2010, pp. 660–665, doi: 10.1109/PERCOMW.2010.5470517.
- [48] C. J. Ploch, J. H. Bae, W. Ju, e M. Cutkosky, «Haptic skin stretch on a steering wheel for displaying preview information in autonomous cars», em *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Daejeon, South Korea, Out. 2016, pp. 60–65, doi: 10.1109/IROS.2016.7759035.
- [49] J. Chun, I. Lee, G. Park, J. Seo, S. Choi, e S. H. Han, «Efficacy of haptic blind spot warnings applied through a steering wheel or a seatbelt», *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 21, pp. 231–241, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.trf.2013.09.014.
- [50] G. Shakeri, S. A. Brewster, J. Williamson, e A. Ng, «Evaluating Haptic Feedback on a Steering Wheel in a Simulated Driving Scenario», em *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '16*, San Jose, California, USA, 2016, pp. 1744–1751, doi: 10.1145/2851581.2892497.
- [51] Y. Aldien, D. Welcome, S. Rakheja, R. Dong, e P.-E. Boileau, «Contact pressure distribution at hand–handle interface: role of hand forces and handle size», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 35, n. 3, pp. 267–286, Mar. 2005, doi: 10.1016/j.ergon.2004.09.005.
- [52] A. Gallace, H. Z. Tan, e C. Spence, «Numerosity judgments for tactile stimuli distributed over the body surface.», *Perception*, vol. 35, n. 2, pp. 247–266, 2006, doi: 10.1068/p5380.
- [53] B. Jonsson, «Hand Position on Steering Wheel During Driving», *Traffic Injury Prevention*, vol. 12, n. 2, pp. 187–190, Mar. 2011, doi: 10.1080/15389588.2010.533722.
- [54] «How to Hold a Steering Wheel Correctly: 3 Crucial Tips», *Driving-Tests.org*, Dez. 11, 2019. <http://driving-tests.org/beginner-drivers/how-to-hold-a-steering-wheel/> (acedido Dez. 11, 2019).

- [55] «Investigating the most common causes of distracted driving», *Luhrsen Goldberg, LLC.*, Fev. 04, 2016. <https://www.lginjuryfirm.com/common-causes-distracted-driving/> (acedido Dez. 11, 2019).
- [56] «Driving Simulators (CarSim and TruckSim)», Dez. 11, 2019. <https://www.carsim.com/products/ds/index.php> (acedido Dez. 11, 2019).
- [57] «Fig. 2: LCT test setup with a fixed-base driving simulator», *ResearchGate*, Dez. 11, 2019. https://www.researchgate.net/figure/LCT-test-setup-with-a-fixed-base-driving-simulator_fig2_221187770 (acedido Dez. 11, 2019).
- [58] 14:00-17:00, «ISO 26022:2010», *ISO*, Dez. 11, 2019. <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/04/33/43361.html> (acedido Dez. 11, 2019).
- [59] S. Mattes, «The Lane-Change-Task as a tool for driver distraction evaluation», *Quality of Work and Products in Enterprises of the Future*, pp. 57–60, Jan. 2003.
- [60] M.-P. Bruyas, C. Brusque, H. Tattegrain, A. Auriault, I. Aillerie, e M. Duraz, «Consistency and sensitivity of lane change test according to driving simulator characteristics», *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 2, n. 4, p. 306, 2008, doi: 10.1049/iet-its:20080041.
- [61] J. Harbluk, J. Mitroi, e P. Burns, «Three Navigation Systems With Three Tasks: Using the Lane-Change Test (LCT) to Assess Distraction Demand», Out. 2017, pp. 24–30, doi: 10.17077/drivingassessment.1298.
- [62] «Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems - Simulated Lane Change Test to assess in-vehicle secondary task demand». <https://www.sis.se/api/document/preview/912582/> (acedido Fev. 17, 2020).
- [63] «Fig. 3: Graphical representation of the lateral deviation between the...», *ResearchGate*, Dez. 11, 2019. https://www.researchgate.net/figure/Graphical-representation-of-the-lateral-deviation-between-the-normative-model-and-the_fig3_221187770 (acedido Dez. 11, 2019).
- [64] J. L. Harbluk, P. C. Burns, M. Lochner, e P. L. Trbovich, «Using the Lane-Change Test (LCT) to Assess Distraction: Tests of Visual-Manual and Speech-Based Operation of Navigation System Interfaces», em *Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle*, Stevenson, Washington, USA, 2007, pp. 16–22, doi: 10.17077/drivingassessment.1208.
- [65] «Volante e pedais Logitech G920 & G29 Driving Force», Dez. 11, 2019. <https://www.logitechg.com/pt-br/products/driving/driving-force-racing-wheel.html> (acedido Dez. 11, 2019).
- [66] «STISIM Drive | Car Driving Simulator & Software for Occupational Therapy», Dez. 11, 2019. <https://stisimdrive.com/> (acedido Dez. 11, 2019).

- [67] T. Kujala, «Browsing the information highway while driving: three in-vehicle touch screen scrolling methods and driver distraction», *Pers Ubiquit Comput*, vol. 17, n. 5, pp. 815–823, Jun. 2013, doi: 10.1007/s00779-012-0517-2.
- [68] «TLX @ NASA Ames - Home».
<https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/> (acedido Dez. 27, 2019).
- [69] «MeasuringU: 10 Things to Know about the NASA TLX».
<https://measuringu.com/nasa-tlx/> (acedido Dez. 28, 2019).
- [70] P. Green, «Crashes Induced by Driver Information Systems and What Can Be Done to Reduce Them», p. 11.
- [71] D. Shinar e F. Schieber, «Visual Requirements for Safety and Mobility of Older Drivers», *Hum Factors*, vol. 33, n. 5, pp. 507–519, Out. 1991, doi: 10.1177/001872089103300503.
- [72] S. Brewster, F. Chohan, e L. Brown, «Tactile feedback for mobile interactions», em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '07*, San Jose, California, USA, 2007, pp. 159–162, doi: 10.1145/1240624.1240649.