

Universidades Lusíada

Veloso, Diana Barbosa

**Design de mobilidade : volante simulador de
condução automóvel orientado à experiência do
utilizador**

<http://hdl.handle.net/11067/8610>

Metadados

Data de Publicação

2025

Resumo

No cruzamento entre os paradigmas contemporâneos da mobilidade e a sensibilidade do pensamento projetual, delineia-se a urgência de repensar criticamente os artefactos que estruturam a experiência da condução enquanto prática formativa, sensorial e simbólica. O volante, enquanto mediador físico e semântico entre o corpo e a máquina, ultrapassa a sua condição funcional para se tornar superfície de expressão, linguagem tátil e interface emocional. Ao integrar princípios de ergonomia cognitiva, est...

At the intersection of contemporary mobility paradigms and the sensibility of design thinking, emerges an urgent call to critically reassess the artefacts that structure the driving experience as a formative, sensorial, and symbolic practice. The steering wheel, as both a physical and semantic mediator between the body and the machine, transcends its operational function to become a surface of expression — a tactile language and an emotional interface. By integrating principles of cognitive ergo...

Palavras Chave

Design, Design de produto, Ergonomia, Caso de estudo - Volante de condução automóvel

Tipo

masterThesis

Revisão de Pares

Não

Coleções

[ULP-FD] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2026-11-01T04:33:22Z com informação proveniente do Repositório



UNIVERSIDADE LUSÍADA DO PORTO

**DESIGN DE MOBILIDADE: VOLANTE SIMULADOR
DE CONDUÇÃO AUTOMÓVEL ORIENTADO À
EXPERIÊNCIA DO UTILIZADOR**

Diana Barbosa Veloso

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre de Design de Produto

Porto, 2025



UNIVERSIDADE LUSÍADA DO PORTO

**DESIGN DE MOBILIDADE: VOLANTE SIMULADOR
DE CONDUÇÃO AUTOMÓVEL ORIENTADO À
EXPERIÊNCIA DO UTILIZADOR**

Diana Barbosa Veloso

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre de Design de Produto

Orientador: Professor Doutor Rui Alexandre Lopes de Sousa

Coorientador: Professor Doutor Pedro Miguel Pinto Reis Gomes

Porto, 2025

AVISO LEGAL

O conteúdo desta tese reflete as perspectivas, o trabalho e as interpretações do autor no momento da sua entrega. Esta tese pode conter incorreções, tanto conceptuais como metodológicas, que podem ter sido identificadas em momento posterior ao da sua entrega. Por conseguinte, qualquer utilização dos seus conteúdos deve ser exercida com cautela. Ao entregar esta tese, o/a autor(a) declara que a mesma é resultante do seu próprio trabalho, contém contributos originais e são reconhecidas todas as fontes utilizadas, encontrando-se tais fontes devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção referências. O autor, declara, ainda, que não divulga na presente tese quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor ou de propriedade industrial.

Declaração sob compromisso de honra

(Artigo 6.º, n.º 2 das Normas e orientações para a submissão de trabalhos académicos na plataforma Urkund para deteção de similaridade e plágio)

Eu, abaixo assinado, tenho consciência de que a prática de plágio consiste numa forma de violação da integridade académica, constituindo um crime punível por lei com relevância nos regimes disciplinar, civil e criminal.

Nesse sentido, declaro por minha honra que a dissertação/tese apresentada é original e que todas as fontes, incluindo as da minha autoria, estão devidamente identificadas e referenciadas.

Porto, 29 de Agosto de 2025

O (A) Estudante

Diana Barbosa Veloso

Dedico esta dissertação,
a toda a minha família, em especial ao meu pai,
cujo fascínio pelo universo automobilístico
incitou o meu interesse e paixão por esta temática.

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que me acompanharam neste percurso, e tornaram possível a realização deste trabalho.

Primeiramente gostaria de mostrar o meu apreço ao Professor Doutor Rui Alexandre, pela orientação ao longo do meu percurso académico, e essencialmente por não desistir de me incentivar e mostrar empatia pela temática.

Agradecer igualmente ao Professor Doutor Pedro Reis, pela sua disponibilidade constante e acima de tudo pela inspiração que proporcionou ao longo de todo o processo, este trabalho não teria alcançado a mesma distinção sem o seu apoio inestimável.

Com todo o amor, agradeço ao meu Pai e à minha Mãe, por todo o esforço e dedicação para que tudo isto fosse possível. Obrigada por estarem sempre comigo e ajudarem a realizar os meus sonhos.

Ao meu irmão Lucas, e ao tio Miguel por todo o carinho. A toda a minha família paterna e materna por sempre acreditarem em mim! Às minhas estrelinhas no céu, por iluminarem o meu caminho e me guiarem para que possa ser uma pessoa melhor todos os dias.

Ao meu namorado Marcelo, pelo incentivo e por acreditar que sou capaz de superar tudo. Obrigada pelo teu apoio e amor incondicional.

À Carol por toda a força que me transmitiu, e por me acompanhar em todos os momentos.

Ao Bruno, pela dedicação incansável e pela forma generosa como abraçou este projeto, tratando-o com o mesmo empenho e cuidado como se fosse seu.

À Lília, e Ana, pela confiança e pelas palavras de incentivo, obrigada por não deixarem de me apoiar numa das etapas mais importantes da minha vida.

Por fim, a todos os meus professores e colegas que me acompanharam ao longo destes anos e que, de alguma forma contribuíram para o meu crescimento pessoal e académico.

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	IV
Palavras-Chave	IV
Abstract.....	V
Keywords.....	V
Índice de Figuras	VI
Índice de Gráficos.....	IX
Índice de Tabelas	XI
Índice de Siglas.....	XII

INTRODUÇÃO

Enquadramento e justificação da investigação	13
Relevância da pesquisa	14
Motivação	16
Objetivos.....	17
Problemática	18
Estrutura da dissertação	19

CAPÍTULO 1

DESIGN E EMOÇÃO

1.1. Design.....	22
1.2. Design de produto.....	24
1.3. Design de mobilidade e automóvel	26
1.4. Design interativo	29
1.5. Design emocional	34
1.6. <i>IoT</i> nos volantes automóveis	38

CAPÍTULO 2

A CONDUÇÃO AUTOMÓVEL E A EVOLUÇÃO DO VOLANTE

2.1. A condução automóvel	42
2.2. Perfil do condutor	45
2.3 Condução defensiva: fundamentos e importância	57
2.4. O volante automóvel – contextualização histórica	58
2.5. A importância do volante enquanto modelo ergonómico.....	70

2.6. Componentes e materiais constituintes do volante automóvel	79
2.7. Simuladores de condução	81
2.8. Volantes simuladores de condução: diferenças e semelhanças com automóveis reais	89

CAPÍTULO 3

MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO

3.1. Técnica de recolha	97
3.2. Tratamento de dados.....	99
3.3. Avaliação dos dados obtidos	100
3.4. Considerações finais da análise	114

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO PROJETUAL

4.1. Problema do design	119
4.2 Desenvolvimento conceptual.....	121
4.3. Conceito final (Renderização).....	126
4.4. Componentes do produto.....	128
4.5. Materiais e acabamentos.....	131
4.6 Protótipo final	133
4.7. Funcionamento do protótipo final	139
4.8. Validação do protótipo final	142

CONCLUSÃO.....

Limitações e perspetivas futuras	146
Referências bibliográficas	148
Apêndices	159
Anexos.....	165

Resumo

No cruzamento entre os paradigmas contemporâneos da mobilidade e a sensibilidade do pensamento projetual, delineia-se a urgência de repensar criticamente os artefactos que estruturam a experiência da condução enquanto prática formativa, sensorial e simbólica. O volante, enquanto mediador físico e semântico entre o corpo e a máquina, ultrapassa a sua condição funcional para se tornar superfície de expressão, linguagem tátil e interface emocional. Ao integrar princípios de ergonomia cognitiva, estética relacional e design emocional, esboça-se uma abordagem que transcende a lógica instrumental do simulador tradicional. A condução, quando pensada para além da eficiência técnica, revela-se como experiência imersiva, marcada por gestos significativos, percepções moduladas e vínculos afetivos entre sujeito e tecnologia.

Neste enquadramento, o simulador assume uma dimensão mais sensível: não apenas replica a realidade, mas constitui um ambiente performativo que desencadeia aprendizagens incorporadas e representações mentais duradouras. A interface deixa de ser um canal meramente operativo para se tornar instância comunicativa, capaz de gerar clareza, conforto e intuição. A articulação entre forma, materialidade, estímulo e emoção configura um novo horizonte para os sistemas de formação rodoviária, centrado na experiência subjetiva e na valorização do utilizador enquanto protagonista sensível e ativo. Desenha-se, assim, uma proposta que afirma o design como mediador crítico entre técnica e humanidade.

A interseção entre corporeidade, percepção e memória torna-se, assim, o terreno fértil para uma pedagogia imersiva que valoriza não apenas o desempenho motor, mas o enraizamento emocional e cognitivo da experiência. O volante, enquanto artefacto central desta estrutura simbólica, deixa de ser um simples condutor de movimento para se assumir como depositário de sentido, transmissor de afeto e catalisador de consciência situacional. Ao permitir que o utilizador se reconheça na interface e nela projete as suas intenções, medos e expectativas, abre-se espaço para um novo modelo de aprendizagem — mais humano, mais empático, mais significativo.

Palavras-Chave

Volante, Simulador, Experiência Imersiva, Ergonomia, Design Emocional

Abstract

At the intersection of contemporary mobility paradigms and the sensibility of design thinking, emerges an urgent call to critically reassess the artefacts that structure the driving experience as a formative, sensorial, and symbolic practice. The steering wheel, as both a physical and semantic mediator between the body and the machine, transcends its operational function to become a surface of expression — a tactile language and an emotional interface. By integrating principles of cognitive ergonomics, relational aesthetics, and emotional design, a conceptual framework is outlined that moves beyond the instrumental logic of conventional simulators. Driving, considered beyond its technical efficacy, is redefined as an immersive experience shaped by meaningful gestures, modulated perceptions, and affective bonds between user and technology.

Within this framework, the simulator acquires a more sensitive dimension: it does not merely replicate reality, but rather constructs a performative environment that fosters embodied learning and long-lasting mental representations. The interface ceases to act as a merely operational channel and becomes a communicative instance, capable of generating clarity, comfort, and intuitive comprehension. The articulation of form, materiality, stimulus, and emotion opens a new horizon for driver training systems — one centred on subjective experience and on the recognition of the user as a sensitive and active protagonist. Such an approach affirms design as a critical mediator between technological systems and human narratives.

At the convergence of corporeality, perception, and memory lies fertile ground for an immersive pedagogy that values not only motor performance but also the emotional and cognitive anchoring of the learning process. The steering wheel, as the core artefact of this symbolic structure, shifts from a directional instrument to a repository of meaning, a transmitter of affect, and a catalyst for situational awareness — enabling the user to project intention, anxiety, and expectation into an interface that is both responsive and reflective of human experience.

Keywords

Steering wheel, Simulator, Immersive Experience, Ergonomics, Emotional Design

Índice de Figuras

Figura 1. Classificação das funções de um produto. Elaborado pela investigadora com base em Löbach (1976, p.55).....	25
Figura 2. Matriz de design sensorial para interações no habitáculo. Fonte: Jansen et al. (2022, p.4)	27
Figura 3. Representação das modalidades de interação no interior do veículo. Modalidades de entrada: a) gesto, b) tato, c) olhar, d) eletrodérmico, e) fala, f) térmico, g) odor corporal, h) cerebral, i) cardíaco. Modalidades de saída: j) mudança de forma, k) vibração, l) exibição, m) eletrodérmico, n) fala, o) térmico, p) aroma, q) rotação do assento, r) gustativo. Fonte: Jansen et al. 2022, p.17)	28
Figura 4. Dimensão interdisciplinar do design de interação. Elaborado pela investigadora com base em Preece, Rogers & Sharp (2005, p.29).....	29
Figura 5. Metas de usabilidade. Elaborado pela investigadora.	31
Figura 6. Fatores que influenciam a UX. Elaborado pela investigadora.....	32
Figura 7. D. Norman - Os três comportamentos do design emocional. Elaborado pela investigadora.....	34
Figura 8. Porsche 911 GT3. Fonte: Site Mega Autos	35
Figura 9. Ferrari F8 Tributo. Fonte: Site Auto Drive	35
Figura 10. Interface Tesla Model S. Fonte: Site Motor Trend	37
Figura 11. iDrive BMW Série 7. Fonte: Site BMW Portugal.	37
Figura 12. Volante direcional (Sistema de direção). Fonte: Site LD Auto.	42
Figura 13. Pedais do veículo automóvel. Fonte: Site Olhar Digital	43
Figura 14. Travão de mão mecânico. Fonte: Site My Force	44
Figura 15. Travão de mão eletrónico. Fonte: Site Fix & Go	44
Figura 16. Caixa de velocidades manual. Fonte: Site Auto +	44
Figura 17. Caixa de velocidades automática. Fonte: Site Razão Automóvel.....	44
Figura 18. Patilhas (Paddle Shifters). Fonte: Site Autodoc Club	44
Figura 19. Matriz GDE. Elaborado pela investigadora com base em IMTT, 2010, p.2	46
Figura 20. Modelo de Reason. Fonte: IMTT, 2010, p.4.....	56
Figura 21. Fardier à vapeur de Joseph Cugnot, Paris. Fonte: Site Stakanich Media (s.d.).	59
Figura 22. Alavanca de direção. Fonte: Site Arts et Métiers (s.d.)	59

Figura 23. Benz Patent Motorwagen, 1886. Fonte: Site Heacock Classic (s.d.).....	60
Figura 24. Alavanca multifuncional. Fonte: Site ClassicCars.com (2020).....	60
Figura 25. Panhard & Levassor nº15 em 1894 (Paris-Rouen). Fonte: Site Est Républicain (2021).	62
Figura 26. Panhard & Levassor 4HP em 1895 (Paris-Bordeaux-Paris). Fonte: Site ClassicCars.com (2020).....	62
Figura 27. Mercedes 35HP. Fonte: Site BenzInsider.com (2014).....	64
Figura 28. Mercedes 35HP Rennwagen. Fonte: Site Supercars.net (s.d.).....	64
Figura 29. Ford Model T. Fonte: Site Ford Motor Company (s.d.).	64
Figura 30. Inclinação recomendada do volante para diferentes estaturas. Fonte: PMC, (2012).	74
Figura 31. Constituintes de um volante. Fonte: Site Audi/4Legend (2021).....	81
Figura 32. Primeiro simulador de voo ou barril de aprendizagem Antoniette. Fonte: Site Lintott (s.d.).....	83
Figura 33. O projeto de Link Trainer. Fonte: PressReader (s.d.).	84
Figura 34. The Drivotrainer. Fonte: Site Peek (2018).....	85
Figura 35. Simulador de condução na atualidade. Fonte: Site DriveSim Simulator (s.d.).	85
Figura 36. Simulador profissional. Fonte: Site Revista dos Pneus (2023).....	85
Figura 37. Simulador de condução em contexto pedagógico em Portugal. Fonte: ACP ...	87
Figura 38. Gianpiero Moretti - Fundados da marca MOMO. Fonte: Site MOMO (s.d.).	119
Figura 39. MOMO na Fórmula 1. Fonte: Site MOMO (s.d.).....	119
Figura 40. Volante MOMO Montecarlo. Elaborado pela investigadora.	120
Figura 41. Detalhes do volante. Fonte: Site MOMO S.r.l (s.d.).....	120
Figura 42. Moodboard. Elaborado pela investigadora.	122
Figura 43. Análise SCAMPER. Elaborado pela investigadora.	124
Figura 44. Primeiros esboços analógicos do suporte e do volante. Elaborado pela investigadora.....	125
Figura 45. Primeiros esboços no digital. Elaborado pela investigadora.....	126
Figura 46. Digitalização do volante através de scanner 3D. Elaborado pela investigadora.	126
Figura 47. Conceito final (Renderização) do volante. Elaborado pela investigadora.	127
Figura 48. Conceito final (Renderização) do suporte ergonómico. Elaborado pela investigadora.....	128
Figura 49. Diagrama funcional do volante. Elaborado pela investigadora.	129

Figura 50. Primeiros testes de prototipagem. Elaborado pela investigadora.	133
Figura 51. Testes de prototipagem (com defeito).....	134
Figura 52. Processo de lixagem e corte. Elaborado pela investigadora.	134
Figura 53. Ajuste e aperfeiçoamento das peças finais. Elaborado pela investigadora.	135
Figura 54. Montagem dos componentes elétricos. Elaborado pela investigadora.	135
Figura 55. Fase de pintura. Elaborado pela investigadora.....	136
Figura 56. Fase de estufagem e aplicação da peça central. Elaborado pela investigadora.	136
Figura 57. Protótipo Final. Elaborado pela investigadora.....	136
Figura 58. Fase de soldadura. Elaborado pela investigadora.	137
Figura 59. Protótipo final do suporte ergonómico. Elaborado pela investigadora.....	138
Figura 60. Encaixe do suporte na mesa. Elaborado pela investigadora.	139
Figura 61. Ajuste de altura do volante. Elaborado pela investigadora.	139
Figura 62. Ajuste e posicionamento correto do volante. Elaborado pela investigadora. .	140
Figura 63. Posicionamento do apoio de polegares (sensores de vibração) e utilização do botão volume (+). Elaborado pela investigadora.....	140
Figura 64. Utilização do botão volume (-) e botão Mute. Elaborado pela investigadora.	141
Figura 65. Utilização botão (Som) e Buzina. Elaborado pela investigadora.....	141
Figura 66. Movimentação do volante. Elaborado pela investigadora	141
Figura 67. Sessão de validação do protótipo. Elaborado pela investigadora.	143

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Dados relativos ao género dos inquiridos. Elaborado pela investigadora.	101
Gráfico 2. Dados relativos à faixa etária dos inquiridos. Elaborado pela investigadora. .	101
Gráfico 3. Dados relativos à experiência com simuladores. Elaborado pela investigadora.	103
Gráfico 4. Dados relativos à implementação de volantes simuladores nas escolas de condução. Elaborado pela investigadora,	103
Gráfico 5. Dados relativos ao tamanho / formato do volante. Elaborado pela investigadora.	104
Gráfico 6. Dados relativos ao apoio para polegares no volante. Elaborado pela investigadora.	105
Gráfico 7. Dados relativos às bordas acolchoadas. Elaborado pela investigadora.	105
Gráfico 8. Dados relativos à importância do peso do volante. Elaborado pela investigadora.	106
Gráfico 9. Dados relativos ao conforto em uso prolongado. Elaborado pela investigadora.	106
Gráfico 10. Dados relativos às principais funcionalidades e semelhanças ao volante convencional. Elaborado pela investigadora.	107
Gráfico 11. Dados relativos ao ajuste do volante (altura, profundidade). Elaborado pela investigadora.....	108
Gráfico 12. Dados relativos à incorporação do feedback sensorial. Elaborado pela investigadora.....	108
Gráfico 13. Dados relativos à inclusão de uma marcação ao centro do volante. Elaborado pela investigadora.	109
Gráfico 14. Dados relativos ao design e texturas. Elaborado pela investigadora.....	109
Gráfico 15. Dados relativos ao design moderno e atrativo. Elaborado pela investigadora.	110
Gráfico 16. Dados relativos ao contributo da aparência para melhorar o exercício da condução. Elaborado pela investigadora.	110
Gráfico 17. Dados relativos à avaliação da importância da aparência do volante. Elaborado pela investigadora.	111
Gráfico 18. Dados relativos à escolha de cores para o volante simulador. Elaborado pela investigadora.....	111

Gráfico 19. Dados relativos à escolha das características mais confortáveis ao segurar um volante. Elaborado pela investigadora.....	112
---	-----

Índice de Tabelas

Tabela 1. Distância ideal entre o tronco e o volante em função dos percentis antropométricos. Fontes: Pheasant & Haslegrave (2006); ISO 7250-1:2017; DINEN (2004)	73
Tabela 2. Exemplo de Tabela de Ajustes Recomendados (com base no percentil). Elaborado pela investigadora.	76
Tabela 3. Referências para posicionamento das mãos e diâmetro do volante. Elaborado pela investigadora.....	77
Tabela 4. Esquema comparativo de modelos de volantes automóveis. Elaborado pela investigadora.....	90
Tabela 5. Esquema comparativo de modelos de volantes simuladores. Elaborado pela investigadora.....	91
Tabela 6. Componentes Eletrônicos. Elaborado pela investigadora.....	130

Índice de Siglas

HCD - *Human-Centered Design*

UX – *User Experience*

IMT, IP – Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, IP

GDE - *Goals for Driver Education*

SRS – Segurança Passiva Integrada

ADAS – Avanços de Assistência à Condução

DAS – *Direct Adaptive Steering*

EPS – *Electric Power Steering*

GM – *General Motors*

COMAND – *Cockpit Management and Data*

NADS – *National Advance Driving Simulator*

NHTSA – *National Highway Traffic Safety Administration*

ER – Educação Rodoviária

SAAQ – *Société de L'assurance Automobile du Québec*

IoT – *Internet of Things*

ECG – *Electrocardiogram*

DMG - *Daimler Motoren Gesellschaft*

SSL - *Surtees Special Learning*

PLA - *Polylactic Acid*

MBUX - *Mercedes-Benz User Experience*

INTRODUÇÃO

Enquadramento e justificação da investigação

A evolução da mobilidade nas últimas décadas tem sido impulsionada pela incorporação crescente de tecnologias cada vez mais sofisticadas. Neste panorama, os simuladores de condução afirmam-se como ferramentas pedagógicas de elevado potencial, capazes de proporcionar ambientes controlados e seguros para o treino e aprendizagem de competências essenciais à condução automóvel. Contudo, grande parte da investigação e desenvolvimento nesta área tem-se concentrado na fidelidade da simulação ou na performance, negligenciando as especificidades do ensino inicial da condução e os desafios vivenciados por utilizadores inexperientes.

Neste contexto, o volante de simulação enquanto interface de relação homem – tecnologia adquire particular importância. Para além da sua função operacional, é o elemento central na interação física e simbólica entre o utilizador e o ambiente rodoviário simulado.

Analisando o mercado, observa-se que a maioria dos modelos existentes no mercado são concebidos com base em lógicas de simulação desportiva ou profissional, privilegiando o desempenho técnico e a fidelidade visual, em detrimento de critérios pedagógicos, ergonómicos e inclusivos. Este desalinhamento revela uma lacuna na oferta disponível, sobretudo no que respeita ao ensino inicial da condução, onde a clareza funcional, a segurança psicológica e a adaptabilidade são determinantes.

A presente investigação surge, assim, da necessidade de conceber um volante simulador especificamente orientado para contextos pedagógicos, que procure alinhar o design do dispositivo, com as necessidades concretas do utilizador em fase de aprendizagem. Este realce permite uma abordagem funcional, inclusiva e ajustada ao domínio educativo, onde a simplicidade operacional e a clareza do produto são tão ou mais relevantes do que a reprodução virtual fiel de condições reais de condução.

E é neste enquadramento que o design de produto assume uma função estratégica, ao operar numa zona de interseção entre a engenharia, a ergonomia e a psicologia da aprendizagem. A investigação parte do princípio de que o sucesso da simulação depende do conteúdo e da qualidade da interação proporcionada pelos seus componentes físicos. Helander (2006), argumenta que o design ergonómico contribui para reduzir o esforço cognitivo e físico,

promovendo comportamentos mais naturais e respostas mais qualificadas. Igualmente, Norman (2013) reforça que interfaces competentes são aquelas que antecipam as ações do utilizador, comunicam com clareza e minimizam a margem de erro.

A componente projetual desta investigação aspirou responder a uma necessidade concreta e ainda pouco explorada, através do desenvolvimento de um volante que integre parâmetros de acessibilidade, simplicidade, conforto e funcionalidade, especificamente voltados para a realidade exposta anteriormente. A sua justificação encontra-se no cruzamento entre os desafios observados na prática instrutiva e o potencial do design como ferramenta de mediação entre tecnologia e usabilidade.

Mais do que uma resposta técnica, trata-se de uma proposta crítica e afirmativa sobre o papel do design na formação rodoviária. Como afirma Kranzberg (1983), “não é a necessidade que promove a invenção, a invenção é que é a fonte de necessidade”, o que sublinha a importância de conceber soluções que não respondam a problemas existentes, mas que transformem a forma como estes são entendidos e enfrentados.

Relevância da pesquisa

A presente investigação reveste-se de elevada pertinência no domínio do design de produto aplicado à mobilidade, ao propor o desenvolvimento de um volante simulador orientado à experiência do utilizador em contexto pedagógico. A incorporação de simuladores no ensino da condução tem-se consolidado como uma estratégia eficaz, potenciadora de ganhos cognitivos, técnicos e comportamentais, particularmente nas fases iniciais do processo de aprendizagem, onde os riscos operacionais e emocionais se encontram significativamente amplificados.

Ao permitir o treino repetido de tarefas complexas num contexto isento de risco real, os simuladores oferecem vantagens significativas face à instrução tradicional, especialmente nas fases iniciais da aprendizagem. Este enquadramento é particularmente pertinente em situações de treino de resposta a imprevistos, controlo emocional ou avaliação do comportamento em cenários críticos, cujo ensaio em contexto real seria inviável ou perigoso (De Winter, van Leeuwen & Happee, 2012).

A eficácia de um simulador de condução, especialmente em contexto pedagógico, depende

em grande medida da sua capacidade de replicar as condições físicas, cognitivas e sensoriais da experiência real de condução. A proximidade entre os interfaces simulados e as interfaces reais, nomeadamente o volante, os pedais e os comandos visuais, é determinante para garantir uma aprendizagem significativa, capaz de ser transferida para o ambiente rodoviário real. Esta correspondência aumenta a familiaridade do utilizador com os dispositivos, reduz o tempo de adaptação e contribui para a consolidação das rotinas motoras e cognitivas essenciais à condução segura.

Neste enquadramento, a ergonomia surge como um fator crítico para a efetividade dos simuladores, na medida em que influencia diretamente o envolvimento do utilizador, a retenção do conhecimento e a qualidade da experiência formativa. Em contextos pedagógicos, a proximidade entre o simulador e os interfaces físicos do automóvel real é essencial para garantir a transferência adequada de competências. Simuladores com posicionamento inadequado dos comandos ou com geometrias desconfortáveis podem comprometer a concentração, gerar fadiga prematura e dificultar a interiorização de rotinas motoras.

De acordo com Helander (2006), um design mal ajustado às características físicas do utilizador pode afetar negativamente o desempenho, a motivação e a aprendizagem, comprometendo o êxito do sistema e o envolvimento do indivíduo na tarefa. Por sua vez, Norman (2004) defende que interfaces eficazes devem comunicar de forma clara, previsível e intuitiva, facilitando a interação e promovendo a adaptação natural da tecnologia às capacidades e expectativas do utilizador. Assim, a atenção ao conforto postural e à usabilidade dos controlos justifica-se enquanto requisito fundamental para assegurar a efetividade da formação em ambiente simulado, reforçando a pertinência de uma abordagem projetual centrada no utilizador.

Para além do conforto físico, destaca-se também a importância da interação homem-máquina e da usabilidade como elementos estruturantes da eficácia do sistema. Interfaces que comunicam de forma clara, previsível e intuitiva facilitam o processo de aprendizagem e promovem maior envolvimento. Neste sentido, o design centrado no utilizador é essencial para garantir que a tecnologia se adapte ao utilizador, e não o contrário (Norman, 2004).

Importa ainda considerar a transferência de conhecimentos entre a simulação e a realidade. A simulação, quando bem concebida, pode fomentar a internalização de estratégias cognitivas, padrões de comportamento e rotinas operacionais, que se refletem positivamente

no desempenho em ambiente real. A consciência situacional adquirida durante a prática em simulador, revela-se um recurso valioso na preparação de condutores para situações imprevisíveis e dinâmicas (Endsley, 1995).

Este enquadramento constitui um ponto de partida para novas descobertas, e uma compreensão mais aprofundada das relações entre o design e a experiência do utilizador. Neste contexto, surge a oportunidade de conceber e aperfeiçoar interfaces que respondam às exigências funcionais e que potenciem o realismo em contexto pedagógico nas simulações de condução automóvel. Este desafio demonstra-se bastante enriquecedor, na medida em que permite alargar o conhecimento teórico e prático do domínio do design de interação e, ao mesmo tempo, contribuir em melhorias na área da mobilidade.

A exploração do contributo dos princípios de design ergonómico e da utilização de materiais inovadores na transformação da interação dos utilizadores com simuladores de condução, assume um papel central na criação de experiências imersivas, realista e satisfatórias. Através da presente investigação, pretende-se alargar as fronteiras do Design de Produto, fornecendo incentivos teóricos e práticos que possam beneficiar simultaneamente o universo automóvel e os utilizadores finais. Esta ótica visa promover uma condução mais segura, envolvente e emocionalmente significativa.

Deste modo, a relevância desta pesquisa assenta na ambição contribuir para um sistema de simulação mais competente, acessível e ergonomicamente ajustado, que permita melhorar substancialmente a experiência de aprendizagem da condução automóvel. Este sistema deverá aliar princípios de design, ergonomia e cognição, pretendendo-se reforçar o papel dos simuladores como ferramentas didáticas sofisticadas e centradas no utilizador, com impacto direto na segurança e na qualidade da formação rodoviária.

Motivação

O universo automóvel está presente na vida da autora da investigação desde a infância, assumindo um papel relevante no contexto familiar, onde se manifesta como vertente profissional e dimensão pessoal, enquanto fonte de fascínio e inspiração. E é neste enquadramento que no âmbito do Mestrado em Design de Produto, surgiu a oportunidade de desenvolver uma análise aprofundada de um objeto de design, com foco na representação e na relação que estabelece com o corpo. A escolha recaiu sobre o volante de automóveis de

luxo, com especial interesse num dos modelos da marca Porsche. E, foi através desta análise que foi crescendo a problemática e desafio, que gerou a investigação aqui patente.

Destacando-se enquanto principal interface entre o condutor e o veículo, o volante evidencia-se particularmente pela sua função primordial de controlo, mas também pelas suas qualidades ergonómicas, sensoriais e estéticas. A investigação esclarece como estas características influenciam a interação do utilizador, tanto a nível físico como emocional, salientando a complexidade e a sofisticação inerentes ao design deste componente. Também é possível atentar que o volante ultrapassa a sua função instrumental, afirmando-se como um elemento central na construção da experiência automóvel.

Objetivos

Tendo em conta o assunto discutido previamente, a presente investigação tem como objetivo central o desenvolvimento de um volante simulador de condução automóvel orientado à experiência do utilizador, com especial destaque à sua aplicação em contextos formativos. Pretende-se que o dispositivo proporcione uma interação clara, confortável e funcional, adequada às exigências pedagógicas associadas à aprendizagem inicial da condução.

Este trabalho parte da premissa de que o volante, como principal interface entre o utilizador e o ambiente de simulação, deve responder não apenas a critérios formais e mecânicos, mas também a princípios de ergonomia, acessibilidade e usabilidade, assegurando a correta transferência de competências para o ambiente de condução real. Como objetivo geral a investigação propôs-se conceber e desenvolver um volante simulador funcional e ergonomicamente adequado, com foco na experiência do utilizador em contextos pedagógicos de aprendizagem da condução. Paralelamente, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar modelos de veículos reais e de volantes de simulação, identificando as principais limitações do ponto de vista ergonómico e funcional;
- Compreender as necessidades, expectativas e dificuldades reais dos utilizadores iniciantes em ambientes de simulação de condução;
- Aplicar princípios de design centrado no utilizador na conceção do volante, assegurando conforto, clareza funcional e acessibilidade;

- Desenvolver uma solução formal e construtiva que permita a adaptação do volante a diferentes utilizadores, através de características ajustáveis e intuitivas;
- Validar o protótipo proposto com base em critérios ergonómicos, e funcionais, com vista à sua aplicabilidade em ambientes de formação rodoviária.

Problemática

A evolução das tecnologias interativas na formação automóvel evidencia um elevado potencial de valorização pedagógica no ensino da condução. No entanto, apesar dos avanços tecnológicos observados, o panorama atual dos simuladores orientados para contextos educativos permanece limitado e estruturalmente desajustado às realidades institucionais. Grande parte dos dispositivos existentes no mercado, concebidos para fins formativos, caracteriza-se por estruturas de grande volume, complexidade técnica e custos substancialmente elevados, fatores que inviabilizam a sua ampla implementação em escolas de condução de pequena e média dimensão. Esta limitação de acesso compromete a democratização do uso de recursos digitais na formação de condutores, perpetuando assimetrias no acesso a métodos seguros e inovadores de ensino.

Adicionalmente, mesmo nos casos em que tais simuladores estão disponíveis, observa-se uma inadequação dos seus componentes físicos, sobretudo o volante, às especificidades da aprendizagem inicial da condução. Muitos destes sistemas derivam de abordagens projetuais oriundas da indústria de entretenimento ou da simulação profissional, concebidos para utilizadores experientes ou técnicos, descurando as necessidades dos aprendizes em fase inicial. O volante, enquanto elemento nuclear da interação homem-máquina, apresenta frequentemente uma configuração complexa, pouco intuitiva, com comandos mal distribuídos, carência de ajustes ergonómicos e ausência de uma linguagem visual acessível. Estes fatores tornam-se impeditivos de uma experiência de uso clara, confortável e eficaz, sobretudo para indivíduos com reduzida literacia técnica ou dificuldades motoras.

Do ponto de vista teórico, esta problemática decorre de uma dissonância entre os princípios de design aplicados aos dispositivos de simulação existentes e as exigências cognitivas, emocionais e funcionais do contexto pedagógico. A escassez de soluções desenhadas com base em critérios de inteligibilidade, ergonomia cognitiva e adaptação morfológica revela uma falha sistémica na forma como o design de produto tem respondido às necessidades da

formação rodoviária inicial. A ausência de abordagens projetuais centradas no utilizador, e mais especificamente no aprendiz, compromete a usabilidade do sistema, e também a sua eficácia enquanto ferramenta mediadora de aprendizagem. Assim, a pergunta norteadora da investigação alicerçou-se em: “De que forma o design de produto pode contribuir para o desenvolvimento de um volante simulador de condução ergonomicamente ajustado, acessível e orientando ao contexto pedagógico, promovendo a usabilidade, a aprendizagem significativa e a transferência de competências para a condução real, sem se restringir a modelos derivados do entretenimento ou da simulação profissional?”.

Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em quatro capítulos principais, que seguem uma lógica progressiva e articulada entre enquadramento teórico, desenvolvimento metodológico e prática projetual. O primeiro capítulo estabelece os fundamentos conceptuais da investigação, explorando os contributos do design emocional, do design de produto e da interação homem-máquina no contexto da mobilidade contemporânea. São analisadas as dimensões simbólica, funcional e sensorial do design, com especial foco na experiência do utilizador e na importância da ergonomia enquanto mediadora entre corpo e tecnologia. No segundo capítulo, é abordada a condução automóvel enquanto fenómeno complexo que envolve competências cognitivas, comportamentais e sensório-motora. Este capítulo apresenta ainda a evolução histórica do volante, desde os seus primórdios até às soluções atuais, e realiza uma análise comparativa entre volantes de veículos reais e volantes simuladores, identificando semelhanças, limitações e potencialidades para o contexto pedagógico. O terceiro capítulo expõe a metodologia adotada, detalhando as etapas que sustentam o desenvolvimento do projeto: desde a revisão teórica, passando pela recolha de dados empíricos e análise dos resultados, até à conceção e validação do protótipo. Por fim, o quarto capítulo apresenta o processo projetual do desenvolvimento volante simulador, incluindo todas as ferramentas de conceptualização, ideação, modelação 3D, maquetagem e protótipo, materiais e acabamentos definidos, bem como a integração de componentes físicos e tecnológicos. Este capítulo culmina na apresentação do protótipo funcional e na discussão das suas aplicações práticas no ensino da condução. A dissertação encerra com uma reflexão crítica sobre os resultados alcançados, reconhecendo as limitações do estudo e apontando perspetivas futuras de investigação e desenvolvimento.

CAPÍTULO 1.

DESIGN E EMOÇÃO

O presente capítulo propõe uma análise aprofundada sobre a relação entre o design e a emoção uma vez que este último aspeto é essencial ao ato de condução e sua aprendizagem. Isto, pois, é evidenciado o modo em que design transcende o campo da funcionalidade, incorporando aspetos emocionais, que consequentemente impactam as experiências dos utilizadores de maneira significativa. A estrutura deste capítulo abrange diversas vertentes do design, com o objetivo de demonstrar a relevância da dimensão emocional no desenvolvimento de produtos, nomeadamente em áreas em que a interação entre o utilizador e o componente se mostra cada vez mais pertinente e otimizada, como é o caso dos simuladores de condução automóvel.

Ao longo deste capítulo, serão exploradas diversas perspetivas teóricas, que fundamentam o papel do design enquanto agente de intervenção entre o ser humano e o seu ambiente técnico. Particularmente no que respeita à valorização crescente da experiência emocional no processo de conceção de produtos. Partindo de uma abordagem histórica e evolutiva da disciplina, será analisada a forma como o design foi incorporando progressivamente em fatores emocionais. O envolvimento de áreas como o design emocional e o design interativo, destacam a centralidade do utilizador, valorizando os vínculos afetivos estabelecido com os objetos.

Num cenário marcado pela constante evolução tecnológica e pela complexidade das interações entre indivíduos e sistemas, o design contemporâneo apresenta-se como uma prática estratégica e interdisciplinar. É possível atentar onde a capacidade de suscitar emoções positivas pode determinar o sucesso ou fracasso de um produto. O entendimento das respostas emocionais nos diferentes níveis do design emocional, permite ao designer projetar soluções que não só respondem às necessidades práticas do utilizador, mas que também proporcionam satisfação, prazer e legado significativo.

Deste modo, este capítulo assume-se como uma base conceptual, que sustenta a investigação desenvolvida ao longo da presente dissertação. Ao destacar a importância do fator emocional no processo de design, reforçando-se a premissa de que a experiência de utilização deve ser pensada de forma ampliada. É fundamental considerar tanto os aspetos técnicos como os afetivos, de modo a promover uma interação mais envolvente, intuitiva e significativa entre o utilizador e o produto.

1.1. Design

“Design é um processo de resolução de problemas atendendo às relações do homem com o seu ambiente técnico” (Löbach, 1976).

Desde as suas raízes primitivas, o design tem sido esculpido pelas necessidades humanas, evoluindo ao longo da história, juntamente com a criação de várias técnicas e tecnologias. Do latim “*designare*”, que significa “determinar” ou “desenhar”, e que implica o ato de conceber e configurar algo (Cardoso, 2008: 20). Esta disciplina tornou-se bastante generalizada e reconhecível em diversas áreas, ao mesmo tempo conseguiu destacar-se por causa do papel que desempenha, nomeadamente, na maneira como as pessoas lidam com a realidade ao seu redor. (Cardoso, 2008: 21). No entanto definir o design não deixa de ser uma tarefa complexa, especialmente por causa da sua natureza interdisciplinar, esta área envolve múltiplas dimensões e aspetos relacionados com a estética, funcionalidade e usabilidade (Löbach, 1976: 16).

Segundo Bernhard E. Bürdek, o design pode ser entendido como um processo criativo que procura criar objetos, produtos, sistemas e experiências. Todo este método visa transformar necessidades em soluções tangíveis e inovadoras, considerando claramente o contexto em que os objetos serão utilizados. O design tem como função principal, melhorar a relação entre os indivíduos e os objetos, integrando forma e função, e considerando igualmente aspetos ergonómicos e psicológicos (Bürdek, 2006).

Desta maneira, não pode ser visto como uma prática que transcende a simples criação visual, mas sim que envolve uma análise profunda das interações humanas com o ambiente (Löbach, 1976). Na área da tecnologia, por exemplo, o design de interfaces é essencial para o desenvolvimento de sistemas intuitivos que melhorem a interação do utilizador com os produtos, promovendo uma experiência mais agradável e eficaz.

Historicamente, o conceito de design remonta a períodos antigos, quando artesãos e artistas utilizavam princípios de estética e funcionalidade na criação das suas obras. Mas apenas por volta do século XVII, a palavra *designer* foi registada pelo *Oxford English Dictionary*, como primeiro emprego, e assim permaneceu até aos dias de hoje (Cardoso, 2008: 13). Apesar de ser complexo precisar a utilização corrente deste termo, acredita-se que no início do século XIX, um vultoso número de trabalhadores começou a considerar esta a sua atividade laboral (Cardoso, 2008: 22). Com a generalização intensiva de trabalho, o design começou a

emergir durante a Revolução Industrial, no final do séc. XVIII e início do séc. XIX, um período que ficou marcado por uma grande transformação graças às máquinas e às novas tecnologias, o que consequentemente levou à produção em massa (*ibidem*). Antes deste período, a produção era maioritariamente artesanal, e os produtos eram executados de forma limitada e com um custo elevado (Löbach, 1976). Desta maneira, o design foi introduzido à industrialização, passando a ser qualificado principalmente pela sua eficiência e inovação, visando atender ao mercado consumidor em expansão. Esta mudança reconfigurou o papel do designer, elevando-o à condição de agente de transformação entre a técnica e a arte. Com toda esta nova dinâmica, nasce o design industrial, disciplina que impulsionou a criação de produtos que pudessem ser replicados em grande escala e atendessem a requisitos funcionais, e que fossem visualmente atraentes e acessíveis ao consumidor.

Um dos primeiros movimentos a contrariar a crescente mecanização surge no final do século XIX. Liderado por William Morris, o *Arts and Crafts*, defendia o retorno à produção artesanal, defendendo a valorização estética e a qualidade dos produtos. Apesar de ter uma influência limitada no design industrial, este movimento pretendia reintroduzir a ideia de que os objetos do quotidiano deveriam ser projetados com foco na forma e na função (Bürdek, 2006: 23).

No início século XX, com o surgimento da Escola *Bauhaus* iniciou-se o estabelecimento do design moderno sendo reconhecida como uma área académica e profissional. Considerado um dos marcos mais significativos da história do design por ter sido introduzido a ideia que o design deveria ser simples, funcional e acessível. O lema “forma segue função” passou a ser o princípio central do design moderno, sendo então reconhecido como uma ferramenta estratégica para resolver problemas, comunicar ideias e criar soluções inovadoras (Bürdek, 2006). Durante o século XX, esta nova ideologia fez com que surgissem áreas como o design gráfico, que justificava a importância na comunicação visual, e posteriormente o design de interação e serviços, que focavam a sua ideologia na criação de experiências.

Nos finais do séc. XX e início do séc. XXI, surge o design *thinking*, metodologia esta, que defendia que o design devia ser centrado no ser humano, utilizando a empatia e a capacidade de atender as necessidades. Esta abordagem tornou o design uma ferramenta estratégica para a inovação de novos produtos em diversas áreas (Bürdek, 2006).

1.2. Design de produto

“O designer busca construir um objeto com a mesma naturalidade com a qual as coisas se formam na natureza” (Munari, 2006).

A origem do Design de Produto remonta com maior destaque à Revolução Industrial, quando a produção em massa e a aplicação de novas técnicas e materiais mudaram a forma como o produto era desenvolvido. Segundo Löbach, “o design é um processo de resolução de problemas atendendo às relações do homem com o seu ambiente técnico” (Löbach, 1976: 15). Inicialmente o design, focava-se principalmente na praticidade e na funcionalidade dos produtos, procurando remover os excessos decorativos e melhorar a sua usabilidade. Nomes como Henry Van de Velde e Peter Behrens, dedicavam-se a criar produtos com uma estrutura funcional e eficiente e que fossem visualmente agradáveis (Löbach, 1976:122).

Além disso, o design era visto como uma colaboração artística, onde o objetivo era oferecer algo inovador ao mercado, sem consideração profunda das necessidades sociais ou técnicas (Löbach, 1976: 204). Com o passar dos anos, esta abordagem foi evoluindo, passando a incorporar maior ênfase nos problemas sociais e na adaptação às necessidades dos utilizadores, tendo bastante potencial para melhorar a vida quotidiana e oferecer soluções sem abrir mão à acessibilidade e usabilidade. Como refere Löbach ao citar Kurella:

“Por meio do trabalho produtivo, o homem vai sucessivamente se apropriando mais e mais da natureza, assim como a conhece mais e mais, criando o especial, o novo, o que o distingue da natureza e dos outros seres vivos: um ambiente artificial em que as faculdades essenciais do homem adquirem uma forma material” (Kurella, 1958. Citado por Löbach, 2001:30)

O conceito de design unificou o aspeto funcional ao artístico, reconhecendo a importância de integrar beleza e praticidade na mesma criação. Considera-se hoje em dia, que o design de produto, reflete-se em princípios estéticos e emocionais, promovendo uma experiência de utilização mais enriquecedora e envolvente (Löbach, 1976:102). Löbach destaca três dimensões fundamentais que orientam a concretização de um produto, a função prática, estética e simbólica:

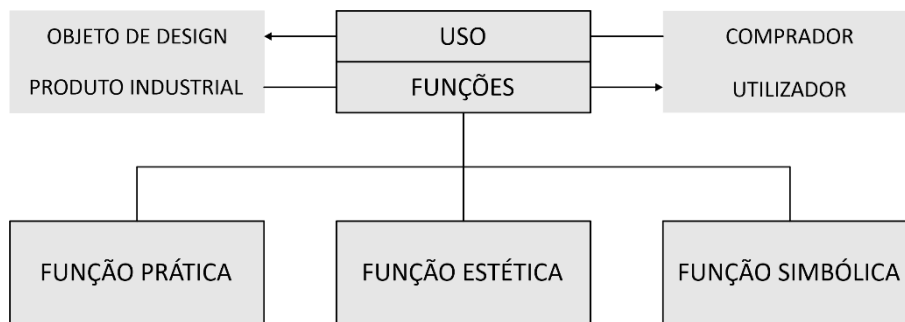


Figura 1. Classificação das funções de um produto. Elaborado pela investigadora com base em Löbach (1976, p.55)

A função prática está relacionada com as conexões entre um produto e os seus utilizadores, particularmente em aspetos fisiológicos e orgânicos. Isto significa que a função prática é responsável por atender às necessidades físicas e funcionais do utilizador, garantindo que o produto seja utilizável e confortável. Por exemplo, no caso de uma cadeira, a função prática envolve proporcionar uma posição que previna o cansaço físico e satisfaça as necessidades fisiológicas do utilizador (Löbach, 1976:59). Além disto, a função prática é frequentemente analisada em termos nas suas características técnicas e funcionais, que podem ser observadas através de métodos de controle e análise funcional. Esta análise ajuda a decompor a função principal do produto das suas funções secundárias, permitindo um entendimento mais profundo de como o produto deve operar em relação ao utilizador.

A função estética abrange o apelo visual do produto e a conexão emocional que este criar com o seu utilizador, refletindo a importância de provocar uma resposta sensorial. Esta dimensão refere a percepção sensorial que o utilizador tem do produto durante a sua utilização, englobando aspetos como a forma, cor, textura e outros elementos de configuração que influenciam a experiência visual e tátil do utilizador (Löbach, 1976).

Esta função desempenha um papel importante na atração do utilizador e na criação de uma conexão emocional com o produto. Por exemplo, um produto pode ter uma função prática predominante, mas em termos estéticos pode ser aprimorada para atrair a atenção e o interesse do seu consumidos. Desta maneira a função estética pode coexistir com outras funções, como a prática e a simbólica, mas geralmente uma delas prevalece, influenciando a percepção geral do produto (Löbach, 1976).

Por último, a função simbólica foca-se em aspetos espirituais, psíquicos e sociais do uso do produto. Este parâmetro refere-se à capacidade do produto em representar significados e valores que vão além da sua utilidade prática. A função simbólica permite aos utilizadores fazer associações com experiências passadas e contextos culturais, utilizando o produto

como um meio de expressão pessoal ou social.

Os elementos estéticos do produto, como forma, cor e tratamento de superfície, desempenham um papel importante na manifestação da função simbólica. Por exemplo, um objeto pode ser visto como um símbolo de estatuto ou pertencimento a um grupo social, influenciando a forma como este é percebido e utilizado pelos consumidores (*ibidem*). Desta maneira, esta função é essencial para a construção de significados e identidades em torno dos produtos, permitindo aos utilizadores conectarem-se emocionalmente com os mesmos, e os utilizem como extensões de si mesmos ou das suas crenças e valores.

Concluindo, todas estas funções tornam-se essenciais e coordenam-se para, independentemente da sua predominância, permitam estruturar um produto consistente, seja para a indústria automóvel ou formativa, como para qualquer outra área da sociedade.

1.3. Design de mobilidade e automóvel

A mobilidade urbana desempenha um papel essencial na forma como as pessoas vivem e se deslocam nas cidades. Influencia diretamente o seu bem-estar e a qualidade da vida quotidiana. Mais do que garantir a fluidez nos trajetos, trata-se de proporcionar experiências de deslocação que valorizem o conforto, a segurança e a qualidade de vida dos cidadãos (Gehl, 2010). O termo “Mobilidade”, proveniente do latim *mobilitāte*, remete à “capacidade de se mover”, e no contexto das cidades, pode ser entendida como “*um atributo associado à cidade, corresponde à facilidade de deslocamento de pessoas e bens na área urbana. Podem utilizar-se do seu esforço direto (deslocamento a pé) ou recorrer a meios de transporte não motorizados (bicicletas, carroças, cavalos) e motorizados (coletivos e individuais)*” (Ministério das Cidades, 2006: 17).

Esta dinâmica é moldada por vários fatores: tecnológicos, sociais, ambientais e culturais, por isso, é necessário desenvolver respostas integradas que valorizem o papel estratégico do design. Consequentemente a mobilidade urbana refere-se a este conceito e é fundamental para o funcionamento eficiente das cidades, impactando diretamente com a qualidade de vida, a sustentabilidade e o desenvolvimento económico. (Lot, A., & Consolo, C. (2023).

Sendo a mobilidade urbana fortemente influenciada pelo desenvolvimento tecnológico, o Design como seu aliado, assume um papel estratégico (Consolo, 2015) sendo responsável pela abordagem de elementos como ecossistemas e grupo de utilizadores. Este passa

também, por identificar os diversos desafios ao longo dos anos e posteriormente propor melhorias, de modo a facilitar as interações humanas com o meio ambiente. De acordo com Consolo, (2015) o design pode ampliar a nossa capacidade manual através do desenvolvimento de ferramentas, ou tendo como premissa a facilitação, pode integrar agilmente os indivíduos através do desenvolvimento de novos sistemas, ou dispositivos, que são sistematicamente repensados face às inovações tecnológicas e mediáticas.

De forma complementar, o design automóvel representa uma área consolidada do design industrial. Evoluiu através da conceção de automóveis para um campo profundamente interligado com a experiência do utilizador. Hoje em dia, o foco está na estética e no desempenho dos veículos, assim como, na ergonomia, segurança e interação homem-máquina. Nos últimos anos, os avanços tecnológicos no habitáculo dos automóveis têm impulsionado novas formas de interação entre o condutor e o veículo, através de elementos como o som, toque, luz, temperatura e movimento.

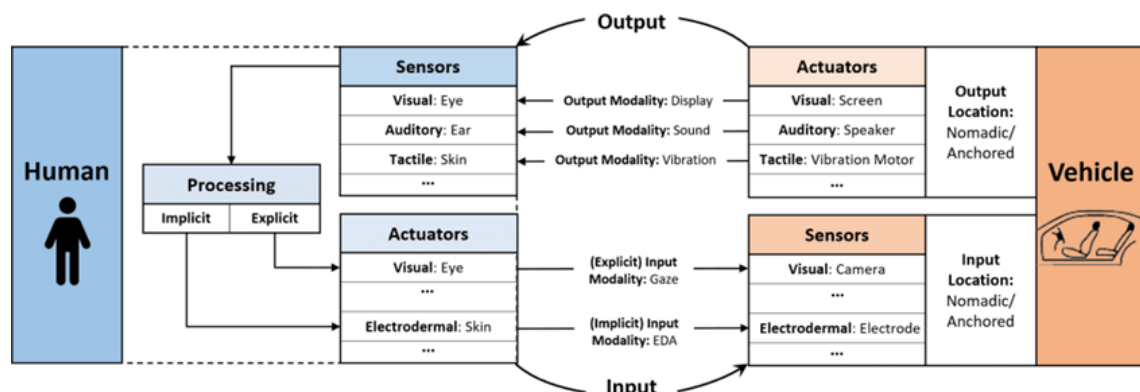


Figura 2. Matriz de design sensorial para interações no habitáculo. Fonte: Jansen et al. (2022, p.4)

Neste âmbito, Jansen, Colley e Rukzio (2022), propõem um modelo de espaço de design que categoriza diferentes tipos de sensores e atuadores aplicados em automóveis, cruzando a sua função (volante, assento, painel, tejadilho). Esta matriz baseada em diversos estudos científicos, oferece um mapa detalhado de como os sistemas sensoriais podem ser utilizados para melhorar a experiência do condutor, através de estímulos táteis ou térmicos no volante, úteis para simular condições reais de condução em ambientes seguros.

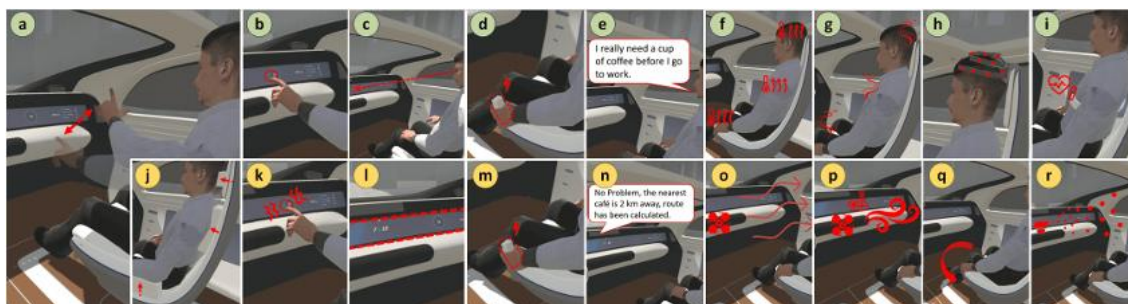


Figura 3. Representação das modalidades de interação no interior do veículo. Modalidades de entrada: a) gesto, b) tato, c) olhar, d) eletrodérmico, e) fala, f) térmico, g) odor corporal, h) cerebral, i) cardíaco. Modalidades de saída: j) mudança de forma, k) vibração, l) exibição, m) eletrodérmico, n) fala, o) térmico, p) aroma, q) rotação do assento, r) gustativo. Fonte: Jansen et al. 2022, p.17)

Ambos os investigadores classificam as combinações segundo a sua viabilidade técnica e ética, distinguindo aquelas que são aceitáveis, complexas ou impraticáveis. Um exemplo significativo seria a integração de feedback tátil no volante, aliado a sensores térmicos que respondem à ansiedade ou fadiga do condutor.

Paralelamente, Braun, Alt e Schneegass (2020), exploram o papel das interfaces afetivas no contexto automóvel, apresentando alguns casos de uso que incluem a deteção emocional por expressão facial, tom de voz ou ritmo cardíaco. Estes dados são utilizados para adaptar dinamicamente os estímulos visuais, sonoros ou vibratórios do veículo, promovendo estados emocionais mais equilibrados. Esta abordagem é especialmente pertinente para ambientes de simulação, onde a regulação emocional contribui para experiências mais imersivas e ajustadas ao perfil do utilizador.

A convergência entre o design de mobilidade e o design automóvel representa um alicerce teórico e metodológico enriquecedor. Esta característica apoia a criação de produtos que articulam funcionalidade e envolvimento emocional. Ambos os domínios partilham uma preocupação central com a experiência do utilizador, a integração de tecnologias emergentes e a promoção de ambientes mais seguros, sustentáveis e acessíveis. Esta interseção revela-se particularmente produtiva quando aplicada ao desenvolvimento de soluções transformadoras para contextos de mobilidade urbana e formação prática. Permite antecipar cenários de utilização realista, promover adaptações comportamentais e fomentar uma relação mais harmoniosa entre o ser humano e os sistemas tecnológicos.

1.4. Design interativo

O design interativo constitui uma vertente do design contemporâneo dedicada à conceção de sistemas, produtos e serviços digitais. Tudo isto implica uma relação dinâmica e contínua entre o utilizador e a tecnologia. De acordo com Preece, Rogers & Sharp (2005), esta área destaca-se por criar experiências significativas, de maneira a melhorar a forma como as pessoas trabalham, comunicam e interagem com um produto. A sua essência consiste na promoção de interações intuitivas, agradáveis e emocionalmente gratificantes.

Este ramo do design procura mais do que a funcionalidade técnica dos produtos, este atribui centralidade à experiência do utilizador. Norman (2013) sublinha que, os bons produtos são aqueles que não requerem esforço para serem compreendidos ou utilizados. Esta visão está inerentemente associada à noção de *Human-Centered Design* (HCD), onde é descrito como uma abordagem que coloca as capacidades, necessidades e limitações do público-alvo no centro do processo de design. Para tal, o design interativo recorre a princípios como a visibilidade, feedback e mapeamentos, que ajudam o utilizador a perceber o que poderá ser feito (*ibidem*).

Os benefícios desta abordagem são diversos, pois desde cedo existe a inclusão e acessibilidade ao conceber soluções adaptadas a diferentes perfis de utilizadores. E ainda uma redução da complexidade cognitiva, o que se traduz numa experiência mais satisfatória e segura. Por ser uma área complexa, o design interativo assume um carácter interdisciplinar. A sua implementação é particularmente visível em interfaces gráficas, aplicações móveis, plataformas digitais, sistemas interiorizados em veículos, dispositivos médicos e soluções industriais (Preece, Rogers & Sharp (2005).

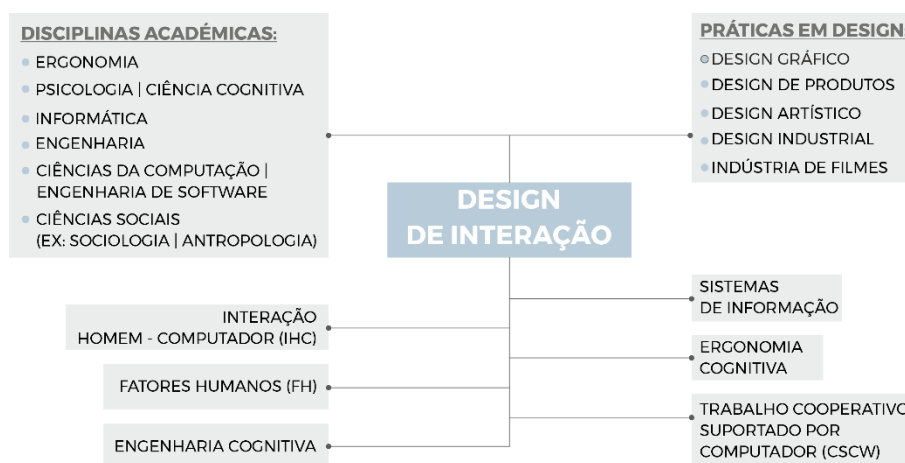


Figura 4. Dimensão interdisciplinar do design de interação.
Elaborado pela investigadora com base em Preece, Rogers & Sharp (2005, p.29)

1.4.1. Etapas do processo de design interativo

O desenvolvimento de um esquema interativo segue um procedimento fundamentado em metodologias de design centrado no utilizador. Este tipo de método, segundo Preece, Rogers & Sharp (2005), é composto por quatro etapas principais:

1º Identificação de necessidades e requisitos: Consiste na análise do contexto de uso de tarefas a realizar, e das características dos utilizadores, com especial atenção ao problema de design envolvido

2ª Desenvolvimento de alternativas de Design: Esta etapa dá-se o desenvolvimento criativo, onde são exploradas possíveis soluções que visam responder às necessidades do utilizador.

3ª Construção de protótipos interativos: A materialização das ideias é o processo que permite visualizar, testar e experimentar as soluções pensadas na etapa anterior.

4ª Avaliação centrada no utilizador: Teste e verificações finais são realizadas com a ajuda de utilizadores reais, com o objetivo de identificar falhas, recolher algum feedback e aprimorar o design.

Todo este método é cíclico, permitindo ao projeto evoluir continuamente, apostando sempre na aprendizagem obtida ao longo do percurso. O objetivo principal é ter de alcançar soluções ajustadas, funcionais e que permitam ao utilizador utilizar sem complexidade.

1.4.2. Bom design Vs. mau design

A ideologia centralizada no desenvolvimento de um produto na interação com o utilizador exige, obviamente, avaliar a qualidade desse produto, de modo a garantir que o sistema responda aos interesses do utilizador. Esta avaliação deve considerar alguns critérios objetivos, tais como: eficácia, eficiência e taxa de erros e critérios subjetivos, como a satisfação, conforto e envolvimento emocional.

Segundo Norman (2013), um bom design é aquele que é intuitivo, previsível, coerente e adaptado às necessidades humanas. Este conceito deve permitir ao utilizador compreender o que pode ser feito, como é suposto ser utilizado e oferecer respostas claras às suas ações. Em

contrapartida um mau design é caracterizado por ambiguidades, excesso de complexidade e falta de feedback.

Constituindo um dos pilares fundamentais esta filosofia, a usabilidade define-se como a medida pela qual um produto permite aos seus utilizadores realizar tarefas específicas de forma eficaz, eficiente e com satisfação (Nielsen, 1994). Esta definição, compreende um conjunto de metas que orientam o desenvolvimento e a avaliação de sistemas interativos. Segundo Preece, Rogers & Sharp (2005), as metas de usabilidade incluem:



Figura 5. Metas de usabilidade. Elaborado pela investigadora.

- **Eficácia:** Grau com que o sistema permite aos utilizadores atingirem os objetivos pretendidos.
- **Eficiência:** Rapidez e esforço para que estas tarefas sejam realizadas.
- **Segurança:** Prevenção de erros e proteção contra consequências indesejadas
- **Utilidade:** Capacidade de o produto oferecer funcionalidades adequadas às necessidades
- **Aprendizagem:** Rapidez com que um novo utilizador se adapte ao produto
- **Memorização:** Capacidade de o utilizador recordar, após um período sem utilização, de como operar de novo.

Estas metas são determinantes para avaliar a qualidade de um produto interativo e orientarem o design, no sentido de reduzir barreiras cognitivas, aumentando assim, a confiança do utilizador.

1.4.3. A Importância da experiência do utilizador (UX)

Ao processo de interação do corpo (ser humano) com o objeto num espaço (contexto) em design associa-se à terminologia de Experiência do Utilizador (UX). Atualmente esta é reconhecida como um dos elementos mais determinantes para avaliar a qualidade de produtos interativos. De um modo geral, a UX corresponde à forma como os utilizadores percebem, sentem e respondem emocional e cognitivamente a um produto, sistema ou serviço, ao longo de todo o processo de interação (Interaction Design Foundation, 2018).

Um produto pode até ser funcional, mas pode não proporcionar uma experiência agradável ao utilizador, contudo pode correr o risco de ser descartado por não responder aos interesses do utilizador. Para que isso não aconteça, a UX resulta de uma combinação complexa de fatores. Entre os principais elementos que influenciam a experiência do utilizador, destacam-se:



Figura 6. Fatores que influenciam a UX. Elaborado pela investigadora.

- **Credibilidade:** Percepção de confiança que o utilizador tem no produto, na sua fiabilidade, durabilidade e na veracidade da informação que o acompanha.
- **Desejável:** É o grau em que um produto atrai emocionalmente o utilizador, através da sua estética, marca e identidade, gerando admiração e ligação afetiva.
- **Acessibilidade:** Capacidade de um sistema ser utilizado por pessoas com diferentes limitações, garantindo inclusão, facilidade de uso e igualdade de acesso para todos

os utilizadores.

- **Usabilidade:** Facilidade com que um utilizador consegue atingir os seus objetivos de forma eficaz e eficiente ao interagir com um produto, serviço ou sistema.
- **Visibilidade:** Facilidade com que os utilizadores conseguem encontrar um produto, bem como o conteúdo ou as funcionalidades no seu interior.
- **Utilidade:** Capacidade de um produto satisfazer uma necessidade ou proporcionar valor ao utilizador, seja através de benefícios práticos, funcionais emocionais.
- **Valioso:** É o grau em que um produto oferece benefícios relevantes tanto para o utilizador como para o negócio, justificando o seu uso, adoção ou compra.

A importância da *UX* tornou-se evidente com a crescente complexidade tecnológica e a evolução das expectativas dos utilizadores. Assim, o design interativo orientado para a experiência do utilizador tem como foco a resolução de questões funcionais de problemas e a construção de experiências memoráveis. Do ponto de vista prático, um *UX designer* atua como ponte entre o utilizador e a tecnologia. Para isso, realiza investigação de campo, entrevistas, testes de usabilidade e análises interativas que informam e orientam o processo criativo. A metodologia dominante neste contexto é o design centrado no utilizador (*Human-Centered Design*), que promove a conceção de soluções baseadas na empatia, observação e experimentação contínua. (Interaction Design Foundation, 2018)

Importa ainda destacar, que uma boa experiência de utilizador é construída de forma global. Envolve sempre o momento de uso do produto e as perceções antes e depois da interação, incluindo o processo de descoberta, aprendizagem, apoio ao cliente e fidelização. Assim, a *UX* abrange todo o ciclo de vida do produto/sistema com o utilizador, sendo um fator decisivo na retenção e satisfação do público-alvo.

1.5. Design emocional

O design emocional, é uma vertente do design que, nas últimas duas décadas, tem alcançado maior notoriedade e visibilidade. Este movimento foi impulsionado por uma mudança de foco, na qual o design deixou de se central exclusivamente na funcionalidade, passando a valorizar a dimensão emocional das interações entre os utilizadores e os produtos (Norman, 2004). Esta evolução reflete a crescente compreensão de que as emoções desempenham um papel crucial na experiência do utilizador, impactando a perceção estética, a satisfação, o prazer e o apego que os indivíduos desenvolvem em relação aos objetos do quotidiano (Desmet & Hekkert, 2007).

Donald A. Norman, renomeado designer, escritor e professor, considera o design emocional uma poderosa ferramenta para enriquecer a experiência do utilizador. Afirmar que este vai além da mera estética ou funcionalidade, pois “as emoções são essenciais para a nossa vida quotidiana, pois afetam as nossas perceções e influenciam o comportamento” (Norman, 2004:19). Quando os produtos criam uma conexão emocional com os utilizadores, tornam-se mais desejáveis e valorizados, o que pode levar a um vínculo afetivo e à lealdade da marca. Como Norman afirma, um produto que seja bem projetado emocionalmente têm maior probabilidade de ser lembrado com maior intensidade e apreciado por mais tempo, resultando numa experiência de uso mais profunda e significativa (Norman, 2004). Na ótica do autor (Norman 2004: 21-23) delineia três níveis de resposta emocional que influenciam a experiência do utilizador: o visceral, o comportamental e o reflexivo.

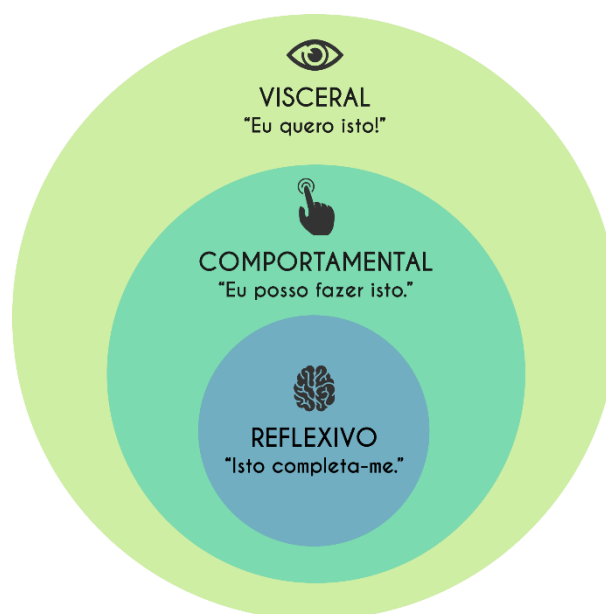


Figura 7. D. Norman - Os três comportamentos do design emocional. Elaborado pela investigadora.

O nível visceral refere-se à resposta imediata e instintiva, que as pessoas têm ao se deparar com determinado produto, sendo uma reação predominantemente sensorial. Este nível é fundamentado pela percepção visual, auditiva e tátil, permitindo às pessoas fazerem julgamentos rápidos sobre um objeto com base na sua aparência e nas sensações que este invoca. Produtos visualmente atraentes podem gerar uma conexão emocional instantânea (Norman, 2004: 21-23). Aspectos como forma, cor, textura e até mesmo o som desempenham um papel crucial neste processo. Esta conexão inicial é imprescindível, pois muitas vezes é o fator determinante para que um produto seja desejado, mesmo antes das suas funcionalidades serem avaliadas. Os seres humanos são naturalmente programados para responder a estímulos sensoriais de maneira rápida e eficiente. A capacidade de avaliar instantaneamente se algo é atrativo ou ameaçador tem sido vital para a sobrevivência. Assim, o design cria um apelo quase instintivo que pode resultar num desejo imediato de adquirir algo (Norman, 2004).

No contexto do design automóvel, dois exemplos notáveis que ilustram o nível visceral são o *Porsche 911 GT3* e o *Ferrari F8 Tributo*. O *Porsche 911* é reconhecido pelas suas linhas icónicas e a sua silhueta distinta, que evoca uma sensação de agilidade e desempenho. O seu design arrojado e a sonoridade inconfundível do motor proporcionam uma experiência sensorial rica, gerando reações de admiração e prazer mesmo antes de ser conduzido. O som do motor, caracterizado por um ronco profundo e envolvente, provoca uma resposta visceral que comunica potência e velocidade. Igualmente o *Ferrari F8 Tributo* apresenta um design elegante e aerodinâmico, com contornos fluidos e uma frente agressiva, transmite uma sensação de luxo e exclusividade. A combinação da sua cor vibrante, geralmente um vermelho intenso, e o som do motor V8 de alto desempenho desperta emoções intensas, evocando sentimentos de paixão e adrenalina. Ambos provocam uma resposta visceral instantânea, fazendo com que se sinta o desejo de possuí-lo mesmo antes de compreender as suas capacidades técnicas.



Figura 8. *Porsche 911 GT3*. Fonte: Site Mega Autos



Figura 9. *Ferrari F8 Tributo*. Fonte: Site Auto Drive

O nível comportamental corresponde à resposta emocional que as pessoas experienciam ao interagir com um produto. Este nível é essencial para a usabilidade e eficiência do design, concentrando-se na experiência prática e nas ações do utilizador. Estes aspetos são fundamentais, uma vez que diz respeito à eficiência e à facilidade de uso do produto, onde uma experiência agradável e intuitiva pode promover emoções positivas no utilizador. Um design bem-sucedido deve facilitar a tarefa de manuseio e minimizar os inconvenientes. Por exemplo, um automóvel que possui componentes dispostos de maneira acessível e intuitiva para manuseio proporciona uma experiência de condução mais agradável.

Este nível avalia a satisfação e o prazer que um utilizador sente ao utilizar um produto, englobando a fluidez do seu uso, a facilidade de aprendizagem e a sensação de controle. Um produto que proporcione uma experiência de uso agradável tende a criar um grande impacto emocional no seu utilizador. Aspetos como a eficácia e a eficiência são fundamentais para o nível comportamental, pois a eficácia refere-se à capacidade de um produto de atender às necessidades do utilizador, enquanto a eficiência à sua rapidez e facilidade que estas necessidades são atendidas. O feedback recebido ao interagir com um produto é crucial para a experiência comportamental. Um automóvel que emite um som satisfatório ao ligar o motor ou que oferece uma resposta rápida ao acelerar pode aumentar a sensação de prazer e satisfação do condutor.

Na indústria automóvel várias são as referências icónicas que se poderiam apresentar. No que respeitam às mais recentes destacam-se a interface do *Tesla Model S*, e o *iDrive do BMW Série 7*. O *Tesla Model S* destaca-se pela sua performance elétrica, e pela forma como cuidadosamente interage com o utilizador. A tela *touchscreen* de 17 polegadas do *Model S*, é o ‘coração’ do sistema *infotainment*, permitindo aos seus condutores acederem a uma variedade de funções de maneira intuitiva. As informações são apresentadas de forma eficaz e organizada, com uma interface que prioriza a facilidade de uso. O design da interface é minimalista, eliminando distrações desnecessárias e com especial consideração em assegurar a concentração do condutor à estrada. Isto contribui para uma experiência de condução mais segura e agradável, aumentando a satisfação do utilizador e a sua conexão emocional com o automóvel. O outro exemplo o *BMW Série 7*, incorpora uma interface de utilizador igualmente sofisticada. O sistema de controle *iDrive da BMW*, permite que os condutores operem várias funções do veículo através de um botão rotativo, um painel *touchscreen* e comandos de voz. Esta abordagem multimodal torna a interação mais acessível e flexível, dando opção de escolha da maneira de como controlar o veículo.

A capacidade de personalização e eficiência do sistema criam uma experiência de condução que atende às necessidades funcionais, proporcionando prazer e conforto ao utilizador, e ainda fortalecendo o laço emocional entre o condutor e o veículo.

Ambos os sistemas, procuram criar uma experiência de condução funcional e emocionalmente satisfatória. A forma como cada um deles integra tecnologia e design, reflete um entendimento profundo nas necessidades dos utilizadores. A experiência positiva gerada por estas interfaces contribui para a construção de um vínculo emocional mais forte, resultando em maior satisfação e lealdade.



Figura 10. Interface *Tesla Model S*. Fonte: Site Motor Trend



Figura 11. *iDrive BMW Série 7*. Fonte: Site BMW Portugal.

Por fim, o nível reflexivo, é provavelmente a camada mais profunda da experiência emocional com um produto, este está associado ao significado pessoal, cultural, estético e simbólico que determinado produto adquire para o utilizador. Este nível está relacionado a um pensamento consciente, onde a análise intelectual e a capacidade de reflexão crítica estão em sintonia, é neste ponto, que as pessoas avaliam as suas experiências com os objetos, levando em consideração fatores como a identidade, o estatuto, os valores simbólicos e as memórias. Ao contrário do nível visceral e comportamental, considerados mais intuitivos, o nível reflexivo envolve uma avaliação racional e subjetiva com um produto, permitindo ao indivíduo refletir sobre o impacto do mesmo na sua vida pessoal. Além disso, as decisões tomadas com base no nível reflexivo tendem a ter um efeito perdurável, influenciando preferências por determinadas marcas, escolhas de estilo de vida e decisões ligadas ao prestígio e reputação social.

Um exemplo claro do nível reflexivo ocorre quando se adquire um carro de luxo, momento em que o comprador associa o veículo ao seu estatuto social, aos seus valores pessoais e à forma como será avaliado pelas outras pessoas. Embora a experiência de condução (nível comportamental) e a estética do automóvel (nível visceral) sejam fatores relevantes, o nível

reflexivo concentra-se no significado mais profundo e simbólico que o objeto representa.

Bonzanigo, designer e professor reconhecido no mundo do design de automóveis e do design emocional, argumenta que “Um automóvel pode, por exemplo, expressar dinamismo, elegância ou aventura, fazendo com o condutor sinta essas emoções ao conduzir” (Bonzanigo, 2015). Não se trata apenas de conduzir uma máquina, mas sim vivenciar uma experiência mais ampla e emocional.

Desta maneira, um carro pode ser muito mais do que um simples meio de transporte ou até uma conquista pessoal, como se pode verificar nos exemplos acima mencionados, no caso do *Porsche 911 GT3* ou do *Ferrari F8 Tributo*, estes automóveis não se tratam apenas de carros de alto desempenho, mas de uma representação de estatuto, sofisticação, paixão por automóveis, refletindo a história e a excelência da marca. Em contraste, a interface do *Tesla Model S*, simboliza a inovação tecnológica e um compromisso com a sustentabilidade, ou até mesmo o *iDrive do BWM Série 7*, onde a combinação de luxo e eficiência se destacam, representando um equilíbrio entre a sofisticação e o dinamismo, o que reforça o sucesso e um estilo de vida ativo.

1.6. *IoT* nos volantes automóveis

A *Internet of Things (IoT)*, ou Internet das Coisas, designa rede de objetos físicos equipados com sensores, atuadores e conectividade, capazes de recolher, processar e transmitir dados de forma autónoma e em tempo real. No contexto automóvel, esta tecnologia assume um papel cada vez mais determinante, permitindo que componentes internos do veículo, comuniquem entre si e com serviços externos baseados na nuvem. Potenciando assim, ganhos em termos de segurança, conforto, personalização e eficiência (ISO/IEC, 2018). Entre os diferentes elementos que compõem um automóvel, o volante destaca-se como um dos interfaces privilegiados para a aplicação da *IoT*, uma vez que representa o principal ponto de contacto entre o condutor e veículo. Assim, deixa de ser apenas um mecanismo de direção, para se transformar num dispositivo inteligente e conectado.

Atualmente, os volantes equipados com tecnologia *IoT* incorporam sensores de deteção de mãos (*Hands-On/Hands-Off Detection*), como os utilizados por exemplo pela marca Mercedes-Benz ou pela BMW, que asseguram o envolvimento contínuo do condutor em cenários de condução assistida (Mercedes-Benz, 2020; BMW Group, 2014). Para além desta

função de segurança, têm vindo a ser desenvolvidas soluções que integram monitorização fisiológica, nomeadamente sensores de eletrocardiograma (*ECG*) flexíveis instalados no aro. Estes permitem registar sinais vitais do condutor durante a condução, possibilitando a identificação de fadiga ou de níveis elevados de stress (Warnecke et al., 2022). Consequentemente, fornecedores como a Continental apresentam volantes com comandos por gestos e superfícies táteis, reduzindo o número de botões físicos e introduzindo uma interação mais intuitiva (Continental, 2016).

Em complemento, algumas destas soluções associam-se ao uso de feedback háptico localizado, que reforça avisos de saída de faixa ou de colisão iminente, alinhando-se com as exigências regulatórias mais recentes. Do ponto de vista técnico, estas inovações são suportadas por arquiteturas eletrónicas avançadas, assentes em redes como *CAN FD*, *LIN* e *Automotive Ethernet*, que garantem comunicação robusta e em tempo real. A regulamentação internacional, nomeadamente a *ISO 26262* sobre segurança funcional, a *ISO/SAE 21434* sobre cibersegurança automóvel e os regulamentos da *UNECE R155* e *R156* relativos a cibersegurança e atualizações de software, define os requisitos obrigatórios para o desenvolvimento seguro e sustentável destes sistemas (ISO, 2018; ISO/SAE, 2021; UNECE, 2021a; UNECE, 2021b).

No plano do design de interação, as normas *ISO 15005:2017* e *ISO 9241-210:2019* estabelecem princípios ergonómicos e de design centrado no utilizador, orientando a integração destas tecnologias no volante e assegurando que a carga cognitiva do condutor se mantém equilibrada e a interação intuitiva. Assim, a *IoT* aplicada ao volante reforça a segurança rodoviária, como também cria novas possibilidades de personalização e de monitorização contínua, alinhadas com as tendências da mobilidade. No caso particular desta investigação, a relevância da *IoT* revela-se especialmente significativa. A integração por exemplo de sensores de vibração ou botões multifuncionais aproxima a experiência do formando, das condições reais de condução, potencializando a transferência de competências, e aumentando a validade do treino pedagógico. Além disso, possibilita que futuros condutores tenham contacto antecipado com tecnologias emergentes, preparando-os para veículos inteligentes e conectados, que se tornarão cada vez mais presentes na mobilidade contemporânea. Ao integrar a *IoT* no volante, o design transcende a dimensão técnica para assumir um papel estratégico na criação de experiências de condução seguras, de certa forma imersivas e pedagogicamente eficazes, reforçando o volante como interface central entre o ser humano, a máquina e o futuro da mobilidade.

CAPÍTULO 2.
A CONDUÇÃO AUTOMÓVEL E A EVOLUÇÃO DO VOLANTE

A condução automóvel constitui, na contemporaneidade, uma competência transversal e fundamental à mobilidade humana, integrando uma vasta rede de interações entre fatores técnicos, cognitivos e comportamentais. Enquanto atividade quotidiana com implicações diretas na segurança rodoviária, a condução exige do indivíduo o domínio técnico do veículo, e também um conjunto articulado de capacidades percetivas, atencionais e decisórias, profundamente enraizadas nos processos psicológicos e sociais do condutor.

Entre os dispositivos de controlo do automóvel, o volante assume um papel central e simbólico. É através dele que o condutor imprime direção, transmite intenções e estabelece uma ligação direta com a máquina que opera. Mais do que um simples componente mecânico, o volante representa uma interface de controlo cuja evolução acompanha, de forma íntima, os avanços tecnológicos, os princípios de ergonomia e as transformações culturais associadas à experiência de conduzir.

O capítulo propõe-se, assim, a uma exploração aprofundada de duas dimensões complementares. Numa primeira parte, analisam-se os fundamentos da condução automóvel, com especial atenção aos mecanismos de controlo, à complexidade das exigências cognitivas envolvidas e aos fatores humanos que moldam o comportamento do condutor. Numa segunda parte, traça-se um percurso histórico e técnico da evolução do volante automóvel, desde os seus antecedentes até às formas contemporâneas, abordando a sua constituição, materiais, formatos, acabamentos e exigências ergonómicas associadas à sua utilização.

Partindo de uma contextualização histórica dos volantes de simulação, ainda com expressão limitada no panorama pedagógico atual, será igualmente abordado o seu percurso evolutivo, realçando as possibilidades que estes dispositivos oferecem para o ensino da condução. Por fim, procede-se a uma análise comparativa entre o volante automóvel e o volante de simulador, evidenciando convergências, divergências e contributos para uma aprendizagem mais segura, eficaz e adaptada às exigências da mobilidade contemporânea.

2.1. A condução automóvel

2.1.1. Definição e principais mecanismos de controlo

A condução automóvel consiste no ato de operar e controlar um veículo dentro do sistema rodoviário, com o objetivo de garantir segurança e eficiência. Conforme definido pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (IMTT, 2010, p.2), “a condução é uma tarefa complexa em termos físicos e mentais, que exige muito treino para que possa ser executada de forma eficaz, ou seja em segurança, de forma confortável, económica e legal”. Esta atividade é reconhecida como potencialmente perigosa, visto que requer do condutor a integração contínua de habilidades sensório-motora, incluindo a coordenação motora, a perceção do ambiente envolvente, a tomada de decisões rápidas e a observação rigorosa das regras do Código da Estrada. Para assegurar a operação eficaz do veículo durante a condução automóvel, o condutor utiliza diversos mecanismos de controlo, que desempenham funções específicas e complementares. Os principais dispositivos são os seguintes:

Volante direcional

O volante é o principal elemento de direção do veículo, permitindo ao condutor orientar a trajetória ao girá-lo. Atua sobre o sistema de direção, influenciando diretamente com as rodas dianteiras, garantindo o controlo da estabilidade e a mudança do percurso do veículo. Este elemento, bem como os seus componentes envolventes, é o que mais impacta com o ser humano, e com a sensorialidade, dado que é nele que o condutor tem as mãos enquanto conduz e está sempre presente no seu campo visual.

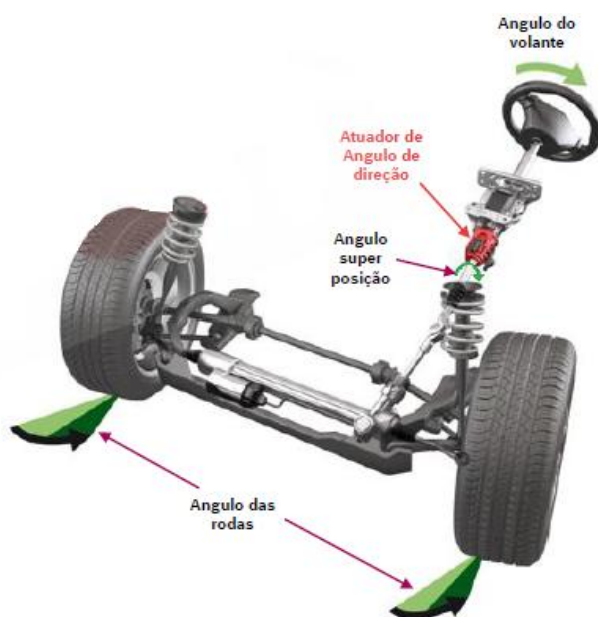


Figura 12. Volante direcional (Sistema de direção). Fonte: Site LD Auto.

Pedais

Os pedais são mecanismos que permitem controlar a aceleração, a travagem, e em veículos com transmissão manual, a embraiagem. O pedal do acelerador regula a quantidade de combustível fornecida ao motor, controlando a velocidade de deslocação do veículo. O pedal do travão permite reduzir a velocidade ou imobilizar o veículo, sendo crucial para a segurança. A embraiagem possibilita a desconexão temporária do motor e da caixa de velocidades, para facilitar a mudança de marcha. Como ilustrado na (*Figura 13*), os pedais situam-se na zona inferior na posição de condução, dispostos da esquerda para a direita como, embraiagem, travão e acelerador. No entanto, com o mercado dos elétricos em crescimento estes têm manifestado uma simplificação aparente naquilo que é a interação de condução.



Figura 13. Pedais do veículo automóvel. Fonte: Site Olhar Digital

Travão de mão

Também conhecido como travão de estacionamento, o travão de mão é utilizado para imobilizar o veículo quando estacionado e pode ser acionado em situações de emergência para parar o automóvel, sobretudo quando há falhas no sistema de travagem principal. Tradicionalmente, este sistema é mecânico, acionado manualmente através de uma alavanca. Contudo, nos veículos mais modernos, tem vindo a ser substituído pelo travão de mão eletrónico. Também designado por travão de estacionamento eletrónico, que é ativado através de um botão ou manípulo, proporcionando maior comodidade e integração com os outros sistemas de segurança do veículo.



Figura 14. Travão de mão mecânico. Fonte: Site My Force



Figura 15. Travão de mão eletrônico. Fonte: Site Fix & Go

Caixa de velocidades (Manete)

A caixa de velocidades é responsável por transmitir a força motriz do motor às rodas, permitindo a seleção de diferentes relações de marcha. Esta adaptação possibilita o fortalecimento do desempenho do veículo em diversas condições de condução, ajustando a potência e a velocidade. A seleção pode ser manual, através da manete de velocidades, ou automática, nos veículos equipados com caixa automática. Atualmente, também com o aumento dos carros elétricos, a caixa tem-se tornado cada vez mais automática. Em alguns automóveis, especialmente em modelos desportivos, os comandos da caixa de velocidades podem ainda estar integrados no volante, através de patilhas (*paddle shifters*), permitindo uma mudança de marcha mais rápida e direta, sem necessidade de retirar as mãos do volante. O domínio destes elementos é fundamental para garantir uma condução segura e eficiente, permitindo ao condutor operar o veículo com confiança e responsabilidade.



Figura 16. Caixa de velocidades manual. Fonte: Site Auto +



Figura 17. Caixa de velocidades automática. Fonte: Site Razão Automóvel.



Figura 18. Patilhas (*Paddle Shifters*). Fonte: Site Autodoc Club

2.2. Perfil do condutor

2.2.1. Psicologia e comportamento

Segundo Ellingstad (1970), a tarefa de conduzir envolve um nível elevado de complexidade, exigindo ao condutor a execução de aproximadamente 40 tarefas principais e cerca de 1500 subtarefas distintas. Esta atividade implica uma gestão contínua de tarefas sensório-motora, permitindo ao condutor processar eficazmente as informações provenientes do ambiente rodoviário e antecipar situações inesperadas. Neste sentido, é fundamental existir um grau significativo de atenção, concentração e discernimento para que as decisões tomadas contribuam para uma condução segura e responsável.

Neste enquadramento, a Matriz GDE (*Goals for Driver Education*) surge como uma ferramenta teórica que define e organiza as competências essenciais à segurança rodoviária, considerando as características individuais de cada condutor. Esta matriz estrutura-se em quatro níveis interdependentes, os quais abrangem desde aspetos pessoais e atitude até às competências operacionais mais concretas, refletindo os diferentes domínios de influência no comportamento de condução (IMTT, 2010, p2).

Nível 1 – Atitudinal

Este nível está relacionado com os objetivos de vida do condutor e com a sua capacidade de integração na sociedade, influenciando de forma profunda a maneira como se percebe e interpreta a realidade. Envolve motivações pessoais, estilos de vida, emoções e crenças que orientam o comportamento no contexto da condução. Fatores como a idade, o género ou o estatuto socioeconómico contribuem para moldar as atitudes e os comportamentos dos condutores, podendo aumentar ou reduzir o risco de envolvimento em acidentes. Assim, este nível assume um papel determinante na forma como os indivíduos se relacionam com a atividade de conduzir e com a segurança rodoviária em geral.

Nível 2 – Estratégico

O nível estratégico refere-se às decisões tomadas antes do início da condução, relacionadas com o planeamento da viagem. Inclui a escolha dos horários e itinerários, a avaliação das condições de tráfego e meteorológicas, bem como o estado físico e emocional do próprio condutor. Fazem também parte deste domínio as decisões de não conduzir em determinadas circunstâncias, como em situações de fadiga, stress ou sob o efeito de substâncias que comprometam a capacidade de condução. Estas escolhas estratégicas visam reduzir o risco

e promover uma condução mais consciente e responsável.

Nível 3 – Tático

Neste nível, o foco está na análise e interpretação do ambiente rodoviário durante a condução. O condutor deve estar apto a reconhecer e adaptar-se às condições da via, a responder a imprevistos e a agir de forma preventiva face a potenciais perigos. Isto implica, por exemplo, a necessidade de reduzir a velocidade em zonas escolares ou aproximar-se de peões, demonstrando uma capacidade de resposta rápida, segura e ajustada às exigências do contexto rodoviário.

Nível 4 – Operacional

Por fim, o nível operacional diz respeito à execução das ações motoras necessárias para o controlo direto do veículo, como acelerar, travar, mudar de direção ou engrenar velocidades. Estas ações são realizadas em conformidade com as decisões estratégicas e táticas anteriormente tomadas. A proficiência neste domínio é essencial para garantir uma condução fluída e segura, permitindo ao condutor manter o domínio do veículo perante diferentes exigências da condução do dia-a-dia.

A Matriz GDE, ao integrar estes quatro níveis, proporciona uma visão conjunta sobre as competências que sustentam o comportamento do condutor. A sua aplicação permite compreender melhor os fatores que influenciam a condução e fundamentar práticas de educação e formação mais eficazes no âmbito da segurança rodoviária.

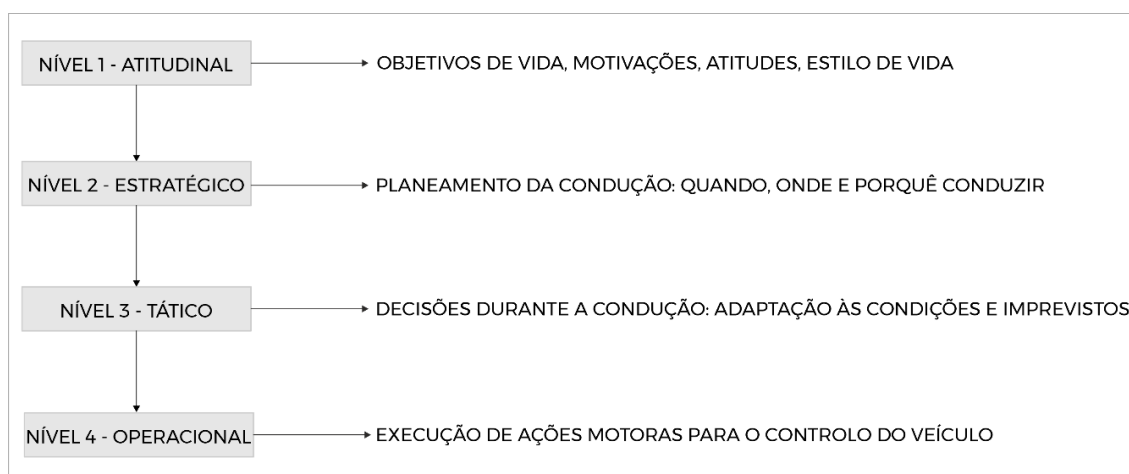


Figura 19. Matriz GDE. Elaborado pela investigadora com base em IMTT, 2010, p.2

Personalidade na condução

A personalidade constitui um conjunto singular e organizado de características mentais e emocionais que orientam padrões relativamente estáveis de pensamento, sentimento e comportamento em cada indivíduo. Esta estrutura psicofísica interna desempenha um papel determinante na forma como os sujeitos interagem com o meio envolvente, incluindo o contexto da condução automóvel, influenciando de modo significativo, os comportamentos adotados ao volante. A evidência empírica sugere que determinados traços de personalidade se associam diretamente a estilos de condução mais ou menos seguros, com implicações concretas ao nível da segurança rodoviária. Entre os traços com maior incidência em comportamentos de risco destacam-se, sobretudo, a impulsividade, a procura de sensações e agressividade.

A impulsividade refere-se à tendência para reações rápidas e não ponderadas, frequentemente motivadas por estímulos emocionais intensos, como frustração ou provocações. No contexto rodoviário, condutores impulsivos tendem a interpretar o comportamento dos outros utilizadores como ameaçador ou desrespeitoso, reagindo de forma precipitada, por vezes agressiva, através de manobras perigosas ou violação das regras de trânsito.

A procura de sensações descreve a predisposição de certos indivíduos para experienciar estímulos novos, intensos, e, por vezes, arriscados. Esta necessidade de excitação pode manifestar-se em práticas como o excesso de velocidade, a condução sob efeito de álcool ou substâncias psicoativas, ou ainda comportamentos que desafiam normas e limites. Condutores com este perfil tendem a valorizar a adrenalina da condução em detrimento da prudência, o que os torna particularmente vulneráveis a acidentes e infrações.

A agressividade representa um dos traços de maior preocupação no domínio da condução. Pode exprimir-se através de ações deliberadas e desfavoráveis, tais como ultrapassagens perigosas, desrespeito por sinais de trânsito, condução colada ao veículo da frente, uso excessivo da buzina, ou até mesmo comportamentos verbais e gestuais ofensivos. Frequentemente, este tipo de conduta resulta de estados emocionais alterados, como stress, impaciência ou frustração, e pode também estar associado a uma necessidade latente de afirmação ou controlo perante os outros.

Um estudo conduzido pela *Temple Fox School of Business*, nos Estados Unidos, revelou que indivíduos que percecionam o automóvel como uma extensão simbólica da sua identidade

pessoal tendem a apresentar maior propensão para comportamentos agressivos na condução. Tal percepção favorece uma relação emocional como o veículo, muitas vezes marcada por territorialidade, competitividade e reatividade (Instituto da Mobilidade e dos Transportes, 2023).

A análise destes traços de personalidade reveste-se de particular relevância no desenvolvimento de simuladores de condução automóvel. A possibilidade de integrar perfis psicológicos realistas permite conceber cenários de treino mais ajustados às características do utilizador, como também tornar a experiência de simulação mais eficaz no ponto de vista pedagógico e formativo. Ao incorporar as diferenças individuais no comportamento de condução, torna-se possível adaptar estratégias de intervenção específicos, com utilidade comprovada em contextos educativos, profissionais ou terapêuticos (Instituto da Mobilidade e dos Transportes, 2023).

Influência social

O comportamento dos condutores mais jovens é fortemente influenciado pelo seu estilo de vida, pelas dinâmicas sociais em que se inserem e também pelas normas informais partilhadas entre pares. Estas influências, quando combinadas com características individuais práticas típicas da juventude, como a procura por autonomia e afirmação pessoal, podem originar padrões de condução com menor segurança.

Estudos do Instituto da Mobilidade e dos Transportes (2023) demonstram que os jovens com idades compreendidas entre os 18 e os 24 anos, em especial o género masculino, apresentam maior tendência para adotar condutas de risco ao volante. Entre os comportamentos mais comuns encontram-se o excesso de velocidade, a condução sob o efeito de álcool ou substâncias psicoativas. Muitas vezes, estas atitudes resultam de uma percepção distorcida das próprias capacidades de condução, associada a uma desvalorização dos perigos reais da estrada. Adicionalmente, a vulnerabilidade à influência dos pares ganha evidência. O desejo de integração ou aceitação em determinados grupos sociais pode levar à adoção de práticas perigosas, como corridas não autorizadas, manobras de exibição ou desafios de velocidade. Estas ações são frequentemente encorajadas por uma cultura de grupo que valoriza a ousadia e o risco em detrimento da segurança (*ibidem*).

Frequentemente associado a contextos recreativos e de socialização entre jovens, o consumo de álcool é outros dos elementos que se destaca neste contexto. Este consumo, quando antecede ou acompanha a condução, agrava significativamente o risco de acidente,

reduzindo a capacidade de julgamento, tempos de reação e o controle emocional do condutor. Por conseguinte, torna-se essencial integrar estes fatores comportamentais e sociais no processo de concepção de simulações de condução. A elaboração de cenários realistas deve contemplar situações representativas de pressão entre pares, impulsividade ou estados emocionais alterados, de forma a expor os utilizadores a contextos desafiantes num ambiente seguro e controlado. Este tipo de abordagem permite um treino de competências técnicas, e também o desenvolvimento de capacidades de autorregulação, tomada de decisão mais consciente. Enquanto ferramenta pedagógica, a simulação assume um papel formativo bastante importante para a promoção de uma condução mais segura, responsável e adaptada às exigências do sistema rodoviário (*ibidem*).

2.2.2. Dimensões psicológicas da condução

De acordo com o Instituto da Mobilidade e dos Transportes (2023), o comportamento do condutor é influenciado por um conjunto complexo de atitudes, valores e motivações que determinam, de forma direta, as suas decisões ao volante. As atitudes representam tendências relativamente estáveis de um indivíduo para responder de forma positiva ou negativa face a determinadas situações. No domínio da condução, atitudes construtivas como o cumprimento das normas, a tolerância e o respeito mútuo, representam um forte contributo para a promoção da segurança rodoviária e de uma convivência equilibrada entre todos os utilizadores da via pública. No entanto, continuam a verificar-se atitudes negligentes, marcada pela desconsideração pelos sinais de trânsito, pelo excesso de confiança ou pelo desrespeito pelos outros, que comprometem gravemente a segurança rodoviária.

Os valores, enquanto princípios orientadores das escolhas individuais, influenciam a forma como o condutor interpreta a sua postura na estrada. Valores como a responsabilidade, empatia, o respeito pela vida humana e a solidariedade estão na base de comportamentos seguros e cooperativos. A sua ausência tende a favorecer condutas egoístas, competitivas e potencialmente perigosas, afetando negativamente a qualidade da interação rodoviária.

As motivações representam os impulsos internos que orientam a ação. Na condução automóvel, estas podem assumir uma natureza construtiva, como o desejo de proteger a própria integridade e a dos outros. Ou até uma dimensão negativa, como a pressa, impaciência ou a necessidade de autoafirmação. Por exemplo, a motivação para circular a

alta velocidade pode derivar da familiaridade com a via, da urgência em chegar ao destino, ou ainda a percepção de domínio e controlo sobre o veículo, fatores que aumentam substancialmente o risco de erro e a probabilidade de acidente. Neste sentido, a promoção de uma cultura rodoviária mais segura e consciente exige intervenções sustentadas no plano da educação e da formação cívica desde as idades mais precoces. A consciencialização dos futuros condutores sobre a importância das atitudes, dos valores e das motivações representa uma premissa importante na construção de comportamentos preventivos e responsáveis.

2.2.3. Processos cognitivos e comportamentais na condução

O sistema rodoviário é constituído por três elementos fundamentais: Homem – Veículo – Via. Para garantir a segurança de todos os utilizadores da estrada, é indispensável que os condutores possuam um conhecimento sólido acerca das normas de circulação, do funcionamento dos veículos e das práticas recomendadas para uma condução segura. Neste âmbito, a condução defensiva assume particular relevância, uma vez que implica a capacidade do condutor para antecipar situações de risco e ajustar o seu comportamento de forma preventiva. Esta abordagem exige um elevado sentido de responsabilidade, conhecimentos técnicos e competências cognitivas específicas (IMTT, 2010).

De acordo com o Manual do Ensino de Condução (IMTT, 2010), os processos psicológicos envolvidos na condução podem ser organizados de forma integrada em três grandes etapas: a Recolha de Informação, o Tratamento da Informação e a Ação.

- **Recolha de Informação:** Esta etapa inicial envolve dois momentos distintos, a exploração perceptiva e a identificação. A exploração perceptiva diz respeito à utilização dos órgãos sensoriais, com especial destaque para a visão. Esta está presente na captação de estímulos relevantes do ambiente rodoviário, como sinais de trânsito, obstáculos ou a movimentação de outros veículos. Em seguida, ocorre a identificação, fase em que o condutor interpreta os estímulos recebidos, atribuindo-lhes significado. Esta interpretação é essencial para a compreensão da envolvente e para a preparação da tomada de decisões subsequentes.
- **Tratamento da Informação:** Após a recolha dos dados sensoriais, o condutor integra e analisa a informação com vista à condução segura. Este processo subdivide-

se igualmente em duas fases, a previsão e a decisão. A previsão envolve a capacidade de antecipar acontecimentos futuros com base nos dados disponíveis, enquanto a decisão refere-se à seleção da ação mais adequada entre as alternativas possíveis, tendo em conta o objetivo de manter a segurança e respeitar o enquadramento legal da condução.

- **Ação:** A fase final corresponde à concretização das decisões tomadas, através da realização de movimentos sensório-motores. Estes incluem manobras como travar, acelerar ou manobrar o volante. O êxito desta etapa depende em grande medida, do grau de automatização das respostas do condutor. Quanto mais automatizados forem estes comportamentos, mais eficiente e rápida será a atuação perante imprevistos. A repetição e a experiência promovem esta competência, permitindo uma atuação quase intuitiva por parte do condutor, ajustada às exigências do contexto (IMTT, 2010).

2.2.4 Exigências cognitivas e fatores de distração na condução

Conduzir um veículo é uma tarefa exigente e complexa, que pressupõe elevados níveis de concentração e capacidades cognitivas desenvolvidas. Durante a condução, o condutor é permanentemente confrontado com uma multiplicidade de estímulos sensoriais, visuais, auditivos e motores, que requerem processamento simultâneo e respostas rápidas e adequadas. Este processo exige uma atenção distribuída entre diversas fontes de informação, como o tráfego envolvente, a sinalização rodoviária, os comportamentos de outros utentes da via e os sistemas de controlo do próprio veículo.

Neste enquadramento, a presença de fatores de distração representa um risco significativo. A utilização de dispositivo eletrónicos, como telemóveis, sistemas de navegação ou equipamentos multimédia, pode comprometer de forma substancial o foco de atenção do condutor, interferindo com a sua vigilância, com a tomada de decisão e a capacidade de resposta perante estímulos inesperados. Tal comprometimento aumenta de forma considerável a probabilidade de ocorrência de acidentes rodoviários, sendo amplamente reconhecido como uma das principais causas de sinistralidade.

A condução implica, por natureza, a realização de múltiplas tarefas em simultâneo, como

observar o ambiente, interpretar sinais, prever comportamentos alheios e executar manobras com o veículo. Esta sobreposição de exigências torna-se particularmente desafiante para condutores inexperientes, que tendem a concentrar-se de forma excessiva nos controles básicos, como o uso do volante, embraiagem ou da caixa de velocidades. Essa limitação reduz a capacidade de antecipar perigos, comprometendo a segurança e a fluidez da condução. Entre os principais desafios associados a esta complexidade destacam-se:

- **Sobrecarga mental:** Quando a quantidade de informação a ser processada excede a capacidade cognitiva do condutor, o desempenho pode deteriorar-se. Esta condição pode originar atrasos na tomada de decisão, aumento da indecisão e maior tendência a erros.
- **Redução da atenção situacional:** A focalização excessiva em tarefas específicas, muitas vezes secundárias, pode limitar a percepção do ambiente envolvente. A atenção situacional, entendida como a capacidade de manter consciência do que ocorre ao redor do condutor, é importante para detetar riscos e reagir imediatamente. A sua redução compromete diretamente a capacidade de monitorização contínua, tornando a condução mais vulnerável a imprevistos.

2.2.5. Fatores humanos com impacto na condução automóvel

A valência na condução está profundamente associada às características individuais de cada condutor. Entre os fatores humanos mais relevantes destacam-se os aspetos sensoriais, fisiológicos, cognitivos, emocionais e sociais, que influenciam diretamente a percepção, o tempo de reação e a tomada de decisão ao volante. Desses aspetos dar destaque aos seguintes:

Visão

A visão é o principal sentido envolvido na condução, sendo responsável por cerca de 90% da informação necessária à percepção do ambiente rodoviário (IMTT, 2023). Através dela, o condutor identifica obstáculos, sinalização, outros utentes da via e condições da estrada, ajustando a sua atuação em conformidade. A eficácia do campo visual, que inclui a visão frontal e periférica, pode ser reduzida por fatores como velocidade elevada, ruído excessivo ou consumo de álcool, comprometendo a percepção lateral e aumentando o risco de acidentes. A acuidade visual e a visão cromática são igualmente relevantes, permitindo distinguir sinais

e cores, essenciais para uma tomada de decisão rápida. A visão estereoscópica, é crucial na avaliação de distâncias, especialmente em ultrapassagens e travagens. Em condições de baixa luminosidade, como durante a condução noturna, estas capacidades são reduzidas, exigindo maior cautela por parte do condutor.

Audição

Apesar da visão ser o sentido predominante na condução, a audição desempenha um papel complementar fundamental, permitindo ao condutor identificar sons como buzinas, sirenes e alertas, bem como reconhecer a sua direção e intensidade, capacidades essenciais para reagir com segurança a imprevistos (IMTT, 2023). Com o envelhecimento, é comum ocorrer uma diminuição da acuidade auditiva, conhecida como presbiacusia, sobretudo a partir dos 50 anos. No entanto, também em idades mais jovens tem-se verificado um aumento da perda auditiva, frequentemente associada à exposição prolongada a ruído intenso. A audição, ao complementar a visão, torna-se especialmente relevante em situações de visibilidade reduzida, como curvas apertadas ou tráfego denso, favorecendo a percepção antecipada de riscos.

Idade

A idade influencia significativamente a percepção, interpretação e reação dos condutores aos estímulos do ambiente rodoviário. Durante a infância, a imaturidade sensorial e a falta de experiência limitam a capacidade de avaliação de riscos, enquanto na terceira idade observa-se um declínio gradual das capacidades visuais, auditivas e motoras, com aumento do tempo de reação e menor percepção de objetos em movimento rápido (IMTT, 2023). Apesar das limitações associadas ao envelhecimento, os condutores mais velhos tendem a beneficiar de maior experiência. No entanto, esta pode levar a excessos de confiança e decisões menos ponderadas. Assim, é essencial que os condutores, em qualquer faixa etária, reconheçam as suas limitações e adotem uma condução prudente, especialmente perante utentes mais vulneráveis.

Género

O género é um fator relevante na análise dos comportamentos de condução, evidenciando diferenças estatísticas e comportamentais entre condutores masculinos e femininos. De modo geral, os homens tendem a adotar um estilo de condução mais agressivo, com maior incidência de acidentes graves e contraordenações. Por outro lado, as mulheres demonstram

maior cautela, conformidade com as regras de trânsito e sensibilidade à segurança. Estas distinções podem estar associadas a fatores como a percepção de risco, o autocontrole e o nível de confiança ao volante. Assim, o género influencia padrões de risco e segurança rodoviária, justificando a necessidade de estratégias diferenciadas em campanhas de sensibilização e formação (*ibidem*).

Atenção e concentração

A atenção e a concentração são funções cognitivas essenciais para uma condução segura. A atenção permite selecionar estímulos relevantes, enquanto a concentração garante a vigilância contínua durante o percurso. Níveis elevados de atenção facilitam a identificação precoce de perigos e a antecipação de ações dos restantes utentes da via.

No entanto, distrações internas (como fadiga ou preocupações) e externas (como o uso de dispositivos eletrónicos) reduzem a capacidade de reação e aumentam o risco de acidente. Importa referir que a atenção plena apenas atinge maturação adequada por volta dos 16 anos, o que justifica a idade legal mínima para conduzir. Assim, incentivar comportamentos que favoreçam a concentração e limitar fontes de distração é crucial para a segurança rodoviária (*ibidem*).

Fadiga e sonolência

A fadiga e a sonolência são condições que afetam negativamente o desempenho na condução, reduzindo a concentração, a percepção, o tempo de reação e a precisão dos movimentos. A fadiga resulta do cansaço acumulado e da privação de descanso, enquanto a sonolência interfere com o controlo dos movimentos voluntários e o estado de alerta. Para mitigar estes riscos, é fundamental que o condutor adote hábitos saudáveis de sono, evite conduzir após noites mal dormidas ou refeições pesadas, realize pausas regulares em viagens longas, mantenha o veículo bem ventilado e mantenha uma postura correta ao volante (*ibidem*).

Estado emocional e stress

O estado emocional do condutor influencia diretamente a sua atenção, concentração e capacidade de decisão. Emoções intensas como tristeza, raiva ou medo, ainda que temporárias, podem comprometer a segurança rodoviária se não forem devidamente controladas. O stress, por sua vez, representa uma sobrecarga física e emocional

frequentemente desencadeada por preocupações pessoais ou condições adversas do trânsito. Os seus efeitos incluem alterações emocionais, dores físicas, dificuldade de concentração e tomada de decisão, aumentando significativamente o risco de acidente. Assim, a gestão emocional e a regulação do stress são fundamentais para uma condução segura (*ibidem*).

2.2.6. Processamento de informação na condução

Na tarefa de condução, a informação relevante é captada pelos sentidos e processada através de três níveis de registo de memória, cada um com um papel fundamental na tomada de decisões e na execução das ações necessárias.

Registo Sensorial: Este é o primeiro nível de processamento, onde todas as informações captadas pelos órgãos sensoriais, como visão, audição e tato, são armazenadas por um curto período. Nesta fase ocorre uma filtragem inicial, que elimina dados irrelevantes e prioriza os estímulos mais importantes para a condução. Por exemplo, ao volante, o condutor ignora ruídos de fundo para focar-se no som de uma buzina ou no movimento de outros veículos.

Memória de Trabalho: Após o registo sensorial, a memória de trabalho retém temporariamente uma quantidade limitada de informação, cerca de sete unidades, durante alguns segundos. É neste espaço que ocorre a análise consciente e imediata dos estímulos, permitindo respostas rápidas a situações específicas. Por exemplo, ao avistar um semáforo vermelho, o condutor avalia a distância e decide parar o veículo.

Arquivo de Conhecimento: Por fim, o arquivo de conhecimento corresponde à memória de longo prazo, onde são armazenadas informações, experiências acumuladas, habilidades adquiridas e procedimentos automatizados. Este arquivo permite ao condutor tomar decisões mais complexas e eficazes com base em aprendizagens prévias.

Segundo Reason, J. (1990). o condutor utiliza três tipos principais de conduta para resolver problemas na condução:

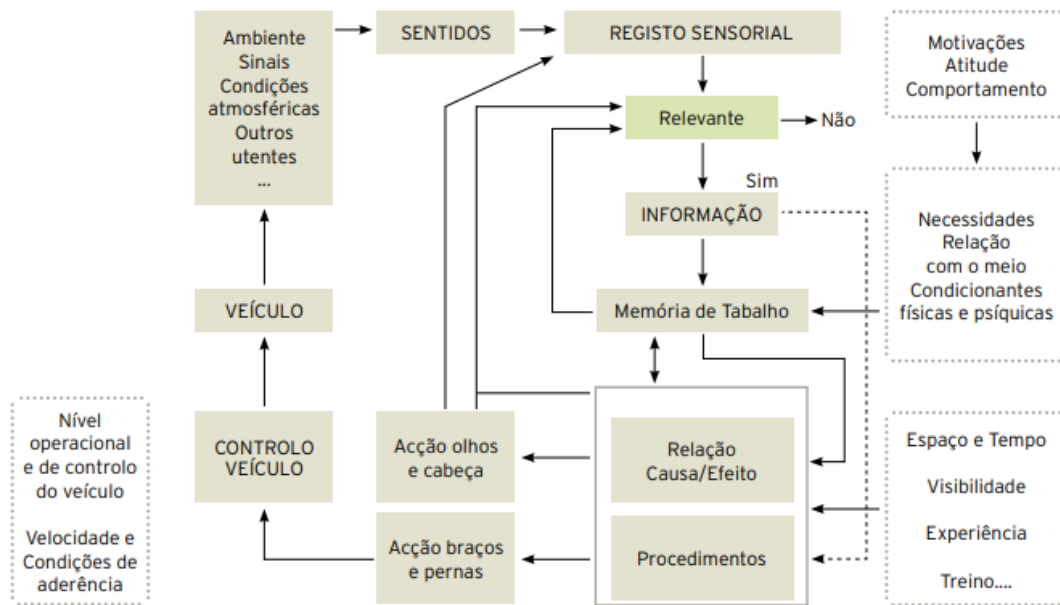


Figura 20. Modelo de Reason. Fonte: IMTT, 2010, p.4.

1º Baseada no conhecimento: Este tipo de comportamento manifesta-se quando o condutor se depara com uma situação nova ou desconhecida. Nesse caso, a memória de trabalho é utilizada para decompor o problema em partes menores e encontrar uma solução, de forma semelhante à resolução de um puzzle. Por exemplo, ao conduzir numa estrada pouco familiar e sob condições meteorológicas adversas, o condutor tende a agir de maneira cuidadosa e deliberada.

2º Baseada nas regras: Nesta situação, o condutor atua de maneira quase automática, seguindo regras e procedimentos previamente aprendidos e memorizados. Este tipo de comportamento é aplicado em contextos habituais e previsíveis, como respeitar sinais de trânsito ou diminuir a velocidade ao aproximar-se de um cruzamento. Embora a resposta seja rápida, requer o reconhecimento de padrões e a aplicação consciente dessas regras.

3º Baseada na proficiência: Este estágio corresponde a um elevado grau de prática e experiência, no qual as ações do condutor tornam-se completamente automatizadas. As respostas são rápidas, intuitivas e naturais, sem necessidade de esforço consciente. Por exemplo, condutores experientes realizam frequentemente manobras complexas, como mudar de faixa na autoestrada, de forma fluida e segura.

O processamento da informação envolve um equilíbrio entre a receção dos estímulos sensoriais, o seu processamento ativo e a aplicação dos conhecimentos previamente adquiridos. O condutor filtra continuamente as informações recebidas, orientando-se pelas

suas motivações, objetivos e preocupações relacionadas com a segurança. Com o passar do tempo e a prática, as respostas do condutor evoluem desde ações conscientes baseadas no conhecimento para comportamentos cada vez mais automatizados, possibilitando uma gestão eficiente de situações complexas na condução.

2.3 Condução defensiva: fundamentos e importância

No trânsito, existem diferentes perfis de condutores, desde os mais cautelosos até os mais agressivos. Com a experiência, o condutor aprende a antecipar comportamentos dos outros utilizadores, essencial para prevenir acidentes. A condução defensiva é uma postura ativa e preventiva, que envolve observar atentamente o ambiente, antecipar riscos e controlar as situações de trânsito. É uma atitude consciente, responsável e focada na segurança coletiva. Um condutor defensivo demonstra:

Responsabilidade: Reconhecendo a segurança como um compromisso partilhado;

Tolerância: Ao ceder certos direitos em prol da segurança;

Adaptabilidade: Ajustando o comportamento diante de condutores que assumem riscos, mantendo vigilância constante.

2.3.1. Aplicação prática e treino em simuladores

A condução defensiva exige antecipação de perigos, tomada rápida de decisões e execução segura de manobras. No desenvolvimento de simuladores e volantes de condução, é essencial que esses dispositivos possibilitem o treino destas competências, criando experiências realistas que reforcem a atenção para situações de risco, como tráfego intenso, baixa visibilidade, presença de peões e utentes vulneráveis (crianças, idosos, ciclistas).

O volante deve ser projetado com ergonomia e interação intuitiva, facilitando a sinalização de manobras, controlo da velocidade e resposta rápida a estímulos visuais e auditivos. Assim, a condução defensiva torna-se uma habilidade que pode e deve ser desenvolvida em ambientes simulados, promovendo condutores mais conscientes, responsáveis e preparados para a condução real.

2.4. O volante automóvel – contextualização histórica

“Duas mãos posicionadas às «10h10» no vazio, e pensa-se instintivamente num volante e, portanto, num carro. E, no entanto, o carro e o seu aro direcional não estavam relacionados no início.” (Paris-Normandie 2022)

A evolução do volante automóvel teve início no final do séc. XIX, quando o manuseamento da direção dos veículos era feito através de mecanismos rudimentares, como manivelas, alavancas ou governadores de direção. Como explica Rodrigues (2012): “as primeiras experiências de automóveis foram, na prática, carruagens adaptadas a motores de combustão interna, mantendo o sistema de direção por leme ou uma simples barra horizontal” (Rodrigues, 2012, p.58). De acordo com o site Motor24 (2020) “os primeiros automóveis utilizavam uma alavanca de direção, também chamada de “*tiller*”, que limitava o controlo do veículo a baixas velocidades”.

A mudança ocorreu em 1894, quando Alfred Vacheron, um dos pioneiros do automobilismo, decidiu modificar o seu Panhard & Levassor de 4 cavalos para participar na corrida Paris-Rouen. Instalou um volante, inspirado nos lemes de navios, o que permitiu uma direção mais precisa e progressiva. Este design inovador trouxe maior precisão e ergonomia, permitindo que os condutores controlassem os veículos com mais facilidade e eficiência, sendo posteriormente um padrão seguido por outros fabricantes de automóveis na época, ao qual a sua aceitação foi quase imediata porque o volante proporcionava uma condução mais precisa e segura do que o “*tiller*”. O desenvolvimento do volante automóvel está intimamente ligado à evolução dos veículos como um todo, e representa uma mudança dos mecanismos simples para sistemas mais avançados de controle e direção.

2.4.1 Origem e antecedentes

1769: A invenção de Cugnot

O ‘*Le Fardier*’ concebido pelo engenheiro militar francês Nicolas Joseph Cugnot foi considerado o primeiro veículo autopropelido a vapor da história. Destacado pela sua impressionante dimensão, este veículo foi projetado com objetivo de substituir a tração animal em contexto militar, oferecendo uma solução inovadora para o transporte de cargas pesadas. Um dos principais destaques desta criação encontra-se no seu sistema de direção,

embora rudimentar, o que causou um impacto significativo para a época.

O veículo possuía um conjunto de comandos que permitiam ao condutor controlar a trajetória pretendida. A mais evidenciada foi a alavanca de direção, que funcionava como um guiador, permitindo direcionar a roda motriz. Esta inovação era essencial para possibilitar a manobra do veículo, embora o controlo fosse difícil devido ao peso, à falta de tecnologia de precisão e à complexidade em curvas ou terrenos irregulares. Apesar da sua importância histórica, foi abandonado em 1771 devido às suas limitações práticas. Segundo Rodrigues (2012) “o conceito de veículos autopropulsados por vapor continuou a ser explorado nos séculos XVII e XIX, mas só viria a ganhar expressão real com diligências a vapor de *Trivithick*, no início de 1800, e mais tarde com a locomotiva ferroviária” (Rodrigues, 2012, p.45).



Figura 21. *Fardier à vapeur* de Joseph Cugnot, Paris. Fonte: Site Stakanchik Media (s.d.).

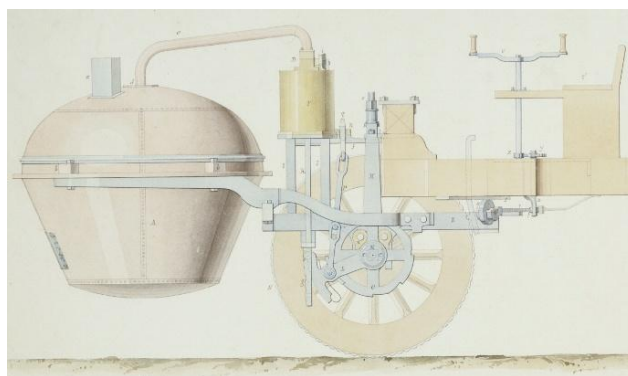


Figura 22. Alavanca de direção. Fonte: Site Arts et Métiers (s.d.).

Séc. XIX: A evolução nos triciclos a vapor

“Durante séculos, a evolução dos meios de locomoção foi lenta e, mesmo, estacionária. O homem deslocava-se só quando as necessidades a tal o obrigavam e fazia-o sempre à custa de mil e um sacrifícios” (Calisto, 1967). Ao longo da história, o Homem sempre teve a necessidade de percorrer longas distâncias, com isto, a procura por meios que facilitassem a sua capacidade de locomoção aumentou, o que viria, a facilitar as suas diversas tarefas. O modo de deslocação começou primeiramente por ser realizado a pé, passando por o auxílio da tração animal e finalmente por invenções mecanizadas. A história do automóvel pode ser dividida em várias fases distintas, que vão desde a invenção do primeiro carro movido a vapor no século XVIII até aos carros de atuais.

Durante o século XIX, invenções como os triciclos de Amédée Bollée (1825) introduziram pequenas melhorias na direção. Bollée aplicou um sistema de leme articulado que permitia controlar ambas as rodas dianteiras, oferecendo maior estabilidade (Kirsch, 2008).

1886: *Benz Patent Motorwagen*

O *Benz Patent-Motorwagen*, projetado por Carl Benz em 1886, foi considerado o primeiro automóvel do mundo movido por um motor a combustão interna e ignição elétrica. Benz relata ao especificar as características do veículo que “A presente construção destina-se principalmente à operação de carroças leves e pequenas embarcações, como os utilizados para transportar de uma a quatro pessoas...” esta invenção revolucionou a mobilidade humana, transformando a capacidade de locomoção. Representando um marco na história do automóvel, esta construção apresentou diversas inovações tecnológicas, sendo um dos principais destaques o mecanismo de direção do veículo. Mecanismo este que utilizava uma manivela conectada a um sistema *rack e pinhão* para controlar a roda dianteira. Este design permitia ao condutor orientar o automóvel de forma precisa, combinando simplicidade e funcionalidade. A roda dianteira, montada num garfo fixo, respondia diretamente aos movimentos da manivela, assegurando o controlo eficiente do veículo, mesmo sendo a tecnologia da época bastante limitada. Outro componente essencial foi a alavanca multifuncional, que desempenhava diversas funções importantes para o funcionamento do automóvel. Movendo-a, o condutor transferia a correia da polia neutra para a polia de acionamento, iniciando o movimento do automóvel. A alavanca também controlava a velocidade ao ser empurrada para a frente e ativava o travão quando puxada para trás. Este sistema integrado representava uma solução pioneira, reunindo num único dispositivo as funções de arranque, controlo de velocidade e travagem, o que tornava o automóvel mais acessível e prático para o uso quotidiano.



Figura 23. *Benz Patent Motorwagen*, 1886. Fonte: Site Heacock Classic (s.d.).



Figura 24. Alavanca multifuncional. Fonte: Site ClassicCars.com (2020)

Origem do volante

1894 - 1895: *Panhard & Levassor*

Através do desenvolvimento tecnológico dado pela revolução industrial nos finais do século XIX, a indústria automóvel obteve grandes transformações nos países europeus, começando a evoluir a um ritmo vertiginoso em França.

Em dezembro de 1893, '*Le Petit Journal*' dita as regras para o '*Concours pour Voitures sans Chevaux*', onde unicamente automóveis com quatro lugares e propulsão mecânica poderiam participar. A preocupação com critérios como a segurança, conforto e preço ficou bastante evidente por parte dos engenheiros e jornalistas do jornal parisiense.

A 22 de Julho de 1894, com início na Boulevard Maillot em Paris com direção ao Champ de Mars em Rouen, os automóveis realizavam a primeira prova de desporto motorizado.

Conduzido por Émile Levassor, e sem qualquer analogia de que o veículo tivesse um forte impacto no futuro, o automóvel *Panhard & Levassor n.º15* junta-se a linha de partida destacando-se dos demais. Foi um dos primeiros automóveis adotar o conceito *Système Panhard*, este posicionava o motor à frente do veículo, transmitindo potência para as rodas traseiras e era conduzido por uma barra de direção, mencionada como *tiller*. Este design, embora rudimentar foi um modelo de estágio inicial no desenvolvimento tecnológico da época, representando a base para o desenvolvimento dos automóveis modernos (Georgano, 2000).

Para Baldin, a marca francesa *Panhard & Levassor* deu mais um passo determinante ao apresentar o modelo *6HP*, que introduziu uma inovação tecnológica decisiva: o volante. Esta mudança teve como objetivo o ganho de maior precisão no comando das rodas dianteiras e definiu novos padrões de ergonomia e segurança. Nas mãos do engenheiro francês Alfred Vacheron, o volante direcional foi utilizado pela primeira vez, numa versão modificada para a corrida Paris-Bordeaux-Paris em 1895, onde ganhou destaque pela maior precisão e conforto que oferecia ao condutor em comparação com a antiga barra de direção (Baldwin, 1972). Embora os automóveis fossem bastante primitivos, a adoção do volante demonstrou o seu potencial, especialmente em curvas e a velocidades mais altas. Esta mudança teve impacto imediato nas competições automobilísticas e também nos automóveis de uso diário, a adoção do volante direcional foi instantânea, e rapidamente se tornou o padrão de direção para os automóveis do futuro (Baldwin, 1972).



Figura 25. *Panhard & Levassor n°15* em 1894 (Paris-Rouen). Fonte: Site Est Républicain (2021).

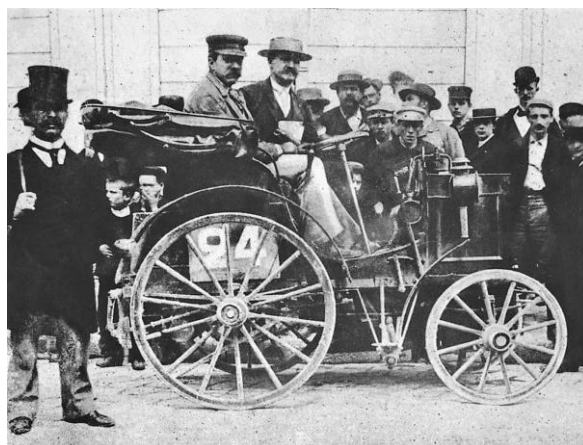


Figura 26. *Panhard & Levassor 4HP* em 1895 (Paris-Bordeaux-Paris). Fonte: Site ClassicCars.com (2020).

Segundo Braess e Seiffert “o volante é o componente que conecta diretamente o condutor ao sistema de direção do veículo, permitindo o controlo preciso da trajetória através de movimentos simples e intuitivos”, este é provavelmente um dos componentes mais icónicos e indispensáveis do automóvel, o volante representa o elo de interação entre o condutor e a máquina. A sua principal função em contexto mecânico, é transmitir os movimentos realizados pelo condutor às rodas dianteiras, de forma a que o automóvel assuma o percurso desejado. Para que tudo isto seja possível, é necessário um conjunto de componentes como a coluna de direção, o pinhão e a cremalheira, ou atualmente através de mecanismos como a direção hidráulica e elétrica.

Muito mais do que um simples mecanismo de direção, esta interface desempenha um papel crucial no desenvolvimento da mobilidade e no impacto do automóvel na sociedade. Antes da sua introdução, os primeiros veículos eram controlados por alavancas ou manivela, sistemas rudimentares que ofereciam pouca precisão e conforto (Braess e Seiffert, 2005).

2.4.2. A evolução do volante: perspetiva temporal

2.4.2.1. A evolução do volante até ao século XX

A evolução do volante automóvel a partir do século XX, mostra algumas transformações na tecnologia automobilística, em que o foco principal foi o conforto, a segurança e a própria condução. Desde do seu surgimento até aos dias de hoje, o volante passou por diversas transformações, tornando-o um dos componentes mais importantes na constituição de um automóvel. A partir do início do século XX, surgem as primeiras implementações em série do volante como componente de base nos veículos produzidos por marcas como a *Daimler-*

Motoren-Gesellschaft (DMG) e a *Ford Motor Company*, entre outros. Estes desenvolvimentos foram impulsionados tanto por exigências técnicas como pela necessidade de oferecer maiores exigências ao condutor, numa época em que a indústria automóvel se começava a massificar.

1898: *Daimler Motoren Gesellschaft* / 1901: *Mercedes 35 HP*

Daimler Motoren Gesellschaft (DMG) foi oficialmente fundada em 28 de novembro de 1890, por Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach, em Cannstatt, na Alemanha, com o objetivo de produzir motores a combustão interna e veículos motorizados, numa época em que a transição dos veículos de tração animal para meios motorizados estava em desenvolvimento. A empresa desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento de automóveis modernos nos finais do século XIX e início do século XX.

Segundo Mom (2014) “*Deimler’s and Maybach experiments in Cannstatt not only advanced internal combustion engines but also brought the motorcar into being as a credible transport alternative*” (Mom, 2014, p.72). Foi através dos mesmos que a inovação técnica da junção do volante de direção se consolidou como padrão da indústria automóvel. Com o lançamento do *Mercedes 35 HP* em 1901, a empresa obteve um maior impacto, pois introduziu um novo paradigma técnico que incluía a direção com volante circular, juntamente com a sua colocação à esquerda do habitáculo, e uma roda de maior diâmetro para uma maior precisão na condução. Este modelo, encomendado por Emil Jellinek, demonstrava uma estabilidade e um desempenho superiores em comparação com os veículos da época (Wise, 1970).

Tornando-se deste modo no primeiro automóvel verdadeiramente projetado com um chassis de automóvel que incluía volante, transmissão e controlo adaptados à nova era da mobilidade. Segundo Rodrigues (2012) a transmissão do sistema de direção do tipo “*tiller*” para o volante com cremalheira e pinhão, como foi adotado nos veículos da DMG, contribui para a evolução da segurança e da ergonomia aliada na condução, “a mudança para o volante com sistema mecânico de pinhão e cremalheira permitiu o controlo mais natural e direto do veículo, o que aumentou a segurança e o conforto dos primeiros automóveis com motor a combustão” (Rodrigues, 2012, p.94).

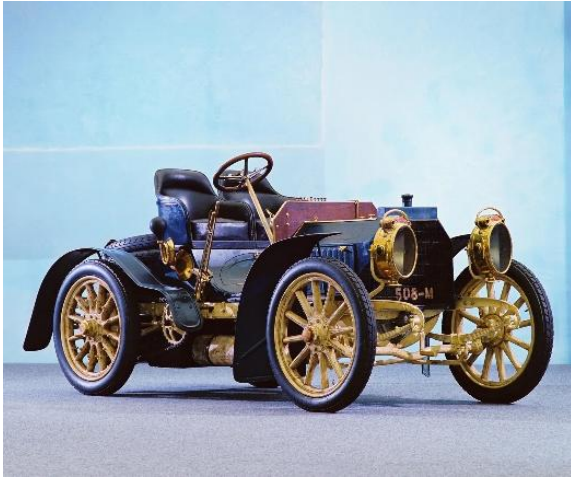


Figura 27. *Mercedes 35HP*. Fonte: Site BenzInsider.com (2014)



Figura 28. *Mercedes 35HP Rennwagen*. Fonte: Site Supercars.net (s.d.).

1910: *Ford Model T*

O *Ford Model T*, lançado em 1908, marcou a viragem na história da indústria automóvel e, consequentemente, na evolução dos sistemas de direção, incluindo o volante. Sendo o primeiro carro produzido em massa através de linhas de montagens industriais. A produção em massa do *Ford Model T*, desenvolvido por Henry Ford, conseguiu ensinar milhões de condutores a conduzir com um volante, pois o carro era acessível a uma vasta porção da população, tinha características inconfundíveis como a durabilidade, a versatilidade e facilidade de manutenção o que gerou um número de vendas elevadas. Esta democratização do automóvel trouxe consigo a necessidade de simplificar e padronizar os componentes essenciais, nomeadamente o volante, que passou a ser o principal elemento de controlo do veículo (Nevin, 2007). Embora alguns comandos fossem diferentes dos modelos da atualidade, o próprio formato circular, o volante à esquerda do habitáculo, com engrenagens em vez de alavanca do tipo “*tiller*” e a sua estabilização, consolidaram o mesmo como interface principal entre o condutor e o veículo que consequentemente viria a influenciar as gerações subsequentes na produção de veículos. “O *Model T* foi mais que um carro acessível, foi um veículo que colocou o mundo sobre rodas” (Ford Motor Company).

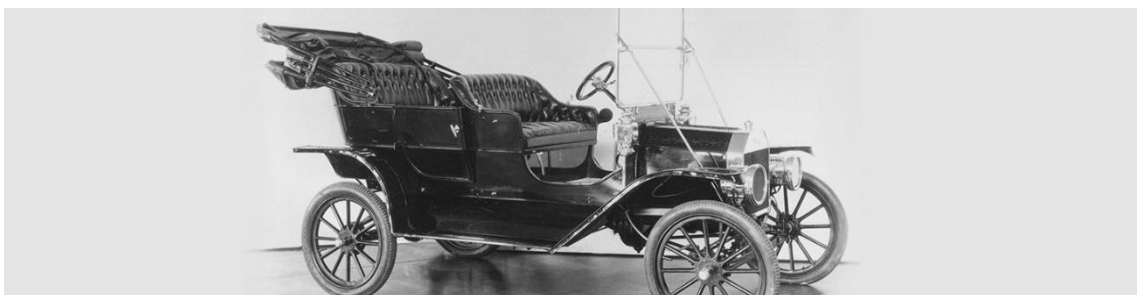


Figura 29. *Ford Model T*. Fonte: Site Ford Motor Company (s.d.).

1920: Introdução da direção hidráulica - 1951: O “Hydraguide”

Ao longo das primeiras décadas do século XX, os veículos tornaram-se progressivamente maiores e mais pesados, o que dificultava a operação dos sistemas de direção manuais, sobretudo em manobras de baixa velocidade. Existiu desta forma a necessidade de tornar a condução mais leve e confortável, impulsionando assim o desenvolvimento da direção assistida hidráulica. Apesar de existirem registos de projetos experimentais desde a década de 1900, foi em 1926 que o engenheiro Francis W. Davis, que trabalhava em divisões de veículos pesados da Pierce-Arrow, criou o primeiro sistema hidráulico de assistência à direção com aplicação prática. Instalado num modelo de 1921, este demonstrou uma alta eficácia durante uma viagem de Nova Iorque a Los Angeles (Pistonheads, 2025).

Este sistema demonstrou a sua eficácia com controlo suave e sem trepidações «*shimmy*» no volante, mesmo em veículos carregados e de peso elevado, como veículos militares. Durante a Segunda Guerra Mundial, o mesmo sistema foi adaptado para veículos militares pesados, onde a manobrabilidade era de difícil execução. Houve um maior controlo e uma redução na fadiga dos condutores (autoevolution, 2025).

Esta consolidação tecnológica estabeleceu as bases necessárias para a sua aplicação no mercado civil. Foi neste contexto que, na década de 1950, a Chrysler retomou e aperfeiçoou o conceito, culminando no lançamento do *Hydraguide*, o primeiro sistema de direção assistida hidráulica comercializado num automóvel de passageiros. O *Hydraguide* baseava-se numa bomba hidráulica acionada pelo motor, este enviava fluído sob pressão para o pistão acoplado à caixa de direção. Esse pistão auxiliava o movimento do volante, reduzido o esforço necessário do condutor.

Este teve impacto no design do volante permitindo a redução do diâmetro dos volantes, uma vez que deixou de ser necessária tanta força na execução de manobras, houve por consequência um maior controlo e suavidade na condução, e desta forma uma resposta mais rápida e precisa do volante.

2.4.2.2. Modernização e avanços tecnológicos

1960 – 1970: A atualização no design de volantes

Durante a década de 1960, o volante deixou de ser apenas um instrumento mecânico de controlo e começou a ganhar mais importância enquanto componente ergonómico e funcional, aumentando a sua complexidade em conformidade com as evoluções nos automóveis, e pelas exigências consequentes da produção em massa. Os volantes eram em geral metálicos com um aro revestido em baquelite ou madeira, fáceis de produzir e resistentes. As dimensões típicas do volante eram grandes (400-430 mm de diâmetro) para ajudar e aumentar o braço da alavanca, mesmo este tendo uma ergonomia ainda rudimentar.

A *General Motors* (GM) em 1963 introduziu o sistema “*Tilt Wheel*” o que permitiu ajustar a inclinação do volante em múltiplas inclinações. Esta alteração facilitou um maior ajuste em altura e postura, aliviando tensões ergonómicas provocadas no condutor durante a condução (Phelan, 2009). Mais tarde, em 1965, a *General Motors* lançou o chamado “*Tilt and Telescope Steering Wheel*”, um sistema que permitiu ajustar a profundidade do volante. Este novo design foi popularmente valorizado em segmentos de luxo, como por exemplo o Cadillac DeVille, o que reforçou a ideologia de que o conforto ao volante era uma parte essencial da experiência de condução.

A partir dos anos de 1969 foi desenvolvido pela Ford o sistema *Rim-Blow*, que consistia num interruptor de buzina contínuo no interior do aro do volante, eliminando os botões centrados tradicionais. Mais tarde, por existirem problemas técnicos com a sua durabilidade e execução, originou a descontinuação da mesma inserção (Kimes & Clark, 1996).

Ao longo da década de 1970 o volante transformou-se num objeto de design, existe uma maior preocupação com os materiais de execução, dando acabamentos mais elegantes e sofisticados, formas circulares mais limpas, e uma maior intenção de recorrer a dados antropométricos para dimensionar o volante consoante a posição dos braços e das mãos do condutor.

1980: A introdução do *airbag*

A introdução do *airbag* frontal ao condutor no volante representou uma inovação importante na segurança dos automóveis. Este passou a incluir um modelo central reforçado e acolchoado, com uma estrutura metálica deformável (coluna de direção) coberta com

borracha expandida, capaz de alojar o módulo do airbag sem comprometer a integridade estrutural, e com a funcionalidade de absorver impactos e proteger o condutor. A Chrysler foi a primeira a disponibilizar o airbag de série, tornando-o acessível em veículos de massas. E mesmo que rudimentar inicia-se de igual forma na década de 1980 a integração dos primeiros comandos simples como rádio, *cruise control* básico, e no centro do volante a inscrição do símbolo “SRS” que indicava a presença de tecnologia de segurança passiva integrada.

1990: Volante multifuncional

Nos anos de 1990, o volante transformou-se num centro de controlo multifuncional e não apenas um comando mecânico. Apesar de registos antecedentes de botões em volantes, foi em 1998, com o *Mercedes-Benz S-Class* que surgiu o primeiro volante com o sistema COMAND (*Cockpit Management and Data*). As regulamentações europeias tornaram o airbag altamente recomendado, o que gerou o desenvolvimento de volantes com *multistage airbags* e sistemas de cintos ajustados. A ergonomia atinge na década de 1990 novos níveis: couros de alta qualidade, formatos anatómicos, redução de diâmetros (320-369 mm), bordos mais espessos e perfurados para uma maior aderência. Estas melhorias anteciparam a transição de interfaces digitais mais avançadas, estabelecendo o volante como o centro de controlo ergonómico de um veículo.

2000: Direção elétrica

Com a adoção crescente do *EPS* no início dos anos 2000, tornou-se possível reduzir significativamente o diâmetro dos volantes. Segundo a fonte CarSpiritPK (2020), os volantes passaram a medir cerca de 260 a 280 mm, uma diminuição considerável face aos cerca de 300–320 mm da década anterior. Esta redução foi possível porque o sistema elétrico dispensava o enorme braço mecânico necessário nas direções manuais ou hidráulicas, mantendo controlo sem esforço pela parte do condutor.

A Direção Assistida Elétrica (*Electric Power Steering – EPS*) substituiu gradualmente os tradicionais sistemas hidráulicos. Este avanço tecnológico permitiu que a assistência à direção fosse fornecida por um motor elétrico controlado eletronicamente, eliminando a necessidade de bombas hidráulicas, correias e fluido de direção. O *EPS* revolucionou a forma como o volante interage com o sistema de direção, oferecendo maior precisão, menor consumo de energia e mais possibilidades de integração com outros sistemas eletrónicos do

veículo, como o controlo de estabilidade, o assistente de faixa e os modos de condução personalizados. Além disso, o *EPS* tornou possível a introdução de volantes com resposta variável consoante a velocidade do veículo, aumentando significativamente o conforto e a segurança.

Segundo a Bosch (2020), “a direção elétrica permite uma comunicação mais inteligente entre o condutor e o automóvel, constituindo a base para funcionalidades automatizadas e sistemas de assistência à condução cada vez mais sofisticados” (Bosch, 2020). Este sistema não só tornou os automóveis mais eficientes e leves, como também criou o alicerce tecnológico que permitiria, nos anos seguintes, a introdução de conceitos ainda mais avançados como o *steer-by-wire*, que elimina completamente a ligação mecânica entre o volante e as rodas.

Paralelamente, o design ergonómico dos volantes tornou-se uma preocupação central. Foram introduzidos volantes com zonas de preensão texturizadas, materiais mais sofisticados como pele, alumínio ou madeira, e formatos que melhor se adaptavam à posição natural das mãos. Em modelos desportivos ou premium, os volantes passaram a ter secções achatadas na base (*flat-bottom steering wheels*), inspiradas em corridas automóveis, melhorando a acessibilidade e reforçando o apelo estético.

Outro desenvolvimento notável nesta década foi a integração progressiva de sensores no volante, como sensores de toque ou de movimento, que permitiam monitorizar a atenção do condutor — um precursor das tecnologias de condução semiautónoma que viriam a surgir mais tarde. Estas inovações refletiam a tendência crescente de transformar o volante num centro de controlo inteligente dentro do automóvel. Estas transformações na década de 2000 prepararam o terreno para os avanços radicais que se seguiriam nos anos 2010, como os sistemas *steer-by-wire* e os volantes retráteis, em sintonia com a mobilidade autónoma.

2010: *Steer-by-Wire*

O sistema *steer-by-wire*, que elimina por completo a ligação mecânica entre o volante e as rodas, representa uma revolução no desenho dos sistemas de direção automóvel. Ao invés de ser necessária uma coluna física, este conceito recorre exclusivamente a sensores, atuadores e unidades eletrónicas para converter os movimentos do condutor em comandos que direcionam as rodas frontais.

O primeiro automóvel de produção a disponibilizar este sistema foi o *Infiniti Q50*, em 2013, com o sistema denominado *Direct Adaptive Steering (DAS)*. O peso, o esforço e a resposta

do volante são totalmente programáveis, permitindo que haja um maior ajuste conforme o estilo de condução (podendo ser selecionado o modo *Comfort*, *Sport* ou *Custom*), e todo o mesmo controlado através de um software e do ecrã tátil integrado no painel do veículo. O sistema emprega três unidades de controlo elétrico redundantes e uma embraiagem que desliga a coluna mecânica automaticamente, ativando-a apenas em caso de falha (*fallback*).

Segundo a *Infiniti*, o mecanismo permite que o volante comunique instantaneamente com sistemas avançados como o *Active Lane Control*, suavizando movimentos, corrigindo ligeiras desvios e filtrando vibrações indesejadas da estrada (Infiniti, 2013). Este tipo de controlo por software suporta funcionalidades de assistência à condução automatizada e futuras aplicações de condução autónoma.

2.4.2.3. Tendências futuras

Presente – futuro

Após 2010, o volante automóvel tornou-se uma interface ainda mais sofisticada, acompanhando o avanço das tecnologias digitais e dos sistemas de condução automatizada. A sua evolução deixou de se restringir apenas à condução mecânica, passando a desempenhar um papel central na interação entre o condutor e os sistemas inteligentes do veículo. Uma das grandes transformações foi a integração dos volantes com os Sistemas Avançados de Assistência à Condução (*ADAS*). Os comandos para funcionalidades como o *cruise control* adaptativo, assistente de manutenção na faixa, travagem automática de emergência ou o piloto automático começaram a ser incorporados diretamente no volante, permitindo ao condutor um controlo intuitivo e seguro.

De acordo com Bojarski et al. (2016), o volante passou a estar cada vez mais ligado a processos de decisão computacional, reduzindo a intervenção humana, mas mantendo o condutor como supervisor do sistema (Bojarski et al, 2016). Ao mesmo tempo, muitas marcas introduziram o comando por voz e superfícies táteis, substituindo os tradicionais botões físicos por interfaces sensíveis ao toque, como implementado pela *Mercedes-Benz* nos seus modelos com o sistema *MBUX*. Estes volantes distinguem entre um toque casual e um comando intencional, representando um salto em termos de ergonomia e conectividade (Mercedes-Benz, 2020).

Outra inovação marcante foi o desenvolvimento de feedback háptico, em que o volante transmite vibrações ou resistências leves ao condutor, especialmente útil em sistemas de alerta de saída de faixa ou colisão iminente. Simultaneamente, marcas como a *Hyundai* e a *BMW* apostaram em tecnologia biométrica, com sensores no volante capazes de monitorizar batimentos cardíacos, níveis de stress ou mesmo identificar o condutor por impressão digital ou reconhecimento facial (BMW Group, 2023; Hyundai, 2020).

À medida que nos aproximamos da era da condução totalmente autónoma, surgem também protótipos de volantes retráteis ou adaptáveis, como os dos conceitos *AI:ME* da *Audi* ou do *BMW iX*. Nestes casos, o volante recolhe-se automaticamente quando o veículo entra em modo autónomo, permitindo ao utilizador ocupar-se de outras tarefas. Segundo a *SAE International* (2021), esta transição física e simbólica do volante representa uma redefinição do papel do condutor, passando de operador ativo a supervisor passivo (SAE International, 2021).

Finalmente, surgiram conceitos como o volante “yoke” da *Tesla*, com design inspirado na aviação, eliminando a secção superior para maximizar a visibilidade do painel digital. Estas soluções demonstram que o volante não é apenas um elemento funcional, mas também uma expressão da nova linguagem do design automóvel.

2.5. A importância do volante enquanto modelo ergonómico

O volante automóvel transformou-se, ao longo das décadas, num dos elementos mais centrais na relação entre o condutor e o veículo. Originalmente concebido como um simples mecanismo de direção, o volante passou a desempenhar um papel multifuncional, sendo hoje considerado uma interface crucial de controlo, ergonomia e interação digital. Esta evolução refletiu-se diretamente em três áreas fundamentais: a segurança, o conforto e a tecnologia. No domínio da segurança, o volante está intrinsecamente ligado à precisão e estabilidade da condução. A introdução da direção assistida, especialmente os sistemas de assistência elétrica (EPS), permitiu uma resposta mais sensível e controlada aos movimentos do condutor, reduzindo o esforço físico e melhorando o desempenho em manobras de baixa velocidade (Bosch, 2020).

Além disso, os volantes modernos são integrados com sistemas de segurança ativa, como os alertas de manutenção na faixa de rodagem ou o aviso de colisão iminente, reforçando o seu

papel no ecossistema de prevenção de acidentes e mantendo em salvaguarda a integridade de todos os passageiros, atribuindo primazia à proteção do condutor, considerado o principal responsável pela operação do veículo.

No que respeita à ergonomia, o volante deixou de ser uma peça rígida e inalterável para se tornar adaptável à morfologia e preferências do condutor. Com os sistemas de regulação em altura e profundidade (*tilt* e *telescopic steering*), é possível encontrar uma posição de condução mais confortável e segura, ajustada à estatura do utilizador. Segundo Pheasant e Haslegrave (2006), a posição correta do volante reduz significativamente a fadiga muscular e o risco de lesões associadas a posturas incorretas, promovendo a saúde ocupacional dos condutores. (Pheasant e Haslegrave, 2006)

Paralelamente, o volante assumiu-se como uma interface tecnológica. A sua integração com botões multifuncionais permite o controlo de funções como o sistema de áudio, chamadas telefónicas, controlo de velocidade, navegação e até comandos por voz, sem que o condutor retire as mãos da direção. Estas interfaces reduzem significativamente o risco de distrações ao eliminarem a necessidade de o condutor desviar a atenção do volante para interagir com comandos no cockpit, promovendo uma condução mais segura e focada. Esta convergência entre direção e tecnologia digital reflete-se na ideia de que o volante moderno é “uma interface multifacetada, com papel crucial na interação homem-máquina”, como defendem Lumsden e Petty (2008, p. 212).

Numa era de transição para a condução automatizada, o volante continua a ser uma peça central. Mesmo em sistemas de automação de nível 2 ou 3, é necessário que o condutor mantenha o contacto com o volante, que muitas vezes incorpora sensores de presença e atenção. Assim, mesmo nos cenários futuros de condução autónoma, o volante manterá a sua relevância como elemento de transição entre o controlo humano e o controlo automatizado.

Neste sentido, a evolução do volante acompanha as grandes tendências da indústria automóvel, afirmando-se como um componente vital não apenas para a condução, mas como elo essencial e direto da própria experiência de utilizador, conjugando segurança, conforto e inovação.

2.5.1 Medidas e ajustes ergonômicos do volante automóvel

A ergonomia aplicada ao posto de condução tem como principal objetivo garantir uma posição natural, segura e eficiente para o condutor, reduzindo o risco de fadiga, dor músculo-esquelética e acidentes. No centro deste sistema está o volante, cuja posição, altura, profundidade e inclinação devem ser ajustadas em função das características físicas e posturais do utilizador. Diversos estudos biomecânicos mostram que a má regulação do volante contribui para um aumento da tensão nos ombros, coluna e braços, afetando a capacidade de resposta e o conforto em viagens prolongadas (McFadden et al., 2000; Kamarul et al., 2023).

Distância ideal entre o volante e o tronco

A distância ideal entre o volante e o tronco do condutor assume um papel central na ergonomia automóvel e na segurança rodoviária. Do ponto de vista antropométrico, esta distância deve respeitar variações individuais relacionadas com o comprimento do braço e o percentil da população. Atentando abaixo (Tabela 1) sintetiza valores de referência para a população europeia, indicando que condutoras de percentil 5 (P5 feminino) apresentam, em média, braços de 68cm de comprimento, e necessitam de uma distância encosto-volante entre 45 e 48cm, o que resulta de um ângulo de flexão do cotovelo próximo de 95° a 105° (Pheasant & Haslegrave, 2006; ISO 7250-1:2017; DINEN, 2004). Já no percentil médio (P50), correspondente a indivíduos de estatura intermédia, o comprimento do braço ronda os 74cm, sendo a distância adequada entre 50 e 55 cm, garantindo um ângulo de flexão de 105° a 115°. Por sua vez, indivíduos de maior estatura (P95 masculino) apresentam os braços de cerca de 79cm, devendo posicionar-se a 55 a 60 cm do volante, resultando num ângulo de cotovelo mais aberto, entre 115° e 120°.

Estes valores confirmam que a ergonomia do posto de condução não deve basear-se em medidas fixas, mas sim em intervalos que contemplem as diferenças antropométricas da população. Além disso, a literatura técnica recomenda, como regra prática, que o condutor mantenha uma distância mínima de 25 a 30cm entre o peito e o volante, de modo a permitir o funcionamento seguro do airbag (CCOHS, 2021; Reed et al., 1998). Esta configuração, aliada a ângulos articulares adequados, promove simultaneamente conforto, controlo

postural e segurança ativa e passiva, constituindo um parâmetro essencial na definição da posição de condução ideal.

Tabela 1. Distância ideal entre o tronco e o volante em função dos percentis antropométricos. Fontes: Pheasant & Haslegrave (2006); ISO 7250-1:2017; DINEN (2004)

Percentil (população europeia)	Comprimento do braço (cm)	Distância recomendada encosto-volante (cm)	Ângulo do cotovelo aproximado
P5 feminino	~68	45-48	~95°- 105°
P50 médio	~74	50-55	~105°-115°
P95 masculino	~79	55-60	~115°-120°

Altura e inclinação do volante

A altura e a inclinação do volante são dois dos parâmetros mais relevantes na ergonomia da condução, pois influenciam diretamente o conforto, a eficácia do controlo do veículo e a prevenção de fadiga e lesões músculo-esqueléticas. Um volante mal posicionado pode causar tensão nos ombros, pescoço e pulsos, além de comprometer a visibilidade do painel de instrumentos e a prontidão para manobras rápidas.

Segundo Pheasant e Haslegrave (2005), o posicionamento ideal do volante deve respeitar o alcance confortável dos membros superiores, de forma a permitir a condução com os braços ligeiramente fletidos (entre 90 e 120 graus) e os ombros relaxados. Para tal, a altura e inclinação devem ser ajustadas de forma que o condutor possa:

- Manter o centro do volante alinhado com o tórax, e não com o rosto;
- Garantir uma linha de visão desobstruída para o painel de instrumentos;
- Evitar a elevação excessiva dos ombros ou a projeção do tronco para a frente;
- Segurar o volante com as mãos nas posições das "9 horas e 15 minutos" ou "10h10", com os pulsos estendidos ligeiramente e os cotovelos naturalmente afastados do corpo.

O ajuste em altura (*tilt*) permite alinhar verticalmente o volante com a estrutura corporal do condutor. Idealmente, a parte superior do volante deve situar-se entre o queixo e os ombros quando o condutor está sentado corretamente. Já o ajuste em profundidade ou inclinação (telescópico) permite ajustar a distância entre o condutor e o volante, sendo ideal que a

distância do tórax ao centro do volante esteja entre 25 a 30 cm, o que assegura um bom controle e a eficácia dos airbags em caso de colisão (Reed et al., 2002).

Em estudos realizados pela *SAE International (J287: Driver Hand-Control Reach)*, concluiu-se que a possibilidade de ajustar o volante em dois eixos (altura e profundidade) melhora significativamente a postura do condutor e reduz o risco de lesões a longo prazo. Estes parâmetros têm sido adotados pelas normas *ISO 7250-1:2017*, que definem os principais pontos antropométricos de referência para o design de habitáculos.

Além disso, Reed et al. (1999), com base em testes biomecânicos e simulações posturais, verificaram que o ajuste fino do volante pode reduzir em até 25% o esforço muscular nos ombros e melhorar a capacidade de resposta em situações de emergência.



Figura 30. Inclinação recomendada do volante para diferentes estaturas. Fonte: PMC, (2012).

Ajuste em profundidade (Telescópico)

O ajuste em profundidade, também conhecido como ajuste telescópico, permite ao condutor aproximar ou afastar o volante do seu corpo, proporcionando uma adaptação mais precisa à sua morfologia e estilo de condução. Este tipo de ajuste, quando combinado com a regulação em altura, contribui para uma postura de condução otimizada, reduzindo o risco de fadiga, desconforto e lesões oste musculares.

Benefícios ergonômicos

Segundo Pheasant e Haslegrave (2005), a distância ideal entre o tórax do condutor e o centro do volante deve situar-se entre 250 mm e 300 mm. Esta margem garante não só um alcance confortável dos braços (ligeiramente fletidos), como também uma distância segura para o acionamento do airbag frontal, que pode provocar ferimentos graves se o condutor estiver demasiado próximo. (Pheasant e Haslegrave, 2005) Um volante demasiado perto obriga a uma flexão exagerada dos cotovelos, o que aumenta a carga nos músculos do ombro e pode interferir com o controlo fino da direção. Por outro lado, um volante demasiado afastado exige extensão excessiva dos braços, o que reduz a força aplicada e provoca sobrecarga nos músculos do pescoço e zona lombar, especialmente em viagens longas.

Estudo ergonómico

Num estudo biomecânico conduzido por Reed, Manary e Schneider (2002) para a *SAE International*, foi demonstrado que o ajuste telescópico permite uma redução média de 22% da carga nos músculos do trapézio e melhora a eficiência do tempo de reação em manobras súbitas, como mudanças rápidas de faixa ou travagens de emergência. O estudo também sublinha que o ajuste em profundidade favorece o posicionamento simultâneo do volante, pedais e encosto de cabeça, contribuindo para uma distribuição postural equilibrada e aumentando o campo visual frontal e lateral.

Normas de referência

As normas *ISO 7250-1:2017* e *SAE J1100* definem as dimensões de referência para o design do habitáculo automóvel, incluindo a posição do “*H-point*” (ponto de articulação da anca) e a amplitude do ajuste do volante. Os fabricantes mais avançados oferecem ajustes telescópicos com alcance entre 40 e 70 mm, o que permite acomodar condutores desde o 5.º até ao 95.º percentil de estatura (Homem/Mulher).

Tabela 2. Exemplo de Tabela de Ajustes Recomendados (com base no percentil). Elaborado pela investigadora.

Percentil do Condutor	Distância ideal do Tórax ao volante (mm)	Alcance recomendado do volante (ajuste telescópico)
5% (Pessoa de Estatura Baixa)	250 mm	40-50 mm de recuo
50% (Estatura Média)	270 mm	50-60 mm
95% (Pessoa Alta)	290-300 mm	60-70 mm de extensão

Posição das mãos e diâmetro do volante

A ergonomia na condução enfatiza a correta postura das mãos no volante para minimização de lesões causadas por airbags e otimização do controlo. Um estudo clássico conduzido por Atkinson et al. (2002) demonstra que a posição com a palma virada para cima e o antebraço sobre o módulo do airbag (“*under-hand-grasp*”) aumenta significativamente o risco de fraturas no antebraço durante a ativação do airbag. Por oposição, posições como 9 e 3 horas reduzem tais riscos e permitem controlo simultâneo com ambas as mãos.

Hartley (2016), da Keele University, observou condutores no Reino Unido e concluiu que apenas cerca de 25 % utilizavam efetivamente as mãos em 9 e 3, a maioria conduzia com apenas uma mão, sobretudo perante condições de conforto ou baixa perceção de risco (Harley, 2016). Walton e Thomas (2005/2011) reforçam que a adoção das posições recomendadas relacionam-se com velocidades mais baixas e hábitos de condução mais seguros (Walton e Thomas, 2005, 2011).

Estudos ergonómicos de design de volante, como o desenvolvimento de Takeuchi et al. (2000) publicado pela *SAE*, analisam o movimento do polegar e as zonas de contacto em redor dos botões no volante. Concluem que a área superior permite maior amplitude de movimento do polegar, orientando o design dos comandos para uma posição natural de alcance, compatível com a posição 9-3.

Relativamente ao diâmetro e espessura do aro, relatórios técnicos apontam que volantes com diâmetro entre 355 mm e 405 mm (14–16 polegadas) e espessura de 29 a 36 mm produzem melhor preensão e controlo, sem aumentar o esforço muscular nem causar fadiga em

conduções prolongadas. Um estudo clínico de Mossey et al. (2014), com análise de quatro modelos de volante examinados com amostras de condutores da geração Y e “*baby boomers*”, realça que as preferências variam e a adaptação antropométrica influencia a escolha, mas que a maioria considera superior um diâmetro que permita mobilidade do braço com esforço moderado.

Na conferência *MATEC* (2018), conduzido por Amortila et al., foi debatido o tema que sugere que a posição ideal das mãos no volante corresponde a coordenadas em 0° e 180° no círculo trigonométrico, equivalentes às posições 3 e 9 horas, associadas a zonas de contacto térmico mais estáveis e confortáveis.

Tabela 3. Referências para posicionamento das mãos e diâmetro do volante. Elaborado pela investigadora.

Parâmetro	Faixa Recomendada	Justificação Ergonómica
Diâmetro	355mm a 405 mm	Melhora alavancagem e controlo, evita fadiga
Espessura do aro	25mm a 38mm	Permite preensão estável sem esforço excessivo — conforto prolongado
Referência complementar em ergonomia industrial	380mm a 440mm e 19mm a 35mm	Estudo aplicado à ergonomia de operação manual (trator) com recomendações transferíveis

2.5.2. Conclusão geral sobre a ergonomia do volante

A análise ergonómica do volante revela a importância de uma abordagem multidisciplinar que integra conhecimentos de antropometria, biomecânica, fisiologia do esforço e engenharia de produto. O volante constitui a principal interface física entre o condutor e o veículo, sendo responsável não apenas pela direção do automóvel, mas também por proporcionar feedback tátil e garantir segurança e controlo em todas as condições de condução.

A posição das mãos, tradicionalmente recomendada nas posições das “9h15” ou “10h10”, deve respeitar princípios biomecânicos que favoreçam uma postura neutra dos membros superiores, minimizando a fadiga muscular e maximizando a capacidade de resposta em

situações críticas. Estas posições permitem um controlo simétrico do volante, melhor distribuição da força de torção e maior eficácia no acionamento de sistemas complementares, como piscas e comandos integrados (Mossey et al., 2014).

Relativamente às características geométricas do volante, os estudos demonstram que diâmetros compreendidos entre 355 mm e 405 mm, aliados a espessuras de aro entre 29 mm e 36 mm, oferecem um compromisso ideal entre conforto, preensão eficaz e controlo mecânico, sendo adequados à maioria da população adulta (Pheasant & Haslegrave, 2006; Ekşioğlu & Kızılaslan, 2008). Volantes com dimensões fora desses intervalos tendem a provocar desconforto, esforço muscular excessivo ou instabilidade no manuseamento.

A aplicação de dados antropométricos fiáveis permite conceber volantes adaptados à variabilidade do utilizador, tendo em conta as diferenças associadas ao sexo, estatura e percentis extremos. O respeito por estes dados é fundamental para garantir acessibilidade universal e reduzir desigualdades ergonómicas no interior do habitáculo.

Em síntese, um volante ergonomicamente bem concebido resulta da conjugação criteriosa de múltiplos fatores: localização espacial correta, dimensões adaptadas à mão humana, preensão confortável e posição funcional das mãos. Estes elementos, sustentados por evidência científica e técnica, contribuem para melhorar a segurança rodoviária, a eficiência na condução e o bem-estar do condutor ao longo do tempo. A ergonomia do volante não é, assim, um pormenor de design, mas uma componente crítica da interação homem-máquina que deve ser cuidadosamente estudada e aplicada.

Importa realçar que a evolução tecnológica dos volantes, com a introdução de sistemas multifunções, feedback háptico e assistências automatizadas, impõe novos desafios ao design ergonómico. O futuro do volante exige uma atenção redobrada à personalização e adaptabilidade, garantindo que os princípios fundamentais da ergonomia não se percam face à inovação. Só com base em conhecimento científico rigoroso será possível conceber soluções centradas no utilizador, que respeitem as capacidades físicas humanas e potenciem a segurança em contextos de condução cada vez mais complexos.

2.6. Componentes e materiais constituintes do volante automóvel

O volante automóvel é uma peça fundamental do sistema de direção, e a sua composição resulta da combinação de componentes mecânicos, eletrónicos e materiais ergonómicos cuidadosamente selecionados. A conceção de um volante moderno integra critérios de segurança, funcionalidade, conforto e estética.

Estrutura Interna (Núcleo Metálico): A estrutura base do volante é geralmente constituída por uma armação metálica que confere rigidez e resistência mecânica. Esta estrutura forma o esqueleto do volante, suportando as forças aplicadas durante a condução e os impactos em caso de acidente. Os materiais mais comuns incluem:

- **Aço de baixo carbono:** pela sua elevada resistência e baixo custo;
- **Ligas de alumínio:** devido à sua leveza e boa resistência à corrosão;
- **Magnésio:** utilizado em aplicações de alta performance pela sua leveza extrema (Takeuchi et al., 2000).

Espuma de Poliuretano: Sobre o núcleo metálico é aplicada uma camada de espuma de poliuretano moldada por injeção, que atua como almofada entre a estrutura e o revestimento. Esta camada melhora o conforto, proporciona absorção de vibrações e contribui para a segurança passiva (Pheasant & Haslegrave, 2006).

Revestimento Externo: O revestimento externo tem funções ergonómicas e estéticas. Os materiais mais comuns incluem:

- **Couro natural:** durável, confortável e associado a modelos de gama alta;
- **Couro sintético (PU/PVC):** mais económico e fácil de limpar;
- **Borracha termoplástica:** utilizada em veículos comerciais e económicos;
- **Materiais têxteis ou Alcântara:** para modelos desportivos, pelo elevado atrito ao toque (Ekşioğlu & Kızılaslan, 2008).

Raios (*Spokes*): Os raios conectam o aro ao centro (*hub*). Podem ser 2 a 4, e além da função estrutural, alojam:

- Cabos de ligação elétrica;
- Botões de comando (rádio, telefone, *cruise control*);

- Pás para mudança de velocidade (em veículos automáticos) (Mossey et al., 2014).

Placa Central (*Hub*): O *hub* ou centro do volante é a parte que o liga à coluna de direção. Este componente é fabricado em aço ou alumínio reforçado, com tratamentos térmicos que permitem deformação controlada em caso de colisão (ISO 26262, 2018). Inclui:

- Módulo do airbag;
- Mecanismos pirotécnicos de ativação;
- Conectores de cablagem;
- Sistema de retorno automático após viragem;

Módulo do *Airbag*: O volante inclui um sistema de airbag frontal, este sistema está diretamente ligado à unidade de controlo do veículo e deve ativar-se em milissegundos no caso de colisão frontal. É composto por:

- Saco de airbag dobrado;
- Gerador de gás pirotécnico;
- Sensor de impacto e controlo eletrónico.

Circuitos Eletrónicos e Botões: Os volantes modernos incluem:

- Botões multifunções;
- Sensores capacitivos (detecção de toque);
- Sensores de binário ou resistência (em veículos com assistência elétrica adaptativa);
- Comandos de aquecimento (volantes aquecidos);
- Feedback háptico, em modelos avançados.

Estes elementos requerem circuitos impressos flexíveis e cablagem interna de alta fiabilidade (Mossey et al., 2014).

Sistema de Ajuste: O volante é fixado a uma coluna telescópica com sistema de:

- Inclinação vertical (*tilt*);
- Extensão horizontal (telescópica).

Permite ajustes à estatura e postura do condutor, sendo essencial para garantir conforto e segurança ergonómica (ISO 7250-1, 2017).

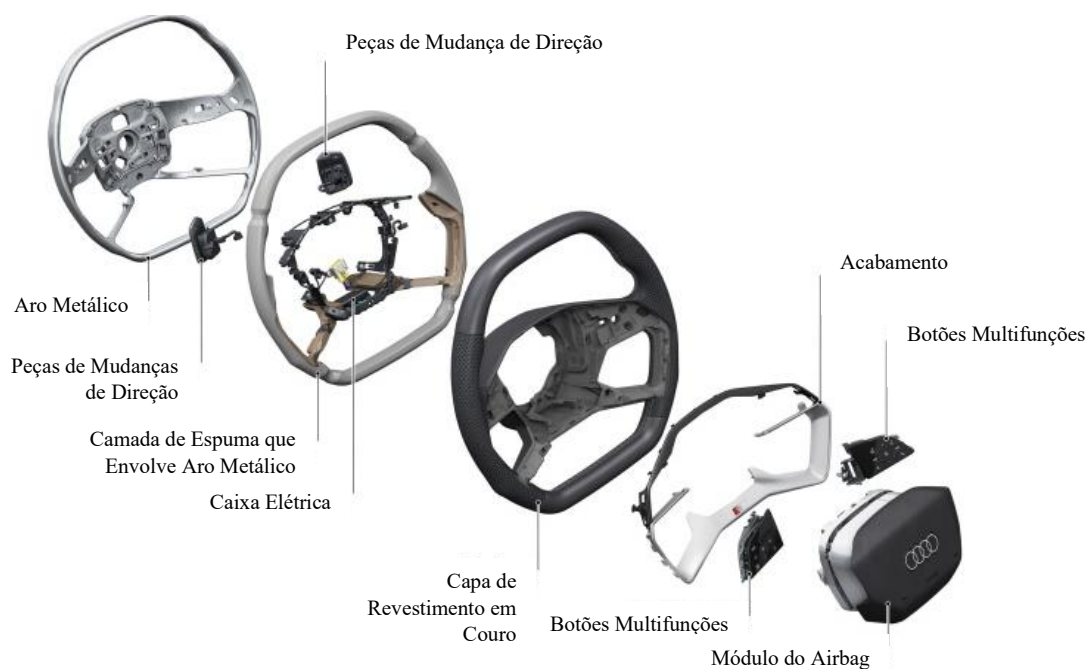


Figura 31. Constituintes de um volante. Fonte: Site Audi/4Legend (2021).

2.7. Simuladores de condução

Os simuladores de condução constituem uma ferramenta tecnológica sofisticada que visa replicar, com elevado grau de realismo, a experiência de condução de um veículo em ambiente controlado. Estes sistemas combinam componentes físicos e digitais, como volante, pedais, ecrãs panorâmicos e software de simulação, permitindo ao utilizador interagir com um ambiente virtual que simula fielmente a dinâmica de um veículo em movimento, bem como as condições do meio envolvente.

Concebidos inicialmente para fins de formação e treino de condutores, os simuladores evoluíram significativamente e tornaram-se indispensáveis em diversas áreas, como a investigação científica (nomeadamente nas ciências cognitivas e na ergonomia), o desenvolvimento de veículos e sistemas avançados de assistência à condução, a engenharia automóvel, a avaliação de comportamentos humanos, e inclusive o entretenimento digital.

Uma das grandes vantagens dos simuladores de condução é a possibilidade de expor os utilizadores a situações de risco, como travagens de emergência, condições meteorológicas adversas ou falhas técnicas, sem os perigos físicos associados à condução real. Para além disso, permitem recolher uma grande quantidade de dados objetivos e quantitativos, como tempos de reação, trajetórias, padrões de atenção e utilização dos controlos, que são

essenciais para estudos de ergonomia e segurança viária (Kaptein, Theeuwes, & Van der Horst, 1996).

Existem diferentes níveis de fidelidade em simuladores, desde plataformas simples utilizadas em escolas de condução até simuladores de alta precisão com cabines completas e sistemas de movimento em seis eixos (*6DOF*), utilizados por fabricantes automóveis e centros de investigação. A sua eficácia, no entanto, depende fortemente da qualidade do feedback visual, auditivo e, idealmente, cinestésico, uma vez que a perceção do realismo influencia diretamente a imersão e o comportamento do condutor simulado (Rizzo et al., 2004).

A introdução dos simuladores no domínio da ergonomia automóvel revelou-se particularmente valiosa para avaliar, de forma sistemática e repetível, variáveis como a posição do volante, configuração do posto de condução, disposição dos comandos, nível de conforto físico e visual e respostas neuro motoras.

Desta forma, os simuladores tornaram-se uma ferramenta essencial não só para formar condutores mais seguros, mas também para desenhar veículos mais ergonómicos e adaptados às capacidades humanas.

2.7.1. História e antecedentes dos simuladores de condução

Na indústria contemporânea, existem vários tipos de simuladores capazes de replicar uma infinidade de situações. Contudo, a aviação foi o primeiro setor a reconhecer a importância desses dispositivos devido à margem extremamente reduzida para erros.

A necessidade de reduzir falhas cometidas por pilotos surgiu diante das graves consequências dos acidentes, que normalmente comprometem tanto os equipamentos quanto a integridade física dos tripulantes, além de ocasionarem prejuízos financeiros significativos para as empresas aéreas e afetarem o valor das suas ações no mercado.

Nos primórdios da aviação, a falta de experiência dos engenheiros de projeto e dos próprios pilotos resultou numa série de acidentes. Para mitigar esse problema, alguns fabricantes independentes começaram a desenvolver dispositivos de treino, consistindo em aviões fixos ao solo com o propósito de familiarizar os pilotos com a operação das aeronaves. Apesar do

avanço, estes dispositivos não apresentavam todas as características dos simuladores modernos.

Um marco importante nesta trajetória foi o primeiro voo do avião Antoinette em 1909, uma das primeiras aeronaves leves e relativamente estáveis, projetada por Léon Levavasseur e pilotada por vários pioneiros da aviação. Este avião representou um avanço significativo na tecnologia de voo, mas a aviação ainda enfrentava grandes desafios, sobretudo pela falta de métodos adequados para o treino dos pilotos (Anderson, 2019).

Em 1910, surgiu o “*Barril de Aprendizagem Antoniette*”, um dos primeiros dispositivos considerados um simulador primitivo. Projetado para familiarizar os pilotos com as sensações de voo e as dificuldades do controle da aeronave, este equipamento mecânico simulava rotações e mudanças de orientação, ajudando os pilotos a desenvolver a percepção espacial e a resposta a movimentos inesperados. Embora rudimentar, o *Barril de Aprendizagem* foi fundamental para mostrar que o treino simulado poderia melhorar a formação dos pilotos e reduzir os riscos associados ao voo real (Jones & Smith, 2019).



Figura 32. Primeiro simulador de voo ou *barril de aprendizagem* Antoniette. Fonte: Site Lintott (s.d.)

Nas décadas seguintes, o desenvolvimento da aviação acelerou, mas os acidentes continuavam a ser frequentes devido à inexperiência e à complexidade dos sistemas de voo. Foi então que, na década de 1920, o engenheiro Edward Link desenvolveu o primeiro simulador de voo motorizado, conhecido como “*Link Trainer*”. Este equipamento, apelidado de “*máquina de voar*” ou “*caixa azul*”, era um simulador eletromecânico que reproduzia os comandos de voo e as respostas da aeronave de forma mais realista do que qualquer equipamento anterior (Brett, 2017).

O *Link Trainer* incluía um cockpit fechado que podia inclinar-se e girar, permitindo aos pilotos treinar navegação, voo em condições meteorológicas adversas e procedimentos de emergência num ambiente seguro. Durante a Segunda Guerra Mundial, este simulador foi amplamente utilizado pelas forças aéreas dos Estados Unidos e aliados, tendo comprovado a sua eficácia na redução de acidentes e no aumento da preparação dos pilotos (Smith, 2020).

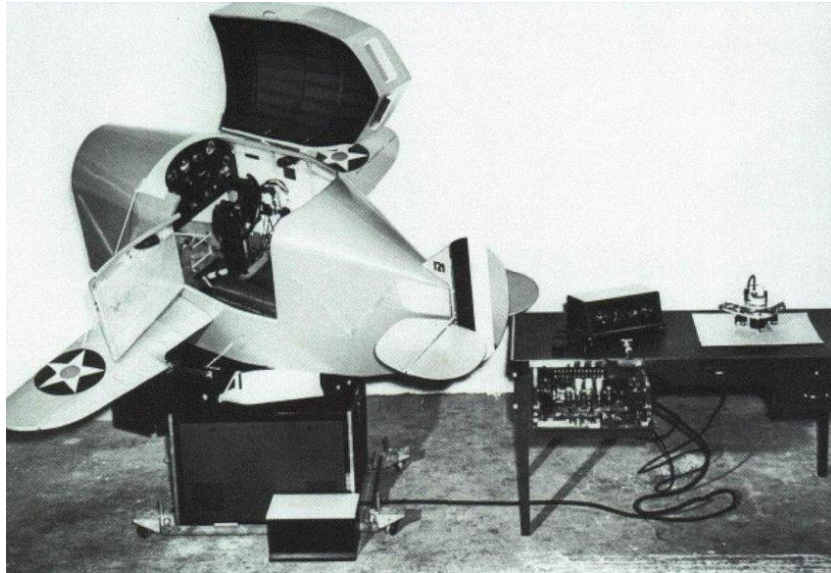


Figura 33. O projeto de *Link Trainer*. Fonte: PressReader (s.d.).

Inspirados pelos benefícios observados na aviação, os simuladores começaram a ser adaptados para outras áreas, especialmente na formação de condutores de veículos terrestres (European Transport Safety Council, 2018). Durante as décadas de 1960 e 1970, fabricantes automóveis e institutos de investigação, como o *Swedish Road and Traffic Research Institute* ou a Volkswagen, desenvolveram simuladores com até três graus de liberdade (3 *DOF*) e primeiros ecrãs gerados por computador (Bruck et al., 2021). O primeiro simulador especificamente concebido para fins de formação de condutores civis surgiu nos Estados Unidos, na década de 1950, com o sistema *Drivotrainer*, desenvolvido pela empresa *Aetna Insurance Company*. (Allen, Rosenthal, & Cook, 2011).

O sistema consistia numa sala equipada com diversos postos de simulação, cada um composto por um conjunto realista de comandos como o volante, os pedais, a caixa de velocidades e o painel de instrumentos, todos eles integrados num banco semelhante ao de um automóvel. Os alunos acompanhavam, numa tela de projeção central, filmes gravados em primeira pessoa, que apresentavam situações de tráfego urbano e rodoviário. A resposta dos alunos era monitorizada por um sistema de avaliação central, permitindo ao instrutor acompanhar o desempenho individual de cada utilizador em tempo real.



Figura 34. *The Drivotrainer*. Fonte: Site Peek (2018).

Este método permitia a formação simultânea de várias pessoas, com custos reduzidos, em ambientes realistas, mas sem risco físico, promovendo a aquisição de competências como a antecipação de perigos, interpretação de sinais e tomada de decisão sob pressão. A evolução tecnológica das décadas de 1980 e 1990 trouxe um aumento significativo na fidelidade visual e física dos simuladores. Instituições como a *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)*, nos EUA, investiram em sistemas de alta complexidade, como o *National Advanced Driving Simulator (NADS)*, lançado em 2001, que permitia simular múltiplas condições meteorológicas, tipos de vias, e comportamentos de tráfego com grande precisão (Cater et al., 2004). Nos dias de hoje é praticamente impossível que alguma tarefa envolvendo vidas ou grande desprendimento de capital não sejam testadas digitalmente com programas de simulação, ou fisicamente (simulação através de corpos de prova), devido alta complexidade das indústrias, interligação dos sistemas e exigências de segurança.



Figura 35. Simulador de condução na atualidade. Fonte: Site DriveSim Simulator (s.d.).



Figura 36. Simulador profissional. Fonte: Site Revista dos Pneus (2023)

2.7.2. Contexto da inserção da educação rodoviária e simuladores em escolas de condução

A Educação Rodoviária (ER) surge como uma resposta à crescente necessidade de formar condutores mais conscientes e responsáveis, de forma a reduzir os acidentes rodoviários e melhorar a segurança nas estradas. A sua inserção formal nas escolas de condução iniciou-se na segunda metade do século XX, no contexto de um aumento exponencial do número de veículos automóveis e da consequente complexidade do trânsito urbano e interurbano (Pereira, 2017).

Em Portugal, o ensino da Educação Rodoviária começou a ganhar maior relevância nas décadas de 1960 e 1970, acompanhando uma tendência europeia que reconhecia que a formação teórica e prática dos condutores devia ir além da simples condução, incluindo aspetos sobre a responsabilidade social, regras de circulação e prevenção de acidentes (Silva & Almeida, 2015). Esta evolução foi influenciada por estudos internacionais que indicavam que uma formação mais abrangente poderia contribuir significativamente para a redução das sinistralidades (*European Transport Safety Council*, 2010).

O Decreto-Lei n.º 138/2006, que regulamenta a formação e exames para a obtenção da carta de condução em Portugal, estabelece que a formação inicial deve incluir conteúdos de educação rodoviária, com ênfase na aquisição de conhecimentos sobre normas, comportamentos seguros e primeiros socorros, reforçando a importância desta disciplina no processo formativo (Instituto da Mobilidade e dos Transportes, 2006).

De acordo com Costa e Martins (2019), a integração da educação rodoviária nas escolas de condução representa um marco na promoção de uma cultura de segurança rodoviária, essencial para a diminuição do número de acidentes e para a sensibilização dos futuros condutores relativamente aos riscos associados à condução (Costa & Martins, 2019). A inserção dos simuladores em escolas de condução começou a ser sistematizada a partir da década de 1990, sobretudo em países como o Canadá, a Suécia, a Noruega e os Países Baixos.

No Québec, estudos conduzidos pelo *SAAQ* demonstraram que a utilização de simuladores como complemento à formação prática pode substituir até 50 % das horas de condução real sem comprometer o desempenho nos exames finais (Hirsch et al., 2016). De igual forma,

estudos longitudinais realizados na Universidade da Califórnia demonstraram que condutores treinados em simuladores apresentavam menor propensão a acidentes nos primeiros meses de condução (Fisher et al., 2002).

A crescente integração dos simuladores deve-se não apenas à sua eficácia pedagógica, mas também à possibilidade de expor os alunos a situações de risco sem perigos reais. Este aspeto torna-os especialmente úteis para treinar resposta a emergências, condução em condições adversas e tomada de decisão sob stress (Kaptein et al., 1996). A utilização de simuladores é particularmente útil para o treino de competências básicas, como a coordenação motora, o reconhecimento de sinais e regras, bem como para a prática de manobras complexas ou situações de risco que seriam difíceis ou perigosas de reproduzir numa aula prática convencional.

Além disso, os simuladores contribuem para reduzir o custo e o impacto ambiental associado à formação, uma vez que não consomem combustível nem provocam desgaste mecânico nos veículos. Permitem também a repetição de exercícios específicos quantas vezes forem necessárias, o que facilita a aprendizagem progressiva e a correção de erros de forma imediata. Estudos indicam que a prática em simuladores pode melhorar a perceção do risco e a tomada de decisão dos futuros condutores, tornando-os mais preparados para responder adequadamente a situações imprevistas (Carvalho & Sousa, 2020).

Apesar de não substituírem completamente as aulas práticas em veículos reais, os simuladores são reconhecidos como um recurso pedagógico eficaz que contribui para uma formação mais segura, eficiente e abrangente. A sua utilização está alinhada com as recomendações internacionais para a melhoria da educação rodoviária, promovendo uma cultura de condução preventiva desde as fases iniciais do ensino (European Transport Safety Council, 2018).



Figura 37. Simulador de condução em contexto pedagógico em Portugal. Fonte: ACP

Embora os simuladores de condução ofereçam inúmeras vantagens na formação de condutores, apresentam também algumas limitações e desvantagens que devem ser consideradas. Em primeiro lugar, os simuladores não conseguem reproduzir completamente as sensações físicas e emocionais da condução real, como o movimento do veículo, as vibrações da estrada ou o impacto do ambiente exterior, o que pode afetar a transferência total das competências para a condução prática (Martins & Lopes, 2019).

Outra limitação prende-se com o facto de alguns condutores, especialmente os menos familiarizados com tecnologias digitais, poderem sentir desconforto ou náuseas durante o uso dos simuladores, fenómeno conhecido como “*cinetose virtual*” (Silva et al., 2021). Além disso, o custo inicial de aquisição e manutenção destes equipamentos pode ser elevado para algumas escolas de condução, limitando a sua disponibilidade e uso generalizado. Por fim, apesar de os simuladores poderem replicar várias situações de risco, a ausência de consequências reais durante a simulação pode levar a um comportamento menos cauteloso por parte dos formandos, diminuindo a perceção do perigo em algumas circunstâncias (Carvalho & Sousa, 2020).

Assim, os simuladores devem ser sempre complementados com formação prática real, garantindo que o futuro condutor adquira uma experiência completa e adequada a contextos reais. Em conclusão, apesar destas desvantagens, as vantagens dos simuladores de condução superam largamente os seus inconvenientes. Os simuladores proporcionam um ambiente seguro, controlado e economicamente eficiente para o treino de condutores, permitindo-lhes praticar e corrigir erros sem riscos reais. A sua utilização está alinhada com as recomendações internacionais para a melhoria da segurança rodoviária, e é cada vez mais reconhecida como uma ferramenta indispensável na formação moderna de condutores (European Transport Safety Council, 2018; Pereira & Gomes, 2020). Portanto, os simuladores constituem um investimento valioso para as escolas de condução, contribuindo para a redução da sinistralidade e para a promoção de comportamentos mais seguros no trânsito.

2.8. Volantes simuladores de condução: diferenças e semelhanças com automóveis reais

Os volantes utilizados nos simuladores de condução são elementos cruciais para garantir a imersão e a eficácia do treino dos futuros condutores. Em termos de design, procuram reproduzir as características dos volantes dos veículos reais, incluindo o formato, tamanho, materiais e disposição dos botões ou comandos, de forma a criar uma experiência o mais realista possível (Martins & Ribeiro, 2021).

Contudo, apesar destes esforços, existem diferenças significativas entre os volantes dos simuladores e os dos automóveis convencionais. Uma das principais limitações é a ausência do feedback tátil completo, conhecido como “feedback de força” (*force feedback*), que em veículos reais informa o condutor sobre as condições da estrada, o atrito dos pneus e a resposta do veículo a manobras. Nos simuladores, embora alguns modelos avancem na simulação deste feedback, a sensação ainda é menos precisa e menos sensorialmente completa, o que pode influenciar a perceção do condutor sobre a dinâmica do veículo (Silva et al., 2020).

Outra diferença está relacionada com o sistema de fixação e a resistência do volante. Nos automóveis reais, o volante está ligado diretamente à direção e ao sistema de assistência hidráulica ou elétrica, oferecendo uma resistência variável conforme a velocidade e as condições da estrada. Nos simuladores, essa resistência é simulada por motores e mecanismos eletrónicos, que, apesar de sofisticados, não conseguem replicar perfeitamente a variabilidade e a sensação natural do volante real (Carvalho & Sousa, 2020).

Por outro lado, há semelhanças importantes que garantem a utilidade pedagógica dos volantes dos simuladores. O tamanho e o posicionamento do volante, bem como a resposta aos comandos básicos de direção, são cuidadosamente desenhados para corresponder às normas e modelos automóveis usados na formação, facilitando a transferência das competências adquiridas no simulador para a condução real (Pereira & Gomes, 2022). Em suma, embora os volantes dos simuladores não reproduzam na totalidade a experiência física do volante dos veículos reais, apresentam uma aproximação suficiente para proporcionar uma formação eficaz e segura, especialmente em fases iniciais do ensino da condução (*European Transport Safety Council*, 2018).

2.8.1 Volante automóvel vs. volante simulador

O desenvolvimento tecnológico e a evolução contínua da ergonomia têm influenciado significativamente o design dos volantes, tanto nos veículos automóveis reais como nos simuladores de condução. Compreender as características distintivas e as especificidades destes dois contextos é fundamental para estabelecer critérios que melhorem a experiência do utilizador, especialmente em cenários pedagógicos. A análise que se segue pretende explorar uma visão detalhada dos elementos constituintes dos volantes utilizados em veículos automóveis comparativamente aos utilizados em simuladores, evidenciando as particularidades de cada categoria e identificando pontos de interseção, que possam beneficiar a conceção de um volante simulador orientado à experiência do utilizador.

2.8.1.1. Análise dos volantes automóveis

Tabela 4. Esquema comparativo de modelos de volantes automóveis. Elaborado pela investigadora

						
MARCA MODELO	LEXUS RZ 450e	PORSCHE 911 GT3 RS (992)	FERRARI SF90 STRADALE	LAMBORGHINI URUS	FERRARI 250 GT SWB	CITROËN DS
ANO	2025	2022 - PRESENTE	2019	2018 - PRESENTE	1959 - 1962	1955 - 1975
TIPO DE VEÍCULO	SUV TOTALMENTE ELÉTRICO	COUPÉ DESPORTIVO, TRACK-READY	SUPER DESPORTIVO HÍBRIDO PLUG-IN (PHEV)	SUPER-SUV, COM PLATAFORMA MLB EVO	COUPÉ GRAND TOURER (GT)	BERLINA DE LUXO, INOVAÇÃO TÉCNICA E AERODINÂMICA
TIPO DE VOLANTE	YOKE (FORMATO BORBOLETA, SEM ARO SUPERIOR), MULTIFUNÇÕES	DESPORTIVO DE TRÊS RAIOS	DESPORTIVO DE TRÊS RAIOS	DESPORTIVO DE TRÊS RAIOS	CLÁSSICO DE TRÊS RAIOS	RAIO ÚNICO (MONOBRAÇO)
DIÂMETRO FORMATO	LARGURA APROX. 370MM ROTAÇÃO A 300° (LOCK-TO-LOCK)	≈372MM, CIRCULAR, LIGEIRAMENTE ACHATADO	BASE RETA (FLAT-BOTTOM), INSPIRAÇÃO FI	≈376MM, ERGONÓMICO, BASE ACHATADA (FLAT-BOTTOM)	≈380MM, REDONDO TRADICIONAL, ARO FINO	≈400MM, REDONDO TRADICIONAL, ARO FINO
MATERIAIS E ACABAMENTO	COURO GENUÍNO (OPCIONAL ACABAMENTO TÉCNICO LEXUS)	ALCÂNTARA, COSTURA E MARCAÇÃO ÀS 12H EM VERDE	PELE NATURAL, INSERÇÕES EM FIBRA DE CARBONO	COURO GENUÍNO, FIBRA DE CARBONO, ALCÂNTARA	MADEIRA POLIDA (NOGUEIRA / FAIA TRATADA), ALUMÍNIO FUNDIDO	METAL REVESTIDO A PLÁSTICO RÍGIDO OU MATERIAL SINTÉTICO
SISTEMA COMANDOS INTEGRADOS	COMANDOS TÁTEIS PARA ÁUDIO, MODOS DE CONDUÇÃO	BOTÃO DRS, BOTÃO ROTATIVO (MODO DE CONDUÇÃO), PADDLE PLK	MANETTINO, eMANETTINO, TOUCHPAD TÁTIL, VOZ, CRUISE, LUZES, LIMPA-PARABRISAS	COMANDOS MULTIMÉDIA, SELEÇÃO ANIMA (MODO DE CONDUÇÃO)	NÃO POSSUI COMANDOS, APENAS BUZINA CENTRAL MECÂNICA	NÃO POSSUI COMANDOS, APENAS BUZINA CENTRAL MECÂNICA
ERGONOMIA E TECNOLOGIA - CHAVE	ROTAÇÃO LIMITADA A 300° COMANDOS ACESSÍVEIS AOS POLEGARES	AJUSTE AXIAL/VERTICAL ATÉ 40MM, ADAPTAÇÃO AO CONDUTOR	CONTROLO TOTAL NO VOLANTE ZONAS TÁTEIS COM FEEDBACK HÁPTICO	AJUSTE ELÉTRICO (ALTURA, PROFUND.), AQUECIMENTO INTEGRAÇÃO HMI	DESIGN LEVE E DIRETO, DIREÇÃO MECÂNICA (ZF, WORM AND PEG)	DESIGN ASSIMÉTRICO, FÁCIL ACESSO AO COMANDO DA SUSPENSÃO
NORMAS E REGULAMENTAÇÕES	REGULAMENTAÇÃO (UNECE/ONU), ISO TS 16949	UN-ECE R12, R79, R114, ISO 2575	HOMOLOGADO UE, INTERFACE DERIVADA DA FI	REGULAMENTAÇÃO (UNECE/ONU), ISO TS 16949	PRÉ REGULAMENTAÇÃO FIA MODERNA, SEM AIRBAGS, SEM HOMOLOGAÇÃO	DESENVOLVIDO ANTES DA REGULAMENTAÇÃO

A análise dos volantes automóveis engloba modelos que vão desde desportivos contemporâneos até veículos clássicos de luxo. Observa-se que a estrutura destes volantes varia substancialmente em termos de diâmetro, formato, materiais utilizados e funcionalidades integradas.

Por exemplo, volantes como o *Porsche 911 GT3 RS* (2022- presente) e *Ferrari SF90 Stradale* (2019) apresentam um formato desportivo de três raios com diâmetros aproximados entre 370 e 372mm, e materiais de acabamento sofisticado como alcântara e fibra de carbono. Além disso, destacam-se pelo elevado nível de integração tecnológica, incluindo comandos multifunções no volante, ajuste axial e vertical, e sistemas avançados como botões rotativos

e feedback háptico. O volante do *Lamborghini Urus* (2018 – presente) é também um exemplo notável, caracterizando-se pelo formato ergonómico e base achatada com diâmetro aproximadamente 376mm. Destaca-se pela utilização de materiais premium como couro genuíno, fibra de carbono e alcântara, e pela integração de comandos multimédia e modos de condução adaptativos ao condutor. Por outro lado, o volante do *Lexus RZ 450e* (2025), com formato *Yoke* semelhante a uma borboleta e largura aproximada de 370mm, apresenta comandos táteis acessíveis aos polegares, enfatizando a integração tecnológica e a limitação na rotação até 300°, proporcionando uma experiência de condução diferenciada e intuitiva.

Já veículos clássicos, tais como o *Ferrari 250 GT SWB* (1959-1962) ou *Citroën DS* (1955-1975), exibem volantes mais simples, com formatos redondos tradicionais e diâmetros superiores (aproximadamente 380-400mm), utilizando materiais como a madeira tratada e metal revestido. Estes volantes são desprovidos de comandos tecnológicos avançados, focando-se essencialmente na ergonomia básica e elegância visual.

2.8.1.2. Análise dos volantes simuladores

Tabela 5. Esquema comparativo de modelos de volantes simuladores. Elaborado pela investigadora.

						
MARCA	MOZA RACING	FANATEC	HORI	SIMAGIC	THRUSTMASTER	LOGITECH
MODELO	FSR HIGH-END FORMULA WHEEL	CSL DD QR2 READY2RACE BUNDLE (5 NM)	APEX WIRELESS RACING WHEEL (PS5/PS4/PC)	ALPHA MINI (BASE DIRECT DRIVE) + GT 1 D-SHAPE WHEEL	T-GT II	G923 TRUEFORCE RACING WHEEL
ANO	2024	2023	2023	2021 - 2022	2021	2020
TIPO DE EQUIPAMENTO	SIMULADOR ESTILO FÓRMULA 1, SEM BASE INCLuíDA	SIMULADOR C/ BASE DIRECT DRIVE, BUNDLE COMPLETO (VOLANTE, BASE, PEDAIS)	SIMULADOR SEM FIOS, COM PEDAIS INCLUIDOS	SIMULADOR COM BASE DIRECT DRIVE (10 NM)	SIMULADOR COM BASE BELT-DRIVEN E BUNDLE (VOLANTE, BASE, PEDAIS)	SIMULADOR COM FORCE FEEDBACK + PEDAIS INCLUIDOS
TIPO DE VOLANTE	CONCEBIDO PARA MONOLUGARES VIRTUAIS EM ALTA PERFORMANCE	CIRCULAR MULTIFUNÇÕES CSL P1 V2 (300MM) C/ QUICK RELEASE 2 (QR 2 LITE)	MULTIFUNÇÕES, SEM FORCE FEEDBACK	ESTILO GT, MULTIFUNÇÕES	CIRCULAR MULTIFUNÇÕES, LICENCIADO PARA GRAN TURISMO	CIRCULAR MULTIFUNÇÕES, COM FAIXA LED DE ROTAÇÕES
DIÂMETRO FORMATO	FORMUTO COMPACTO RETANGULAR	≈300MM, REDONDO, COM PEGAS ERGONÓMICAS	≈280MM, ERGONÓMICO, ROTAÇÃO ATÉ 270°	D - SHAPE, ≈325MM, COM PEGAS EM ALCÂNTARA	≈280MM, REDONDO, ERGONÓMICO COM PEGA TEXTURADA	≈280MM, REDONDO, ERGONÓMICO COM PEGA TEXTURADA
MATERIAIS E ACABAMENTO	FIBRA DE CARBONO 5MM, ALUMÍNIO AERONÁUTICO, COURO PERFURADO	ARO EMBORRACHADO, PATILHAS METÁLICAS, BASE EM ALUMÍNIO	ESTRUTURA PLÁSTICA, ACABAMENTO SIMPLES, PEDAIS EM AÇO	ALUMÍNIO CNC, FIBRA DE CARBONO, PUNHOS EM MICROFIBRA	ESTRUTURA PLÁSTICA + METÁLICA COURO SINTÉTICO, PATILHAS EM ALUMÍNIO	PLÁSTICO REFORÇADO COURO SINTÉTICO, PATILHAS METÁLICAS
COMANDOS INTEGRADOS	ECRÃ DIGITAL, 10 BOTÕES C/ LED, 2 JOYSTICKS, 5 SELETORES ROTATIVOS	D-PAD, BOTÕES CONFIGURÁVEIS, VISOR LED E PATILHAS SEQUENCIAIS	D-PAD, PATILHAS, BOTÕES PROGRAMÁVEIS, LED INDICADOR	4 BOTÕES, 2 ENCODERS, 1 JOYSTICK DE 7 VIAS, PADDLES MAGNÉTICOS + LED	BOTÕES PS, D-PAD, PATILHAS, SELETORES ROTATIVOS, LED CENTRAL	D-PAD, SELETOR ROTATIVO, PATILHAS DE MUDANÇA, BOTÕES CONFIGURÁVEIS
TECNOLOGIA - CHAVE	CONTROLO ACESSÍVEL, RESPOSTA TÁTL PRECISA COM BASE DIRECT DRIVE	SENSOR HALL, ROTAÇÃO ATÉ 2520°, SISTEMA DE ENCAIXE RÁPIDO QR 2	RUMBLE BÁSICO, AJUSTE VIA APP, AUTONOMIA ATÉ 10H	MOTOR DIRECT DRIVE 10NM, ENCODER ALTA RESOLUÇÃO, QUICK RELEASE MAGNÉTICO	MOTOR BRUSHLESS 40W, FORCE FEEDBACK LINEAR, ROTAÇÃO ATÉ 1080°	TECNOLOGIA TRUEFORCE, ROTAÇÃO ATÉ 900°
SEGURANÇA E MONTAGEM	FIXAÇÃO POR SISTEMA QUICK RELEASE MOZA	ESTRUTURA ROBUSTA, ARREFECIMENTO PASSIVO, MONTAGEM COM T-NUTS	FIXAÇÃO POR GRAMPO METÁLICO, ESTRUTURA LEVE E ESTÁVEL	FIXAÇÃO COM T-NUTS, SISTEMA DE ENCAIXE RÁPIDO ROBUSTO	FONTE EXTERNA 400W, MONTAGEM POR BRAÇADEIRA OU PARAFUSOS	MOTOR COM ENGRENAGEM, ESTRUCTURA ROBUSTA, PROTEÇÃO CONTRA SOBREaquecimento
COMPATIBILIDADE	BASE MOZA, (COMPATÍVEL C/ BASE FANATEC, SIMAGIC)	PC, XBOX	PLAYSTATION 4, PLAYSTATION 5, PC	PC, BASES SIMAGIC ALPHA + ALPHA MINI	PLAYSTATION 4, PLAYSTATION 5, PC	PC, XBOX (VERSÃO ESPECÍFICA PARA PLAYSTATION)

No domínio dos simuladores, os volantes que se apresentam anteriormente, apresentam uma maior variedade em termos de especificações técnicas e compatibilidades, refletindo as necessidades distintas dos simuladores virtuais em comparação com veículos reais.

Modelos como o *Fanatec CSL DD QR2* (2023) e *Logitech G923* (2020), possuem formatos

circulares multifuncionais com diâmetros próximos dos 300mm, privilegiando pegada ergonómica e materiais robustos e resistentes, como alumínio e borracha texturizada. A tecnologia integrada nestes modelos é avançada, com sistemas como *TrueForce*, que reproduz em tempo real vibrações e forças do motor e da superfície de condução, sensores Hall de elevada precisão para leitura angular e mecanismos de encaixe rápido, que facilitam a substituição e personalização dos volantes.

O *Thrustmaster T-GT II* (2021) destaca-se pela utilização de materiais plásticos reforçados e metálicos com revestimento sintético, aliado à precisão sensorial proporcionada pelo motor *brushless* de 40W, permitindo uma rotação realista até 1080° e elevado feedback sensorial, especialmente para jogos licenciados como *Gran Turismo*. O *MOZA Racing FSR* (2024), com formato retangular compacto, emprega materiais como fibra de carbono e alumínio aeronáutico, possuindo comandos altamente configuráveis, como ecrãs digitais, joysticks e seletores rotativos, tornando-o ideal para simulações de alta performance. O *Simagic Alpha Mini* (2021-2022) caracteriza-se pelo formato em “D” com diâmetro aproximado de 325mm, combinando materiais premium como alumínio CNC, fibra de carbono e punhos em microfibra. Destaca-se pelo sistema de encaixe rápido magnético e *encoder* de alta resolução, conferindo-lhe uma elevada precisão e fidelidade tátil.

O *HORI Apex Wireless Racing Wheel* (2023), por outro lado, oferece uma solução sem fios e ergonómica com diâmetro aproximado de 28mm, estrutura plástica simples e comandos básicos, privilegiando a facilidade de utilização, autonomia elevada e compatibilidade versátil.

2.8.2. Comparação entre volantes automóveis Vs. volantes simuladores

Ao comparar volantes automóveis com os utilizados em simuladores, torna-se evidente que, enquanto os volantes automóveis priorizam a integração realista de comandos fundamentais à condução segura e eficaz, os volantes de simuladores enfatizam funcionalidades altamente configuráveis e responsivas, oferecendo experiências realistas adaptadas às necessidades virtuais.

Os volantes automóveis contemporâneos apresentam maior complexidade ergonómica e tecnológica adaptativa ao condutor, especialmente nos segmentos desportivos e elétricos. Em contrapartida, os simuladores priorizam a imersão sensorial, com tecnologias como feedback tátil, resposta precisa de força e customização detalhada para otimização da

experiência do utilizador.

Ambos os tipos de volantes apresentam elementos essenciais que podem contribuir para o desenvolvimento de um volante simulador de condução automóvel orientado à experiência do utilizador. A análise comparativa permite concluir que um volante pedagógico eficiente deve combinar a ergonomia e a fidelidade sensorial dos volantes automóveis com a adaptabilidade tecnológica e a imersão sensorial dos volantes simuladores. Deste maneira, é possível criar uma ferramenta educacional avançada que reproduza com precisão as sensações reais da condução, otimizando o processo de aprendizagem.

CAPÍTULO 3.

MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO

A consolidação da metodologia de investigação configura-se como um dos pilares estruturantes para a construção de conhecimento científico rigoroso e socialmente relevante. A transparência nas escolhas metodológicas e a sua articulação com os objetivos delineados, são essenciais para garantir a credibilidade e a validade da pesquisa. Neste enquadramento, o capítulo apresenta, de forma detalhada e organizada, o percurso metodológico seguido, contemplando as estratégias de recolha e análise de informação empírica. O delineamento respeita os princípios epistemológicos que orientam o trabalho científico, garantindo a coerência interna do estudo e a pertinência dos resultados face ao problema de investigação.

A metodologia adotada para o desenvolvimento da presente dissertação alicerçou-se no modelo de *Design Thinking*, numa perspetiva alinhada com o processo *Double Diamond* do *Design Council* (2005), que estrutura o percurso projetual em quatro fases iterativas: Descoberta, Definição, Desenvolvimento e Entrega. Esta abordagem combina métodos qualitativos e quantitativos, e sustenta-se nos princípios do Design Centrado no Utilizador (*Human-Centered Design*), assegurando que as soluções desenvolvidas respondem de forma efetiva às necessidades funcionais, cognitivas e emocionais dos utilizadores em fase de aprendizagem da condução automóvel.

O percurso metodológico iniciou-se assim pela primeira fase do *Double Diamond*: a Descoberta, com uma revisão aprofundada da literatura nas áreas do design de mobilidade, ergonomia, design emocional, interação homem-máquina e sistemas de simulação. Esta etapa permitiu identificar problemas nos modelos existentes e reunir fundamentos teóricos que sustentaram a construção da proposta. Segue-se uma fase empírica de recolha de dados, através da aplicação de um questionário a futuros condutores, com o objetivo de compreender expectativas, dificuldades, preferências ergonómicas e perceções sobre conforto e clareza dos comandos. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente e serviram de base para a definição de critérios projetuais.

A investigação recorreu a uma abordagem metodológica mista, integrando técnicas quantitativas e qualitativas. Esta opção decorreu da necessidade de captar, simultaneamente, a objetividade dos dados determinados e a complexidade interpretativa das perceções manifestadas pelos inquiridos, assegurando, deste modo, a uma compreensão holística do fenómeno em análise. A complementaridade entre os métodos revelou-se particularmente apropriada à natureza do objeto de estudo, possibilitando a identificação de padrões recorrentes e a interpretação aprofundada das dinâmicas subjetivas que influenciam a

experiência dos utilizadores em contexto de simulação de condução.

O público-alvo desta investigação constituiu-se por indivíduos em processo de aprendizagem da condução automóvel, nomeadamente candidatos à obtenção da carta de condução inscritos em escolas destinadas a esse fim. A escolha deste grupo justifica-se pelo seu envolvimento direto no contexto empírico em análise, sendo considerados interlocutores para a identificação de necessidades, dificuldades e expectativas associadas à utilização de um simulador de condução enquanto instrumento pedagógico.

Com base nas necessidades identificadas, posteriormente avançou-se para as fases seguintes: Definição e Desenvolvimento, onde se incluí a componente projetual, tão essencial ao *designer*. Neste contexto apresenta-se o desenvolvimento, formal e funcional do volante, recorrendo a vários métodos e técnicas de ideação como *moodboard*, análise *SCAMPER*, esboços e, posteriormente, modelação tridimensional em software 3D. O protótipo foi concebido tendo em conta a adaptabilidade a diferentes perfis de utilizador, a simplicidade de interação, a legibilidade dos comandos e a inclusão de elementos visuais e táteis que favoreçam uma experiência intuitiva.

Por fim, procede-se a uma primeira validação da proposta através da experimentação do produto com os utilizadores através de critérios ergonómicos e funcionais. Esta avaliação permitiu aferir a adequação do protótipo às exigências pedagógicas, identificar melhorias e confirmar o seu potencial enquanto ferramenta didática. Ao longo de todas as fases, privilegiou-se uma abordagem iterativa, sensível à experiência do utilizador, promovendo a criação de uma interface significativa, acessível e emocionalmente envolvente.

Deste modo, a aplicação do *Design Thinking*, articulada com os princípios do Design Centrado no Utilizador e operacionalizada segundo a lógica do *Double Diamond*, permitiu articular de forma coerente a investigação teórica, a recolha de dados empíricos e o processo projetual. Este enquadramento metodológico garantiu a integração equilibrada entre análise, conceção e validação, assegurando a relevância científica da investigação e a consistência prática do protótipo.

3.1. Técnica de recolha

Para garantir uma recolha de dados com a máxima eficiência e acessibilidade, foi utilizado um questionário (*Apêndice 1*) como técnica principal, que integrou questões de natureza quantitativa e qualitativa, com o objetivo de identificar padrões de preferências e percepção dos inquiridos sobre fatores que possivelmente causa-se um impacto no desenvolvimento do produto final.

O questionário constitui uma das técnicas mais utilizadas na recolha de dados na investigação científica, particularmente em estudos de natureza empírica. Segundo Hoz, (1985, p.58) “é um instrumento para recolha de dados constituído por um conjunto mais ou menos amplo de perguntas e questões que se consideram relevantes de acordo com as características e dimensão do que se deseja observar”. Esta resolução permite uma análise comparável e objetiva dos dados, tornando-se importante para assegurar a coerência metodológica e a fiabilidade dos resultados obtidos.

A importância do questionário reside na sua capacidade de recolher, de forma sistemática e coerente, dados relevantes junto de um número significativo de participantes, reduzindo a influência subjetiva do investigador durante o processo de recolha. De acordo com Carmo & Ferreira (1998), a eficácia do questionário depende da sua articulação com os objetivos da investigação, realçando que “os instrumentos de recolha devem estar coerentemente alinhados com as questões e hipóteses formuladas” nesta maneira, consegue-se assegurar que a informação recolhida é pertinente e significativa para a análise pretendida.

Lakatos & Marconi (1991) enfatizam que, para que o questionário seja eficaz e os seus dados sejam absorvidos com o maior rigor, é importante respeitar uma série de princípios metodológicos para garantir a sua fiabilidade e validade. Primeiramente, destaca-se a clareza e a objetividade nas questões formuladas, “as perguntas devem ser claras, diretas, precisas e na medida do possível, isentas de ambiguidades e de juízos de valor” (p.198). Este princípio é fundamental para evitar qualquer tipo de conflito nos inquiridos, garantindo que as respostas sejam consistentes, precisas e relevantes para os objetivos da pesquisa.

Além disso, é fundamental que as questões estejam diretamente relacionadas com o objeto em estudo. Conforme os autores mencionados anteriormente, “o questionário deve conter perguntas relacionadas com os objetivos específicos da pesquisa, evitando questões supérfluas ou desviantes” (p.200). Este raciocínio assegura que os dados recolhidos sejam

pertinentes e válidos para a análise, evitando que se afastem no ponto central do estudo.

Outro dos princípios relevantes é a estrutura lógica e sequencial das perguntas. As questões devem ser organizadas de maneira a facilitar a compreensão e a resposta dos inquiridos. Lakatos & Marconi (1991) afirmam que “a sequência das perguntas deve obedecer a uma ordem lógica e psicológica, de forma a facilitar a compreensão e evitar cansaço ou confusão no inquirido” (p.201). A organização clara e intuitiva contribui para a diminuição de erros nas respostas e aumenta a taxa de retorno dos participantes.

A linguagem utilizada no questionário desenvolvido teve em consideração o nível sociocultural dos indivíduos a quem se destinava, garantindo clareza e acessibilidade na formulação das questões, conforme recomendado por Lakatos & Marconi, 1998, p.198). Este cuidado linguístico assegurou que todos os participantes compreendessem adequadamente os enunciados e, conseqüentemente, pudessem fornecer respostas mais representativas.

Adicionalmente, procedeu-se à realização recomendada de um pré-teste do questionário, etapa imprescindível para a detecção de falhas e ambiguidades Lakatos & Marconi, 1998, p.202). Este pré-teste foi aplicado ao proprietário e instrutor de uma escola de condução, que analisou o conteúdo e a estrutura das questões, deixando observações pertinentes. As sugestões recolhidas permitiram introduzir ajustes necessários, de modo a garantir a clareza das perguntas e a adequação do instrumento ao público-alvo. Assim, o questionário final apresentou-se apto para aplicação junto dos alunos em processo de aprendizagem, assegurando a eficácia na recolha de dados e minimizando potenciais falhas.

Com base na investigação em curso, as questões foram estruturadas de modo a direcionar os participantes para uma avaliação clara de determinados elementos, e ao mesmo tempo simplificar o tratamento estatístico das respostas. De forma a permitir um tratamento simplificado dos tópicos abordados no questionário (*Apêndice I*) foi estruturado em sete secções: 1. – Dados Demográficos; 2. – Experiência com Simuladores; 3. – Conforto e Ergonomia do Volante; 4. – Funcionalidade e Usabilidade; 5. – Design e Aparência; 6. – Preferências de Design; 7. - Melhorias e Sugestões.

Conforme os tópicos definidos para análise deste estudo, as perguntas foram organizadas em grupos. Esta estruturação teve como objetivo direcionar e filtrar as perguntas em torno de temáticas específicas, facilitando a compreensão durante o processo de resposta. Para melhor entendimento das percepções individuais relativamente aos aspetos em estudo, os questionários desenvolvidos utilizaram a escala de *Likert*. Geralmente, este método

apresenta em ordem sequencial cinco alternativas de resposta (“Concordo Totalmente”, “Concordo”, “Neutro”, “Discordo” e “Discordo Totalmente”).

Segundo Boone (2012) esta escala, é amplamente utilizada na pesquisa científica, pois apresenta ser uma ferramenta eficaz para a quantificação de dados qualitativos. Assim, os utilizadores conseguem ter mais facilidade na análise de dados, uma vez que a combinação das respostas permite a geração de uma medida quantitativa que pode ser utilizada para inferências estatísticas, contribuindo para uma compreensão mais abrangente de fenómenos sociais investigados. O questionário foi introduzido no terreno, no período compreendido entre abril e maio de 2025.

3.2. Tratamento de dados

O questionário anteriormente mencionado foi cuidadosamente concebido de modo a facilitar a sua compreensão e interpretação por parte dos inquiridos, bem como assegurar posteriormente a análise estatística dos dados recolhidos. A sua estrutura visou equilibrar questões objetivas e igualmente subjetivas, de forma a permitir inferências de carácter dedutivo e indutivo, conforme o universo das respostas.

A abordagem metodológica adotada estrutura-se em duas fases complementares. A análise seguiu inicialmente uma natureza quantitativa, centrando-se nas respostas fechadas do questionário. Este procedimento envolveu o uso de indicadores numéricos e métodos estatísticos com o intuito de identificar relações, padrões e regularidades que possam ser generalizáveis a contextos semelhantes. Os dados foram devidamente organizados, codificados e analisados com o apoio do *Microsoft Excel*, que permitiu obter estatísticas descritivas. Esta etapa baseou-se em variáveis previamente definidas, com o objetivo de testar hipóteses ligados à ergonomia, usabilidade e fundamentalmente ao impacto do volante simulador no processo de aprendizagem dos candidatos à condução.

Este método assume um papel imprescindível no rigor científico e na estruturação do conhecimento empírico, onde “a matemática fornece à ciência moderna, não só o instrumento privilegiado de análise, como também a lógica da investigação, como ainda o modelo de representação da própria estrutura da matéria” Santos (2005, p.27).

Seguiu-se, posteriormente, uma análise qualitativa, assente num raciocínio de carácter

indutivo e centrada nas respostas abertas do questionário. Esta abordagem, de natureza compreensiva e interpretativa, privilegia a profundidade da análise em detrimento da generalização, procurando compreender os fenómenos a partir das percepções, significados e experiências dos participantes, reconhecendo a complexidade e a subjetividade inerentes ao tema em investigação.

Segundo Minayo (2009), a análise qualitativa parte do princípio que há uma “identidade entre sujeito e objeto”, ou seja, pressupõem-se que existe uma relação próxima entre o investigador e o fenómeno observado. Também Strauss (1975) reforça esta ideia ao afirmar que se trata de “uma ciência, onde o observador é da mesma natureza que o objeto, e o observador é, ele próprio, uma parte da investigação”. Este tipo de análise concentra-se essencialmente na exploração do universo de sentidos e significados atribuídos aos inquiridos. Como afirma Gomes (2009), “o seu foco é a exploração do conjunto de opiniões e representações sociais sobre o tema que pretende investigar”. Assim, a análise qualitativa é particularmente útil quando se pretende aceder a dimensões subjetivas, simbólicas ou culturais de determinada realidade, permitindo uma visão mais holística e interpretativa do objeto de estudo.

3.3. Avaliação dos dados obtidos

3.3.1. Dados demográficos da amostra

A análise de dados apresentada seguidamente evidencia os resultados obtidos através do questionário (*Apêndice 1*), aplicado em escolas de condução durante o período compreendido entre 10 de abril e 10 de maio de 2025. Esta abordagem possibilita uma compreensão aprofundada da temática (volante simulador de condução orientado para a experiência do utilizador), bem como as perspetivas dos inquiridos, destacando a importância da sua participação no processo de desenvolvimento do produto final. O principal objetivo consistiu em identificar as necessidades sentidas durante o processo de aprendizagem em contexto de formação rodoviária, procurando compreender quais os aspetos que merecem maior destaque para facilitar essa experiência e melhor responder às expectativas dos candidatos a condutor.

O questionário aplicado foi direcionado a um público envolvido no universo em estudo, sendo validado por 205 pessoas (*Gráfico 1*), dos quais 95 correspondem a mulheres (46,3%),

e 106 a homens (51,7%), três indivíduos preferiram não revelar (1,5%), e apenas um indivíduo respondeu LGBT (0,5%).

No que respeita à distribuição etária dos participantes (*Gráfico 2*), verifica-se uma predominância do grupo etário entre os 18 e os 24 anos, que representa 49,8% da amostra (102 participantes). Segue-se a faixa dos 25 aos 34 anos, com 24,9% (51 participantes), e com expressão bastante reduzida, os inquiridos com menos de 18 anos, correspondendo apenas a 1% (2 participantes). As faixas etárias com menor representatividade incluem os participantes entre os 35 e os 44 anos, com 10,2% (21 participantes), entre os 45 e os 54 anos, com 6,8% (14 participantes), e por fim, os com mais de 55 anos, que concentram 7,3% do total (15 participantes).

1. Género
205 respostas

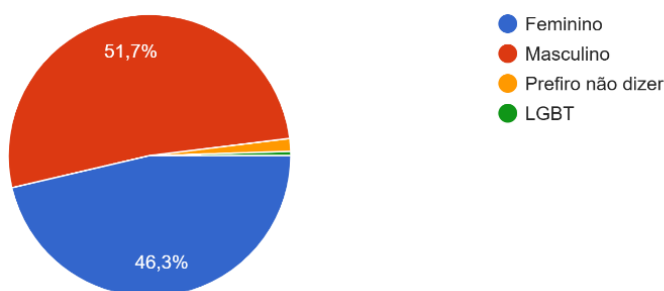


Gráfico 1. Dados relativos ao género dos inquiridos. Elaborado pela investigadora.

2. Faixa Etária (em anos)
205 respostas

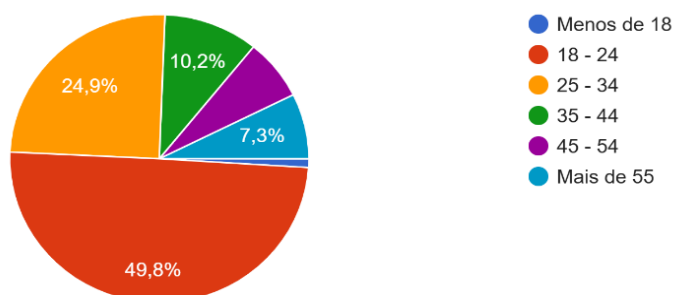


Gráfico 2. Dados relativos à faixa etária dos inquiridos. Elaborado pela investigadora.

3.3.2. Enquadramento das temáticas abordadas

Neste tópico analisa-se as principais temáticas exploradas no questionário, permitindo um enquadramento global das perceções dos participantes relativamente à utilização de volantes simuladores de condução. As seções analisadas incluem, a experiência com simuladores, a perceção da importância da sua implementação no contexto da formação de novos condutores. Posteriormente atenta-se às considerações sobre o conforto e ergonomia do volante, aspetos de funcionalidade e usabilidade, bem como o impacto do design, aparência no desempenho e confiança do utilizador. Finalmente são abordadas as preferências pessoais em termos de características físicas e visuais do volante. As análises conjuntas destas dimensões fornecerem contributos relevantes para a perceção de um modelo-tipo de um produto centrado no utilizador, funcional e eficiente para fins pedagógicos.

No que respeita à experiência dos participantes com simuladores de condução, os dados demonstram uma distribuição alargada ao longo da escala de 0 a 10, onde 0 corresponde a “nenhuma experiência” e 10 a “muita experiência”. (*Gráfico 3*). Neste aspeto verifica-se uma predominância clara de níveis de experiência reduzidos, com o valor 1 a ser o mais assinalado, por 71 participantes (34,6%). Este dado revela que mais de um terço da amostra tem contacto muito limitado com simuladores. Os valores seguintes com maior incidência foram o 5, com 24 respostas (11,7%), e o 4, com 20 respostas (9,8%), sugerindo uma experiência de grau intermédio. Os valores 3 e 2 foram escolhidos por 17 (8,3%) e 16 (7,8%) dos inquiridos, respetivamente, o que reforça a ideia de uma familiaridade pontual ou básica com este tipo de experiência. Em menor número, surgem os valores 6 e 7, ambos com 12 respostas (5,9%), e os valores 0 e 8, com 11 respostas cada (5,4%). Finalmente, os níveis 9 e 10 foram pouco frequentes, tendo sido selecionados apenas por 7 (3,4%) e 4 (2%) dos participantes, respetivamente. Estes resultados indicam que existe alguma diversidade de respostas, mas a maioria dos inquiridos reporta uma experiência reduzida ou moderada com simuladores de condução.

3. Numa escala de 0 a 10, como qualifica a sua experiência com simuladores?

205 respostas

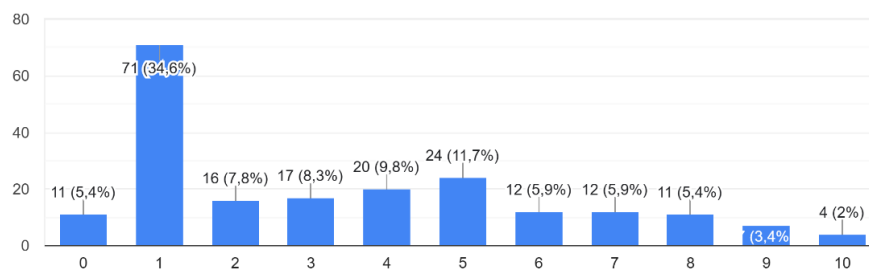


Gráfico 3. Dados relativos à experiência com simuladores. Elaborado pela investigadora.

Apesar do contacto limitado com simuladores, a perceção dos inquiridos quanto à utilidade na formação de condução é amplamente positiva. A maior concentração de respostas ocorreu no valor 3, com 66 participantes (32,2%), seguindo-se 55 participantes (26,8%) que atribuíram o valor máximo e 54 (26,3%) optaram pelo valor 4. Estes dados sugerem que a maioria dos inquiridos reconhece um contributo relevante dos simuladores para o processo de formação de novos condutores. Por outro lado, os níveis mais baixos da escala correspondem a 21 participantes (10,2%) escolheram o valor 2, enquanto apenas 5 (2,4%) seleccionaram o valor 1, e 4 (2%) atribuíram a pontuação mínima de 0. De modo geral, observa-se uma valorização significativa da utilidade pedagógica dos simuladores, independentemente do grau de experiência prática anteriormente analisada (*Gráfico 4*).

4. Acha que a implementação de volantes simuladores nas escolas de condução pode melhorar a formação de novos condutores?

205 respostas

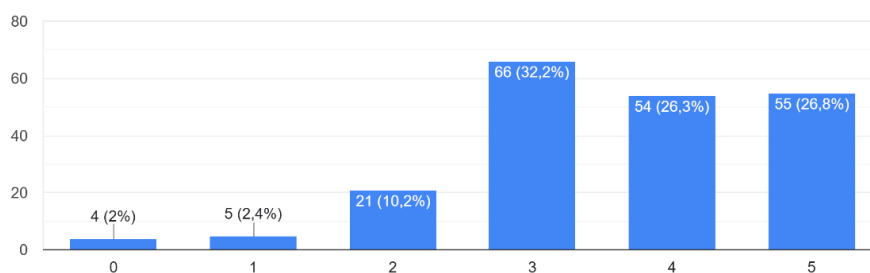


Gráfico 4. Dados relativos à implementação de volantes simuladores nas escolas de condução. Elaborado pela investigadora.

Inseridas na secção dedicada ao Conforto e Ergonomia, as respostas recolhidas permitem identificar um conjunto de perceções que refletem a importância atribuída pelos participantes a estes fatores no contexto da experiência de condução. A análise dos dados revela uma valorização expressiva de diversos aspetos relacionados com o design ergonómico, evidenciando a sua relevância enquanto componente fundamental na interação entre o condutor e o veículo.

Relativamente ao fator associado ao tamanho e formato do volante (*Gráfico 5*), a análise das respostas evidência uma tendência amplamente favorável, com representação na maioria dos níveis da escala. O nível 0, correspondente à opção “não aplicável”, foi selecionado por 8 participantes, o que representa 3,9% da amostra. O nível 1 não registou qualquer resposta, ao passo que o nível 2 contou com 6 participantes (2,9%), indicando uma valorização muito reduzida neste fator. O nível 3 foi assinalado por 45 inquiridos (22%), indicando uma perceção moderada da sua relevância. Por sua vez, os níveis mais elevados concentram a maioria das respostas: 66 participantes (32,2%) atribuíram o nível 4 e 80 inquiridos (39%) o nível 5. Assim, 71,2% dos inquiridos reconheceram o tamanho e o formato do volante como um dos fatores de elevada importância, com impacto significativo durante a condução.

5. O tamanho / formato do volante influencia a experiência?
205 respostas

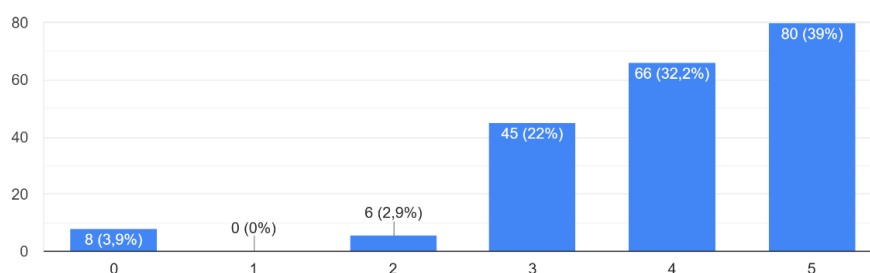


Gráfico 5. Dados relativos ao tamanho / formato do volante. Elaborado pela investigadora.

A análise das respostas referentes ao apoio para polegares (*Gráfico 6*) revela uma avaliação tendencialmente positiva, ainda que com a distribuição mais equilibrada ao longo da escala. Os níveis 0, 1 e 2 foram pouco frequentes, tendo sido assinalados apenas por 10 participantes (4,9%), 3 participantes (1,5%) e 14 participantes (6,9%), respetivamente. O nível 3, indicativo de uma perceção moderada, foi escolhido por 54 participantes (26,5%) seguindo-se o nível 4 com 72 participantes (35,3%) e o nível 5 com 51 participantes (25%). No total 86,8% dos inquiridos atribuíram elevada importância ao apoio para polegares, reconhecendo como um contributo relevante para o conforto na condução.

6. O apoio para polegares melhora a experiência de condução?

204 respostas

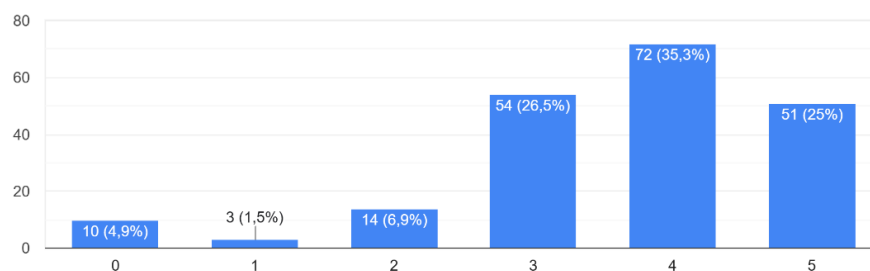


Gráfico 6. Dados relativos ao apoio para polegares no volante. Elaborado pela investigadora.

Os dados obtidos sobre a importância atribuída à presença de bordas acolchoadas no volante (*Gráfico 7*) revelam uma distribuição equilibrada, com predominância das avaliações positivas. A maioria dos participantes concentrou-se nos níveis 3 (27,5%), 4 (34,8%) e 5 (25%), o que indica uma percepção generalizada da relevância deste elemento para o conforto durante a condução. Em contraste, os níveis mais baixos registaram menor expressão: 10 participantes (4,9%) assinalaram o nível 0, 3 inquiridos (1,5%) no nível 1 e 13 (6,4%) o nível 2, refletindo uma valorização limitada por uma parte reduzida da amostra. O conjunto dos resultados sugere que, embora as bordas acolchoadas sejam vistas por muitos participantes como um fator que contribui positivamente para a experiência de condução, esta preferência não é transversal, podendo variar em função de hábitos individuais.

7. As bordas acolchoadas aumentam o conforto?

204 respostas

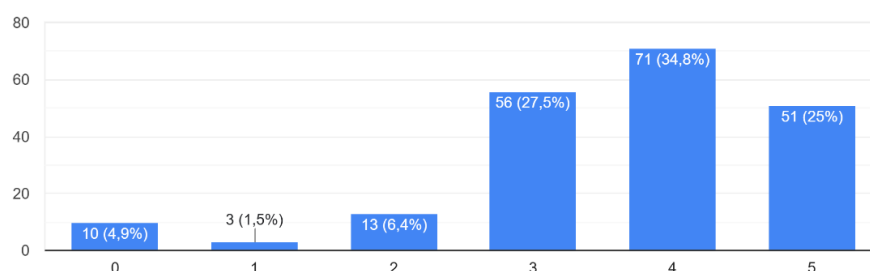


Gráfico 7. Dados relativos às bordas acolchoadas. Elaborado pela investigadora.

O parecer relacionado ao peso do volante comprovou que este poderá ser um elemento influente na experiência de condução destacando-se nos níveis mais elevados da escala (*Gráfico 8*). O nível 1 foi assinalado por apenas 3 participantes (1,5%), refletindo uma percepção de irrelevância quase inexistente. O nível 0 e 2 foi escolhido por 10 participantes (4,9%), e 11 respostas (5,4%), respetivamente. O nível 3, representa uma percepção intermédia, este foi selecionado por 49 participantes (24%), enquanto os níveis superiores

concentraram-se na maioria das respostas: 90 participantes (44,1%) que atribuíram o nível 4 e 41 (20,1%) o nível 5. No total, 88,2% dos inquiridos reconheceram que o peso do volante poderá ser um aspeto de elevada importância, o que é possível atentar que este parâmetro está fortemente associado ao conforto, à facilidade de manobra e à percepção de segurança. Para além do impacto na interação física com o veículo, o reconhecimento deste fator poderá ainda refletir preocupações relacionadas com a redução do esforço muscular e a minimização da fadiga em contextos de condução prolongada ou mais exigente.

8. Sendo um componente de carácter individual, acha que o peso do volante pode ser um fator determinante durante a sua utilização?

204 respostas

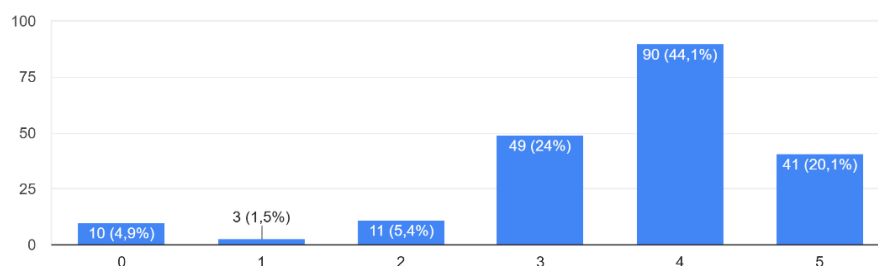


Gráfico 8. Dados relativos à importância do peso do volante. Elaborado pela investigadora.

Para finalizar esta secção, a questão referente ao conforto tátil do material do volante mesmo após uso prolongado (*Gráfico 9*), obteve a mais elevada concordância de todos os participantes. A distribuição das respostas demonstra uma forte tendência deste atributo, onde 36,8% representam 75 inquiridos atribuíram o nível 4, posteriormente 80 inquiridos (39,2%) optaram por seleccionar o nível 5. Por outro lado, apenas 2,9% com resposta de 6 participantes consideram esta premissa irrelevante assinalando o nível 0. Igualmente o nível 2 teve pouca aderência, registando apenas 4 participantes (2%), o nível 1 não apresentou qualquer valor. Estes dados indicam que a qualidade superficial do volante, nomeadamente o que diz respeito à textura e a resposta tátil, desempenham um papel significativo na experiência do utilizador, contribuindo para o conforto prolongado no ambiente de condução.

9. O material do volante deve ser confortável ao toque, mesmo após uso prolongado?

204 respostas

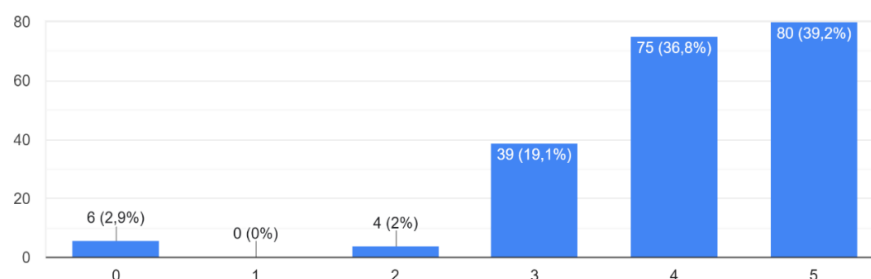


Gráfico 9. Dados relativos ao conforto em uso prolongado. Elaborado pela investigadora.

As seguintes questões que se seguem foram elaboradas com o intuito de confrontar as percepções dos participantes relativamente à funcionalidade e usabilidade de um volante adaptado a candidatos a condutor, tendo em conta aspetos como familiaridade, adaptabilidade ergonómica e experiência sensorial.

Esta análise iniciou-se com a avaliação do grau de concordância com a afirmação de que o volante deveria ser intuitivo e o mais semelhante ao volante convencional, preservando as suas principais funcionalidades (nomeadamente a buzina e os botões multifunções) (*Gráfico 10*). A esmagadora maioria, cerca de 134 participantes expôs um elevado nível de concordância, atribuindo 65,7% ao nível 5, ao passo que 20,1% dos 41 inquiridos escolheram o nível 4, representando conjuntamente 85,8% das respostas. Apenas uma percentagem residual (2%) situou-se nos níveis 0 a 2, o que demonstra uma clara preferência por um design que promova a continuidade em relação aos volantes tradicionais, reforçando a importância da familiaridade no processo de aprendizagem.

10. O volante deve ser intuitivo e assemelhar-se o mais possível ao volante convencional, mantendo as suas principais funcionalidades (buzina, botões multifunções)?
204 respostas

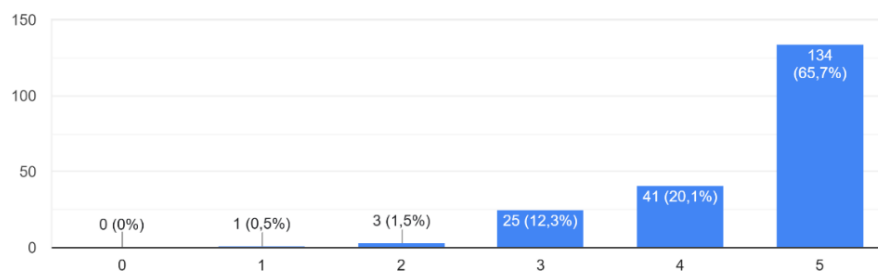


Gráfico 10. Dados relativos às principais funcionalidades e semelhanças ao volante convencional.
Elaborado pela investigadora.

Na questão seguinte, procurou-se perceber até que pontos os participantes consideravam relevante que o volante fosse ajustável em altura e profundidade, de forma a acomodar diferentes perfis de utilizadores (*Gráfico 11*). Neste ponto também se observou uma tendência marcadamente positiva: 91 participantes (44,6%) atribuíram o nível 5, seguidos por 37,7%, correspondentes a 77 inquiridos que optaram pelo nível 4. O nível 3 também relevou uma ligeira aderência manifestando-se por 28 participantes (13,7%), mas apenas 4% das respostas expressaram discordância rondando os níveis 0 a 2. Estes resultados realçam uma valorização generalizada da adaptabilidade ergonómica, elemento essencial para garantir conforto e acessibilidade durante a condução.

11. O volante deve ser ajustável (altura, profundidade) para diferentes tipos de utilizadores?
204 respostas

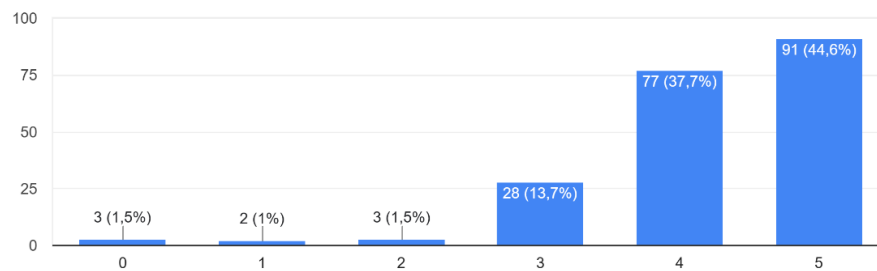


Gráfico 11. Dados relativos ao ajuste do volante (altura, profundidade). Elaborado pela investigadora

Em seguida avaliou-se a relevância da incorporação de feedback sensorial, nomeadamente visual, sonoro e/ou tátil no volante, desde que não perturba o condutor (*Gráfico 12*). Os dados demonstram uma boa aderência por parte dos inquiridos. Cerca de 79 participantes (38,7%) consideraram o nível 4 e 58 participantes (28,4%) o nível 5, totalizando com 67,1% de respostas favoráveis. Quase um quarto dos participantes (24,5%), posicionou-se de forma neutra, assumindo o nível 3, e apenas 8,4% manifestaram algum grau de discordância nos níveis 0 ao 2. Este padrão sugere que, embora haja uma aceitação significativa da utilização de estímulos sensoriais, os inquiridos reconhecem a necessidade de equilíbrio entre inovação tecnológica e segurança.

12. É importante o volante incorporar estrategicamente indicadores visuais, sonoros e/ou feedback tátil para aprimorar a experiência, sem que isso provoque distrações ao candidato a condutor?
204 respostas

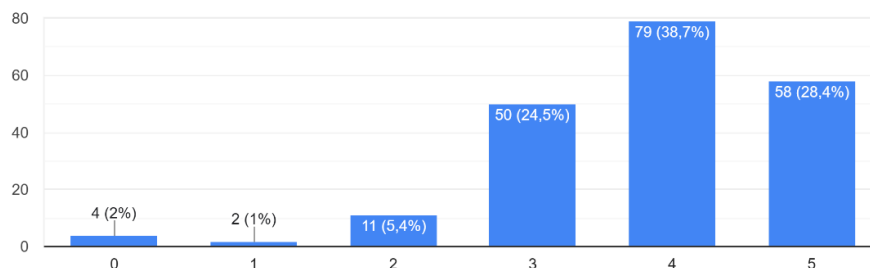


Gráfico 12. Dados relativos à incorporação do feedback sensorial. Elaborado pela investigadora.

Na continuidade da mesma secção, determinou-se a importância de uma marcação visual no centro do volante, verificando-se uma aceitação significativa desta proposta por parte dos participantes (*Gráfico 13*). Os dados obtidos demonstram que 71 das repostas (34,8%) assinalaram o nível 4, e 19,1% considerado por 62 participantes optaram pelo nível 5, o que faz com que haja uma totalidade de 53,9% de respostas favoráveis para esta sugestão. Paralelamente 17 inquiridos (8,3%) seleccionaram o nível 3, posicionando-se numa postura equilibrada, enquanto apenas 15,6% sinalizaram discordância com a envolvência em estudo, escolhendo os níveis 0 e 2.

13. Acha relevante o volante incluir uma marcação ao centro do volante, que indique quando a direção do automóvel está alinhada?

204 respostas

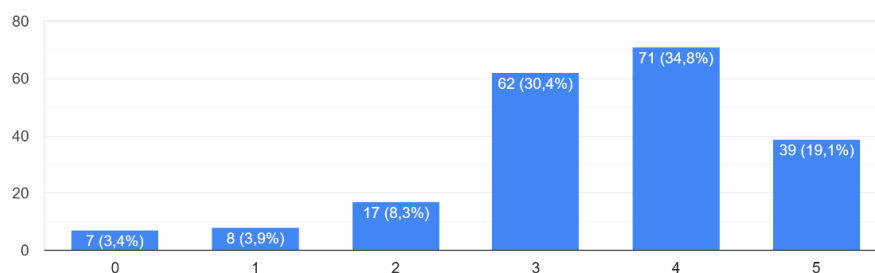


Gráfico 13. Dados relativos à inclusão de uma marcação ao centro do volante. Elaborado pela investigadora.

A secção dedicada ao Design e Aparência teve como objetivo avaliar de que forma os aspetos visuais e táteis do volante contribuem para a experiência dos utilizadores (*Gráfico 14*). Procurou-se de forma aprofundada, compreender a importância atribuída ao realismo do design, à sua capacidade de atrair novos condutores, e ainda o potencial da aparência enquanto indicador de confiança no exercício da condução.

A análise dos dados realça uma forte valorização do design realista e das texturas do volante. Dos 204 inquiridos, 103 (50,5%) atribuíram o nível 5 a este critério, enquanto 45 dos participantes (22,1%) optaram pelo nível 4, seguindo-se 36 dos quais 36 inquiridos selecionaram o nível 3. Apenas uma minoria considerou este aspeto pouco relevante, com 13 respostas no nível 2 (6,4%), 3 respostas no nível 1 (1,5%) e finalmente 4 no nível 0 (2%). Estes resultados clarificam que mais de 70% dos participantes consideram esta temática como um dos aspetos que destacam a autenticidade do volante.

14. É importante o volante ter um design e texturas realistas?

204 respostas

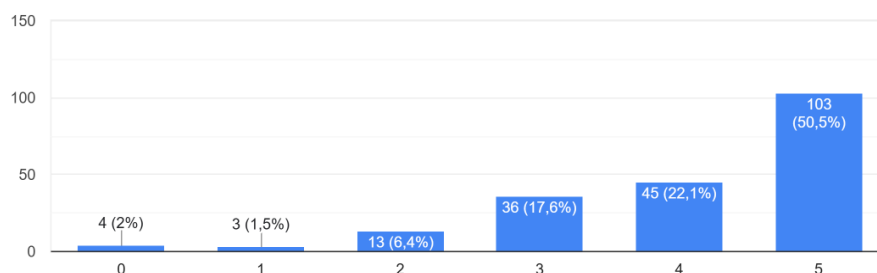


Gráfico 14. Dados relativos ao design e texturas. Elaborado pela investigadora.

Por outro lado, em relação à modernidade e atratividade do design, os dados apresentam uma distribuição mais diversificada. (*Gráfico 15*). A maioria das respostas concentraram-se no nível 3, com 69 participantes (33,8%), seguido dos níveis 4 e 5, com 50 (24,5%) e 35 (17,2%) respostas, respetivamente. Em contrapartida, 33 inquiridos (6,2%) escolheram o nível 2,

sucedendo-se 5 participantes que optaram pelo nível 1, e os restantes 12 (5,9%) assinalaram o nível 0. Esta dispersão revela uma percepção mais moderada, embora exista reconhecimento da importância desta vertente.

15. O design de um volante deve ser moderno e atrativo para novos condutores?

204 respostas

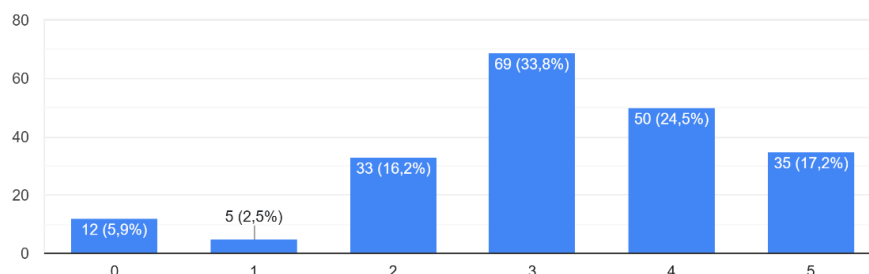


Gráfico 15. Dados relativos ao design moderno e atrativo. Elaborado pela investigadora.

No que respeita ao impacto da aparência do volante na confiança do condutor, as respostas mostram uma tendência moderada (*Gráfico 16*). O nível 3 foi o mais assinalado, registando 66 respostas (32,4%), seguido do nível 2 com 47 respostas (23%) e o nível 4 com 42 respostas (20,6%). Apenas 24 inquiridos (11,8%) atribuíram a pontuação máxima, enquanto os valores mais baixos, nível 0 e 1, receberam 13 (6,4%) e 12 (5,9%) respostas, respetivamente. Estes valores indicam que o aspeto visual pode ter um efeito psicológico positivo na experiência de condução, a sua influência na confiança é percecionada como complementar, não sendo considerada um fator determinante pela maioria.

16. Acredita que a aparência de um volante pode contribuir para uma maior confiança no exercício da condução?

204 respostas

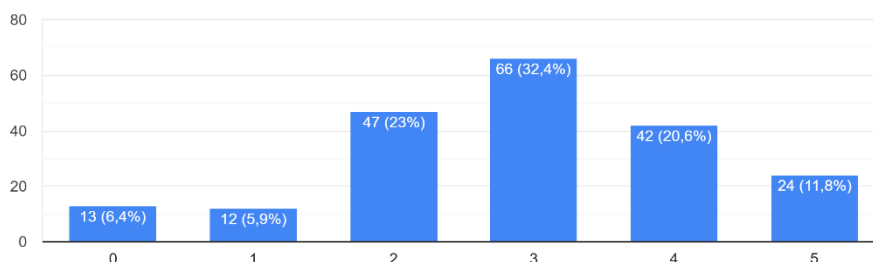


Gráfico 16. Dados relativos ao contributo da aparência para melhorar o exercício da condução. Elaborado pela investigadora.

Esta secção avalia a importância atribuída à aparência de um volante simulador de condução (*Gráfico 17*). Os resultados mostram uma preferência por valores intermédios, com destaque para o nível 3, assinalado por 23,5% dos participantes, seguido por percentagens significativas nos níveis 4, 7 e 8. Esta tendência indica que a aparência é reconhecida como um contributo relevante por parte significativa da amostra. A existência de respostas mais

elevadas está presente nos níveis 7 a 10, reforçando a ideia de que o design visual pode desempenhar um papel importante na criação de uma experiência mais realista e envolvente. Por outro lado, os valores baixos representam uma minoria, sugerindo que, a aparência dificilmente é totalmente descartada. Conclui-se que esta condição é tida como um elemento complementar na perceção de qualidade e realismo do simulador, com impacto variável consoante o perfil do utilizador.

17. Numa escala de 0 a 10, avalie a importância da aparência de um volante simulador de condução automóvel?
204 respostas

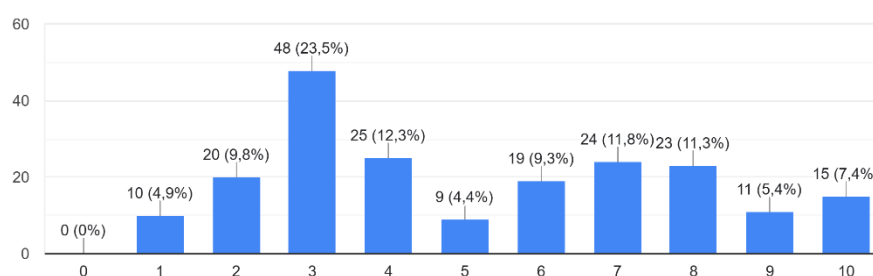


Gráfico 17. Dados relativos à avaliação da importância da aparência do volante. Elaborado pela investigadora.

As questões apresentadas nesta secção incidem sobre as preferências dos utilizadores relativamente ao design e conforto de utilização de um volante simulador de condução automóvel, permitindo verificar quais os elementos visuais e ergonómicos considerados mais eficazes na otimização da experiência de condução simulada. No que diz respeito à combinação cromática mais viável, 123 inquiridos (60,6%) apontam o preto e cinza como escolha preferencial, destacando-se significativa das demais. Esta opção foi seguida por 60 respostas (29,6%) a favor da combinação preto e azul e 49 respostas (24,1%) para preto e branco. As restantes opções recolheram percentagens residuais, o que demonstram uma clara preferência por tonalidades neutras e profissionais, capazes de proporcionar uma experiência visual coerente, confortável e livre de distrações. A escolha dominante sugere ainda uma valorização da sobriedade e sofisticação no aspeto visual do equipamento (*Gráfico 18*).

18. Para garantir visibilidade, conforto e profissionalismo, quais das seguintes combinações de cores considera a mais viável?
203 respostas

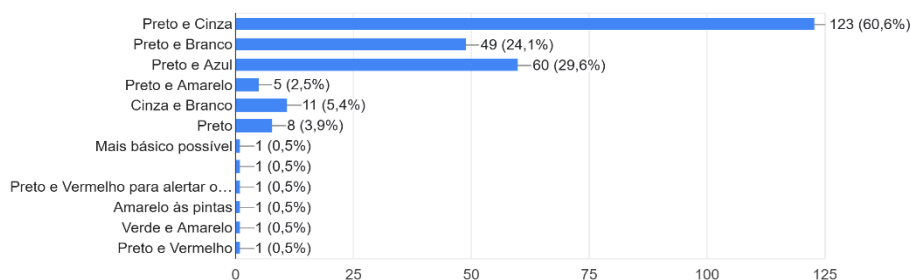


Gráfico 18. Dados relativos à escolha de cores para o volante simulador. Elaborado pela investigadora.

No que se refere às características mais relevantes para o conforto ao segurar o volante, a maioria dos participantes valorizou atributos que combinam robustez e ergonomia. (*Gráfico 19*). O destaque vai para a opção “Firme e Resistente”, que reuniu 105 respostas (51,7%), refletindo a importância atribuída à sensação de controlo e segurança. Seguiram-se o “Formato Ergonómico”, com 79 respostas (38,9%), e “Suave ao Toque”, com 63 respostas (31%), denotando que a experiência tátil é também um fator decisivo na perceção de conforto. Outras características, como “Boa Aderência” com 46 respostas (22,7%) e “Textura Neutra” com 32 respostas (15,8%), embora com menor expressão, reforçam a importância da funcionalidade aliada ao conforto.

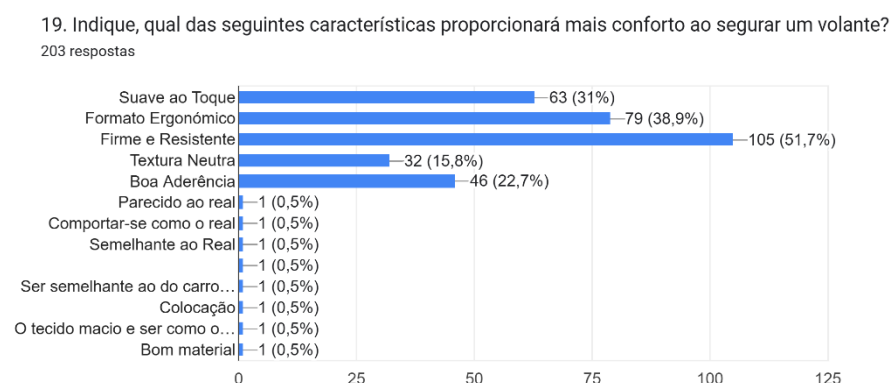


Gráfico 19. Dados relativos à escolha das características mais confortáveis ao segurar um volante.
Elaborado pela investigadora.

3.3.3. Análise de melhorias e sugestões para o volante simulador

A última secção do questionário incluiu duas perguntas de carácter aberto que procurou recolher sugestões dos inquiridos sobre possíveis melhorias no design do volante simulador. Esta abordagem permitiu aceder a perceções mais espontâneas e subjetivas, captando necessidades ou ideias que poderiam não ter sido abordadas nas questões fechadas.

Na questão número 20, de resposta aberta correspondente ao aperfeiçoamento do design do volante, a análise qualitativa revelou várias tendências distintas. Uma parte significativa dos inquiridos optou por não apresentar sugestões, indicando ausência de experiência prévia com simuladores. Entre os restantes, destacou-se a valorização do realismo, expressões como “*ser o mais possível parecido com a realidade atual*”, “*semelhante ao real e com as mesmas respostas*” ou “*parecido com a realidade atual*” foram comuns, mostrando a importância de um design que reflita claramente a experiência real de condução. Também se salientaram sugestões relacionadas à introdução de feedback sensorial, incluindo vibrações táteis,

resposta à perda de aderência, sinais sonoros para alertar erros e indicadores visuais. Frases como *“vibrar com os erros”*, *“som para ajudar os alunos a ver onde estão a falhar”* ou *“feedback tátil e visual”* demonstram a relevância entregue à interatividade do volante enquanto meio de reforço cognitivo e sensorial. Foram ainda referidas funcionalidades adicionais como velocímetro no próprio volante, indicadores de mudança de direção ou integração de piscas. Em menor escala, apresentaram-se propostas associadas ao conforto e ergonomia, como o ajuste de tamanho, adaptação à morfologia do condutor ou características alusivas à estética visual, como o uso de luz LED discreta e outros elementos que transmitam inovação.

A questão número 21 teve como objetivo compreender quais os principais desafios que os candidatos a condutor enfrentam, e, de que maneira o simulador poderia contribuir para ultrapassar certas adversidades. A análise revelou um conjunto diversificado de contributos, pois uma parte dos participantes indicou não saber responder ou referiu igualmente como na questão anterior, não ter qualquer experiência com simuladores. Por outro lado, a categoria mais expressiva refere-se à capacidade de um simulador se tornar uma ferramenta eficaz na gestão de situações de emergência e risco, como acidentes, despistes, travagens bruscas, perda de controlo do veículo ou condução em condições climáticas adversas, como piso molhado, neve ou gelo. Várias respostas como *“saber reagir em caso de emergência”*, *“agir em situações de acidentes”* ou *“condições imprevisíveis no trânsito”* apontam para a necessidade de preparar os candidatos a reagir adequadamente em contextos inesperados ou perigosos, sugerindo que este poderá ser um instrumento de treino seguro para situações de risco habitualmente difíceis de reproduzir no ensino prático tradicional.

Outra dimensão fortemente valorizada concentra-se na capacidade em que o simulador poderá representar no reforço de confiança e controlo emocional, com destaque para sentimentos como o medo, ansiedade e stress frequentemente associados às fases iniciais do processo de aprendizagem. Declarações como *“ganhar confiança antes da estrada real”*, *“reduzir o medo de conduzir”* ou *“melhorar a segurança do condutor”* evidenciam que o simulador pode promover uma sensação de maior conforto e segurança antes do contacto direto com o veículo real.

A segurança e a prevenção rodoviária foram mencionadas como uma das vantagens do uso de simulador, no que diz respeito à condução defensiva, à antecipação de perigos e da consciencialização para o impacto de erros na via pública. Estas respostas reforçam a

possível utilização do simulador enquanto recurso formativo que pode sensibilizar os utilizadores para comportamentos adequados e consequências de erros comuns.

Para além disso, surgiram referências ao desempenho técnico e à coordenação motora, com sugestões relacionados com o treino da rapidez de respostas, da atenção, destreza e agilidade ao volante. Alguns inquiridos destacaram, a marcha atrás, as mudanças de direção ou a perceção do espaço em manobras mais delicadas.

Por fim, foi recorrente a sugestão de que o simulador deveria ser utilizado numa fase inicial do processo de aprendizagem, permitindo ao candidato adquirir familiaridade com as funções básicas do veículo e, assim, facilitar a transição para a condução em contexto real. Apesar da aceitação generalizada deste tipo de recurso como instrumento técnico de apoio, algumas respostas evidenciaram ceticismo ou desconhecimento relativamente à sua eficácia, com expressões como *“não sei”*, *“nunca usei”* ou *“o melhor é conduzir na estrada”*, revelando a existência de barreiras à aceitação desta tecnologia por parte de determinados utilizadores.

Em suma, a análise qualitativa desta questão permite constatar que os participantes atribuem elevada importância ao realismo, ao conforto e à interatividade do volante simulador. Para além disso, reconhecem neste equipamento uma ferramenta com elevado potencial formativo, capaz de atuar em múltiplas dimensões, tais como, emocional, técnica e comportamental. Os contributos recolhidos revelam-se especialmente pertinentes para orientar o desenvolvimento de soluções de design mais completas, eficazes e alinhadas com as necessidades reais dos utilizadores.

3.4. Considerações finais da análise

A interpretação dos dados estatísticos obtidos no âmbito do questionário desenvolvido permitiu delinear com rigor, uma compreensão detalhada das opiniões dos participantes relativamente à conceção de um volante simulador de condução orientado às necessidades do utilizador. As respostas recolhidas revelam um conjunto de tendências consistentes que, articuladas, traçaram um panorama informativo sobre preferências funcionais, expectativas ergonómicas e perceções sensoriais associadas à utilização do equipamento.

Embora se tenha verificado que um número considerável de inquiridos não possuía

experiência com simuladores, os resultados demonstram de forma clara, uma disposição favorável quanto à integração no processo de aprendizagem. Esta receptividade, identificada nos (*Gráficos 1 ao 4*), é sustentada pela percepção de que um simulador constitui uma ferramenta instrutiva com competência para consolidar conhecimentos iniciais, promover familiarização com o ambiente do sistema rodoviário e permitir uma prática em condições isentas de risco real.

A análise dos (*Gráficos 5 a 9*) confirmam a clara preferência pelos volantes de dimensões correspondentes às utilizadas em veículos reais, conjugadas com configurações morfológicamente adaptadas à anatomia do utilizador. O conforto físico emergiu como um critério distintivo, particularmente no que diz respeito à presença de apoios específicos, ao acabamento dos materiais e à textura das superfícies de contacto. Estes elementos são amplamente reconhecidos pela contribuição para a redução da fadiga, e pela influência direta que exercem sobre a consciência de controlo e estabilidade durante a simulação.

No domínio funcional, os dados revelam que os participantes concedem elevada importância em relação à presença de comandos acessíveis e intuitivos no corpo do volante (*Gráfico 10*), bem como à possibilidade de ajuste da sua posição em altura e profundidade (*Gráfico 11*). A integração de feedback sensorial, seja tátil, sonoro ou visual, foi igualmente bem acolhida (*Gráfico 12*) desde que aplicada de forma comedida e não intrusiva, salvaguardando a concentração e a fluidez da experiência. A existência de marcação visual ao centro (*Gráfico 13*) foi entendida como um recurso útil à orientação visual e reforço do alinhamento gestual.

Do ponto de vista da componente visual e simbólica do volante, (*Gráficos 14 a 17*) evidenciam uma tendência favorável à adoção de soluções estéticas sóbrias, predominantemente ancoradas em tonalidades neutras (como preto e cinza) e formas limpas, que remetam para ambientes pedagógicos. A avaliação das sensações táteis e da resposta física do volante (*Gráficos 18 e 19*) demonstrou que os participantes apreciam uma combinação equilibrada entre firmeza estrutural e suavidade ao toque, valorizando o envolvimento sensorial como um aspeto que intensifica a percepção de autenticidade. Este equilíbrio entre estímulo e estabilidade revela-se essencial para assegurar conforto prolongado e adequação funcional ao gesto técnico.

As respostas às questões de natureza aberta permitiram complementar os dados quantitativos com observações de carácter mais subjetivo e espontâneo. De forma geral, os participantes evidenciaram interesse por melhorias que reforcem o realismo visual e funcional do volante,

bem como sugestões relacionadas com a introdução de estímulos sensoriais e elementos operacionais adicionais. Paralelamente, foi sublinhado a competência do simulador para treinar situações complexas e mitigar constrangimentos emocionais, como o medo e a insegurança na condução inicial.

Em conclusão, os resultados sugerem que o desenvolvimento de um volante para simuladores de condução deve atender a uma multiplicidade de exigências, que se distribuem entre os domínios da ergonomia, funcionalidade, resposta sensorial e coerência estética. A convergência das preferências manifestadas pelos inquiridos indica que a validade do simulador depende da sua capacidade de oferecer uma experiência que combine naturalidade, conforto e utilidade pedagógica.

CAPÍTULO 4.

DESENVOLVIMENTO PROJETUAL

O presente capítulo apresenta o processo de desenvolvimento do projeto de redesign de um volante simulador de condução, concebido com base nos fundamentos teóricos e empíricos anteriormente explorados. A proposta nasce da necessidade de promover uma experiência de condução mais imersiva, ergonómica e emocionalmente envolvente, aliando funcionalidade técnica a uma linguagem estética que respeita a identidade visual da marca de referência.

O percurso projetual seguiu uma lógica iterativa e centrada no utilizador, envolvendo fases de investigação gráfica, definição funcional e experimentação formal. Através de esboços manuais e representações vetoriais, foram exploradas diferentes configurações do suporte de fixação e do próprio volante, tendo como principais orientações a adequação ergonómica, a clareza da interface e a integração intuitiva dos componentes eletrónicos.

Este capítulo organiza-se, assim, numa sequência que contempla os esboços iniciais de exploração formal, a definição dos componentes físicos e eletrónicos integráveis, a seleção dos materiais e acabamentos, e, por fim, a apresentação do conceito final. A proposta visa responder aos requisitos funcionais e emocionais do utilizador, sendo simultaneamente exequível do ponto de vista técnico e alinhada com o universo visual e simbólico da simulação automóvel contemporânea.

4.1. Problema do design

A proposta de redesign desenvolvida neste capítulo, teve como ponto de partida a intenção de conceber um volante de simulação automóvel que se adaptasse às exigências da aprendizagem da condução. Num contexto em que os simuladores ganham mais ênfase na formação de condutores, tornou-se pertinente reavaliar o papel do volante enquanto interface central entre o utilizador e o ambiente simulado. Esta necessidade motivou a procura de uma base de projeto sólida, com potencial para acolher melhorias, sem comprometer a sua coerência formal. O início do desenvolvimento projetual “arrancou” por um referencial incontornável de um volante da marca *MOMO*. Esta é uma marca italiana fundada em 1964, na cidade de Monza, por iniciativa do piloto de corridas Gianpiero Moretti. O primeiro volante desenvolvido pela marca foi utilizado no carro de John Surtees, que venceu o Campeonato Mundial de Fórmula 1 no mesmo ano, conferindo à *MOMO* uma projeção imediata no panorama internacional do desporto motorizado. Desde então, a marca consolidou a sua reputação ao longo de décadas pela produção de volantes e acessórios caracterizados pela precisão construtiva, robustez e linguagem estética (*MOMO*, s.d.).



Figura 38. Gianpiero Moretti - Fundados da marca *MOMO*.
Fonte: Site MOMO (s.d.).

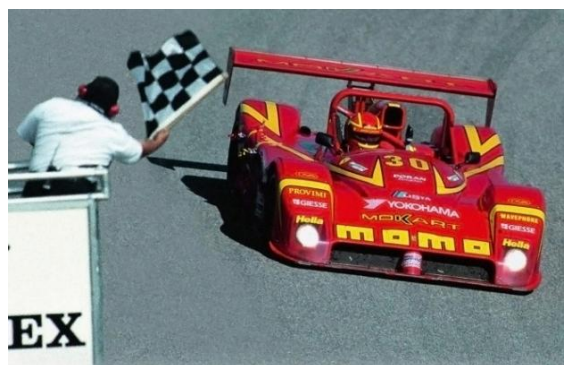


Figura 39. *MOMO* na Fórmula 1. Fonte: Site MOMO (s.d.).

O modelo selecionado como base para este projeto foi o *MOMO Montecarlo*, lançado originalmente na década de 1990, e mantido em produção até à atualidade, sendo um dos modelos mais reconhecidos da marca. Este volante de três raios, com 32mm de diâmetro, estrutura em alumínio anodizado preto e revestimento em pele preta, distingue-se pela sua sobriedade visual, conforto tátil e elevada compatibilidade com contextos de simulação ou condução clássica. O centro ligeiramente recuado e a ausência de elementos visuais, tornaram-no ideal para uma intervenção projetual orientada à melhoria da experiência de utilização (*MOMO*, s.d.).



Figura 40. Volante *MOMO Montecarlo*. Elaborado pela investigadora.



Figura 41. Detalhes do volante. Fonte: Site MOMO S.r.l (s.d.).

Contudo, o modelo *Montecarlo*, na sua versão original, não contempla soluções específicas para a simulação em ambiente formativo. Foram identificadas várias limitações no que respeita à interação, à ergonomia e à usabilidade pedagógica, nomeadamente:

- Ausência de comandos visuais ou táteis de apoio ao utilizador;
- Inexistência de feedback visual ou sensorial;
- Falta de marcações ergonómicas para orientar a colocação correta das mãos;
- Impossibilidade de integração direta de componentes eletrónicos internos;
- Limitação na personalização estética e funcional adaptada ao ensino;
- Restrição na regulação ergonómica da posição (altura, profundidade);
- Insuficiente consideração de critérios de acessibilidade universal;

Assim, o desenvolvimento do presente redesign tem como função acrescentar valor pedagógico e ergonómico ao volante, respeitando simultaneamente a identidade visual da marca *MOMO*. A proposta visa adaptar a estrutura física do produto às exigências da simulação, mas também promover uma experiência de utilização mais clara, segura e competente.

4.2 Desenvolvimento conceptual

A análise dos dados recolhidos por questionário, associada ao levantamento de referências formais e funcionais do modelo original, permitiu identificar um conjunto de necessidades práticas e sensoriais no uso de volantes em contexto de simulação. Estas necessidades deram origem ao desenvolvimento conceptual de um redesign do volante *MOMO SSL (Surtees Special Learning)*, cuja principal finalidade consiste em adaptar o produto à realidade de um sistema pedagógico centrado na ergonomia, interatividade e clareza funcional.

O nome atribuído ao modelo resulta de uma dupla inspiração, por um lado, faz referência ao primeiro volante desenvolvido pela marca *MOMO*, utilizado no carro do piloto Jonh Surtees, símbolo de inovação e desempenho na história do automobilismo. Por outro lado, incorpora a designação “*Special Learning*”, que traduz a vocação pedagógica do projeto, e a sua relação direta com o ensino da condução em escolas de condução. Assim, a identidade *MOMO SLL* reflete simultaneamente a herança histórica da marca e a sua adaptação às exigências atuais do contexto formativo.

4.2.1. *MoodBoard*

Influenciado por referências da indústria automóvel, das tecnologias de simulação e dos dispositivos pedagógicos interativos, o conceito desenvolvido procura reunir funcionalidade, ergonomia e identidade visual num único produto. A proposta resulta da necessidade de criar um volante pedagógico orientado à experiência do utilizador, que respeite a linguagem visual da marca *MOMO*, integrando, simultaneamente, soluções adaptadas ao contexto do ensino da condução.

A abordagem projetual teve início com a construção de um *Moodboard (Figura 42.)*, que permitiu reunir visualmente os princípios orientadores do projeto. Este quadro conceptual integra referências a elementos formais da marca *MOMO*, soluções tecnológicas relevantes, bem como conceitos associados à interação intuitiva, acessibilidade, visibilidade de comandos e posicionamento correto das mãos. A composição visual auxiliou na definição da linguagem estética a adotar, respeitando o ADN da marca e, simultaneamente, introduzindo um cunho inovador e atrativo.

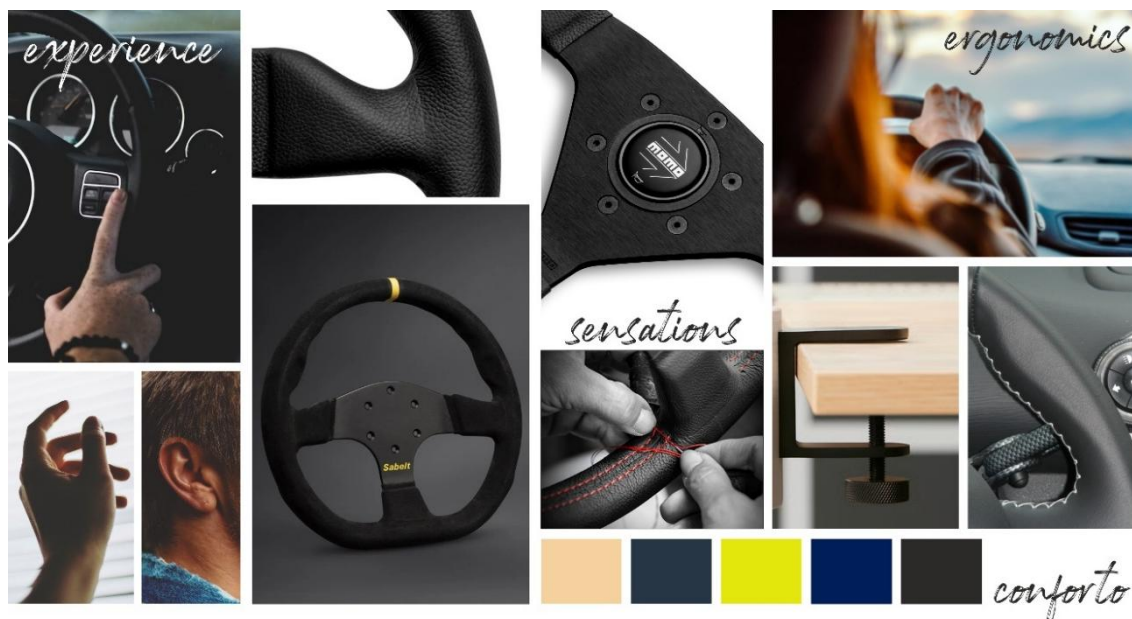


Figura 42. Moodboard. Elaborado pela investigadora.

4.2.2. Análise *SCAMPER*

Para orientar e enriquecer o processo de geração de ideias no âmbito deste redesign, recorreu-se à metodologia *SCAMPER*, uma ferramenta amplamente utilizada em contextos de *design thinking* e desenvolvimento criativo, cuja sigla representa sete das seguintes ações, que se distribuíram da seguinte forma pelos requisitos já identificados.

- **Substituir:** Os comandos pouco visíveis ou não identificáveis por botões físicos retro iluminado, cuja visibilidade e legibilidade são melhoradas por meio de *LED* integrados. Esta alteração visa aumentar a o modo de interagir sobretudo em contextos de formação.
- **Combinar:** Feedback tátil e visual nos comandos, introduzindo uma dimensão sensorial acrescida à experiência do utilizador. Este cruzamento de estímulos favorece a perceção da ação realizada e permite a correção ou confirmação imediata de decisões durante a simulação.
- **Adaptar:** Zonas anatómicas específicas para apoio dos polegares, respondendo aos princípios de ergonomia e conforto prolongado. Esta solução foi absorvida pelos resultados do questionário aplicado.
- **Modificar:** A base inferior do volante é idealizada para assumir um perfil plano (conhecido como *flat-bottom*), uma característica que, além de conferir um aspeto contemporâneo ao produto, facilita a sua utilização sobre superfícies horizontais

como secretárias, sendo particularmente útil em ambientes de formação teórico-prática.

- **Propor outro uso:** Integração de elementos pedagógicos, como indicadores visuais embutidos nas zonas de apreensão ideal e, com o intuito de reforçar o carácter didático do equipamento. Estes elementos funcionam como guias visuais para posicionamento correto das mãos, contribuindo para a memorização de posturas adequadas ao volante. Adicionalmente, acrescentou-se uma marca central no topo do aro do volante, com a finalidade de servir como referência visual da posição neutra (posição de centro), auxiliando o utilizador. Esta marca assume uma função pedagógica relevante, promovendo a consciência postural e facilitando a correção de desvios involuntários da trajetória.
- **Eliminar:** Eliminaram-se superfícies neutras em sem informação sensorial, que anteriormente não contribuíam para a clareza funcional do produto. A nova proposta valoriza superfícies ativas e comunicativas, onde cada área possui uma função perceptível para a experiência de utilização
- **Reorganizar:** A lógica funcional dos botões foi reorganizada com base em princípios de usabilidade e acessibilidade. No modelo original, o volante apresentava apenas uma buzina central, limitada em termos de interação. No redesign, esta lógica foi expandida através da integração de botões adicionais, como os comandos de volume e indicadores luminosos, posicionados estrategicamente na área de alcance natural dos polegares. Desta forma, a interação torna-se mais intuitiva, reduzindo o esforço de procura e aumentando a clareza funcional durante a utilização.

O recurso ao *SCAMPER* permite questionar criticamente os elementos existentes no produto com vista à sua reinvenção, abrindo espaço à inovação funcional e estética. Concluindo a aplicação desta metodologia que incidu sobre o modelo base referido inicialmente e, a análise partiu da identificação de limitações nesse modelo original e da necessidade de transformar o volante num instrumento didático, acessível e tecnologicamente enriquecido, sem comprometer a identidade visual da marca.

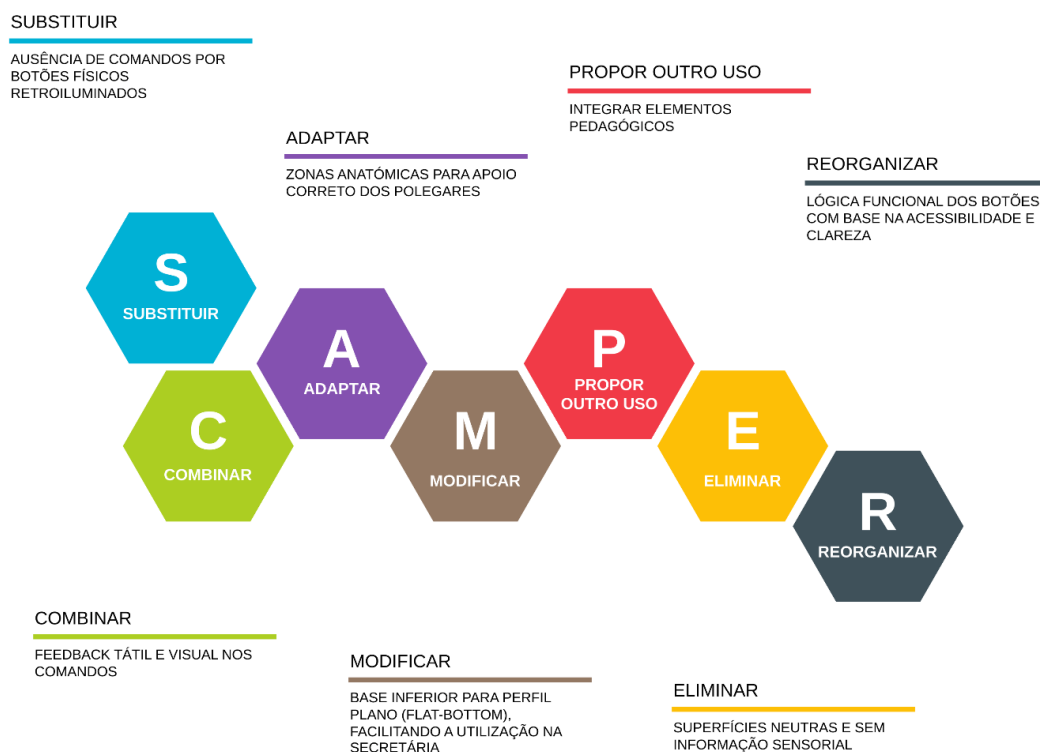


Figura 43. Análise *SCAMPER*. Elaborado pela investigadora.

4.2.3. Esboços iniciais do conceito

A fase de exploração gráfica foi iniciada com a produção de esboços analógicos, que permitiram através do desenho base do volante *MOMO*, desenvolver e visualizar, de forma progressiva, soluções formais e funcionais tanto para o suporte do volante como para o próprio volante simulador. Estes desenhos preliminares desempenharam um papel crucial na análise das proporções, acessibilidade, posicionamento dos componentes e ergonomia da estrutura, constituindo uma ferramenta essencial de investigação visual no processo de design.

Os primeiros esboços iniciaram-se pela estrutura e o mecanismo de suporte, tendo como premissa a necessidade de adaptar o sistema a diferentes superfícies planas (como mesas ou secretárias), com regulação em altura e inclinação. Foram exploradas soluções de fixação mecânica com abraçadeiras ajustáveis e sistemas de aperto por parafuso de rosca, procurando garantir estabilidade, facilidade de montagem e portabilidade. A representação destes elementos permitiu antecipar problemas técnicos e estabelecer medidas reais adequadas à utilização.

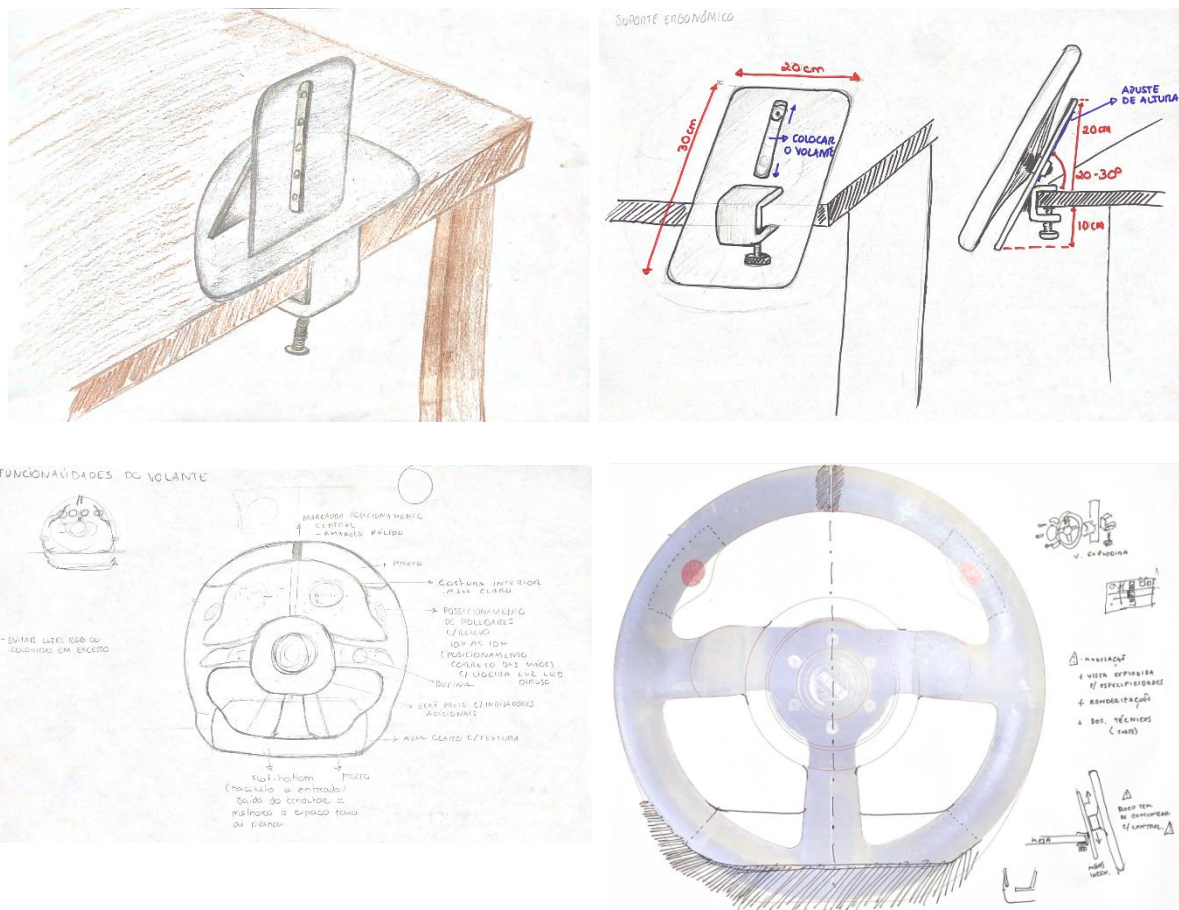


Figura 44. Primeiros esboços analógicos do suporte e do volante. Elaborado pela investigadora.

Numa segunda fase, a atenção voltou-se para o design do volante propriamente dito, com especial destaque na sua morfologia, interface e interação tátil. Os esboços visaram experimentar diferentes configurações da pega, localização dos botões e inserção dos elementos tecnológicos. Foi estudada a posição dos polegares, a integração da buzina central, a marcação superior de orientação visual e a presença de indicadores LED, resultando numa composição funcionalmente coesa e visualmente equilibrada.

A evolução dos esboços revela um percurso progressivo entre abordagens mais conceituais e representações mais técnicas, que culminaram na definição de um layout final. A utilização de sobreposição entre desenho à mão e digitalização vetorial permitiu consolidar os elementos ergonómicos, estéticos e construtivos, servindo como ponte para a modelação tridimensional em 3D. Esta abordagem iterativa e exploratória refletiu a intencionalidade de um design centrado na experiência do utilizador, articulando o conforto físico à clareza funcional dos comandos.

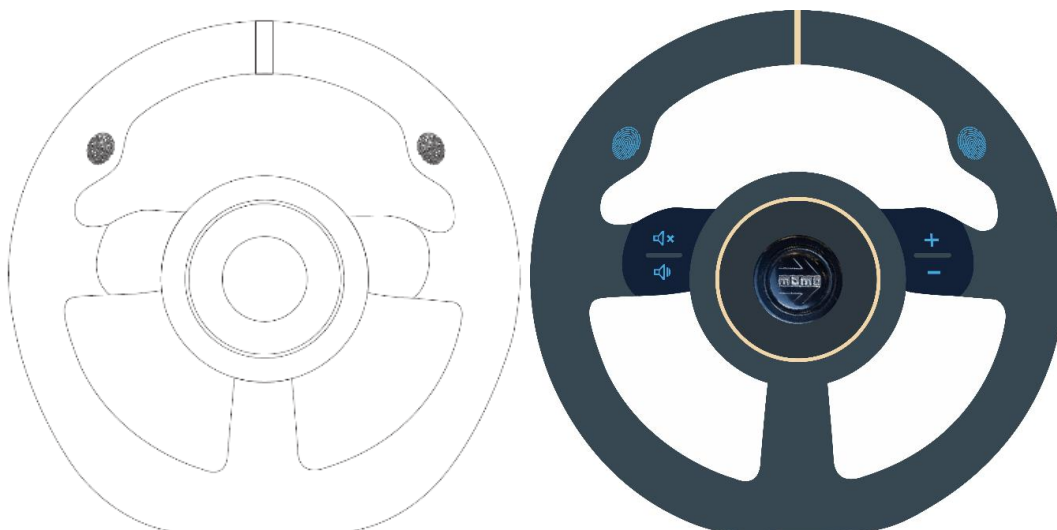


Figura 45. Primeiros esboços no digital. Elaborado pela investigadora.

4.3. Conceito final (Renderização)

O desenvolvimento do conceito final constituiu uma etapa de elevada complexidade técnica e reflexiva, marcada por um equilíbrio entre constrangimentos práticos e a materialização de soluções inovadoras. A principal dificuldade enfrentada residiu na necessidade de transpor para o ambiente tridimensional um produto de formas orgânicas já existente, mantendo a fidelidade ao modelo base, e simultaneamente, abrindo espaço para a sua reinvenção. Para responder a esse desafio, recorreu-se a um software de digitalização por scanner 3D (*Figura 46.*), que permitiu captar com elevado rigor os contornos, superfícies e proporções do volante original. Apesar deste processo exigir uma cuidada calibração e um intenso trabalho de tratamento da malha digital, esta etapa revelou-se imprescindível para assegurar a precisão geométrica indispensável ao redesign.



Figura 46. Digitalização do volante através de scanner 3D. Elaborado pela investigadora.

Com a base tridimensional consolidada, avançou-se para a fase de intervenção projetual através do software Shapr3D, escolhido pela sua capacidade de integrar de forma intuitiva processos de modelação complexos e pela facilidade em preparar componentes para impressão 3D. Neste contexto, emergiu um dos maiores desafios do percurso: o de ajustar milimetricamente todas as medidas ao volante físico existente, garantindo que as folgas e encaixes fossem funcionais, mas também estruturalmente consistentes. Este rigor dimensional constituiu um fator crítico para que a “*nova capa*” pudesse integrar-se harmoniosamente no corpo original do volante *MOMO*.

Ao longo da modelação, tornou-se evidente a necessidade de refinar e simplificar a configuração inicial, culminando na definição de uma solução composta por duas peças principais, a peça superior, concebida para integrar de forma discreta e eficiente os elementos eletrónicos (botões, *LED*’s, circuitos), e a peça inferior em formato *flat bottom*, que contribui para melhorar a ergonomia de utilização, além de facilitar o processo de fabrico e montagem. Esta decisão revelou-se um dos pontos de viragem do projeto, na medida em que garantiu clareza estrutural, legibilidade funcional e maior adaptabilidade pedagógica.



Figura 47. Conceito final (Renderização) do volante. Elaborado pela investigadora.

Uma vez consolidado o redesign do volante, procedeu-se ao desenvolvimento de um suporte ergonómico complementar, indispensável para assegurar a correta experiência de utilização em contexto formativo. Este suporte foi desenhado de forma a permitir estabilidade estrutural, ajustabilidade em relação à mesa e conforto no posicionamento do utilizador, reforçando a integração do conjunto como uma solução didática coerente.

Entre os principais sucessos alcançados, destaca-se a capacidade de conjugar herança formal e inovação funcional, respeitando a identidade visual da marca *MOMO* e, em simultâneo, introduzindo atributos ergonómicos, pedagógicos e tecnológicos que ampliaram o valor do produto. O processo de renderização final consolidou esta visão, permitindo materializar visualmente um protótipo que alia rigor dimensional, clareza funcional e coerência estética, reforçando a sua pertinência enquanto ferramenta de apoio ao ensino da condução automóvel.

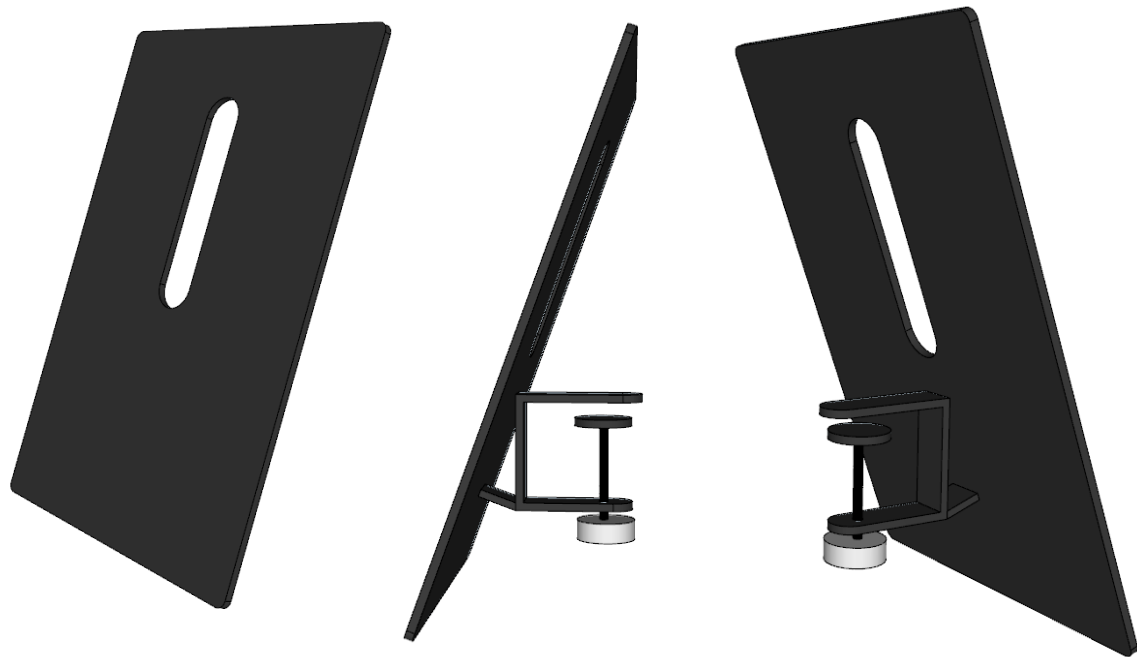


Figura 48. Conceito final (Renderização) do suporte ergonómico. Elaborado pela investigadora.

4.4. Componentes do produto

O volante simulador concebido neste projeto integra um conjunto articulado de elementos físicos e eletrónicos que, em sinergia, asseguram funcionalidade, ergonomia e uma experiência de utilização imersiva. Neste sentido, toda a estrutura foi desenvolvida para incorporar os componentes técnicos de forma eficiente, respeitando princípios de conforto, acessibilidade e manutenção.

4.4.1. Arquitetura funcional do volante

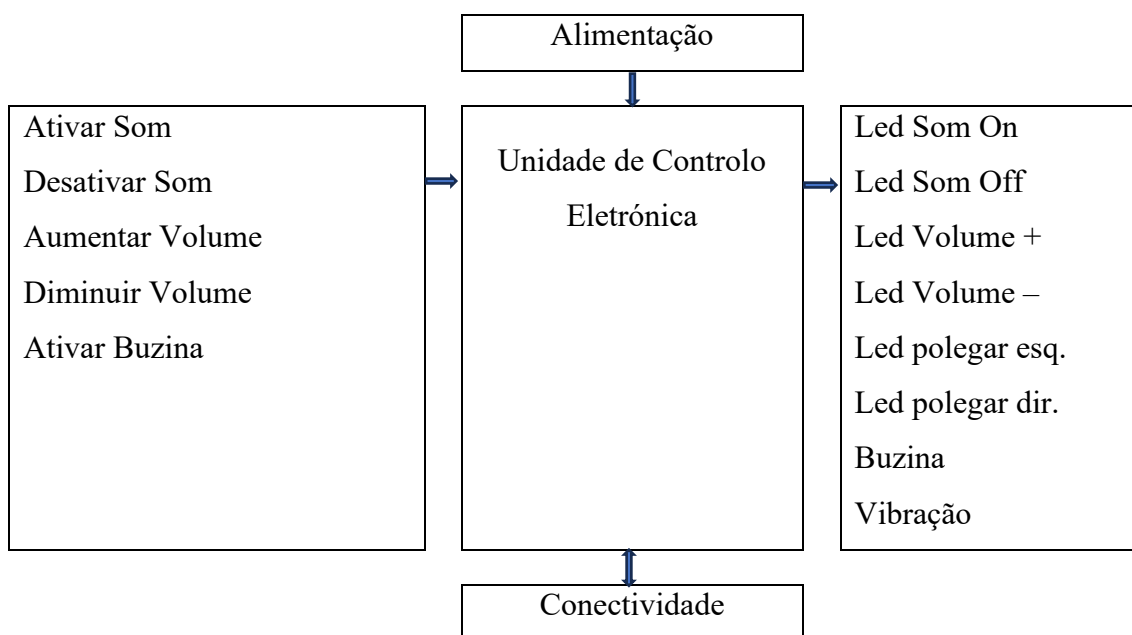


Figura 49. Diagrama funcional do volante. Elaborado pela investigadora.

Como se pode observar no esquema em cima representado (*Figura 49*), é possível atentar num diagrama de bloco funcional do volante proposto. O sistema é composto por 3 blocos: o bloco sensorial, o bloco de controlo e o bloco de interface com o utilizador.

O Bloco de Controlo (Unidade de Controlo Eletrónica), é responsável por interconectar todos os componentes do sistema. Ele é alimentado através de cabo *USB C*. Este bloco controla também, a aquisição de dados do bloco sensor. Os dados são processados e armazenados numa área de memória do microcontrolador. Por fim, este bloco envia por meio dos periféricos de saída, a informação para o bloco de interface com o utilizador. A conectividade com este, pode ser feita através de *Bluetooth*, *Hi-Fi* ou cabo *USB C*.

O Bloco Sensorial é composto por micro interruptores, que quando premidos, dão informação para ativar o som, desativar o som, aumentar o volume do rádio, diminuir o volume do rádio e ativar a buzina.

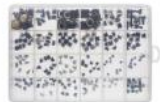
O Bloco de Interface com o utilizador permite informar sobre o estado do processo. Isto é, os *LEDs* estão ativos para indicação do posicionamento dos micro interruptores no volante, assim como, da posição dos polegares esquerdo e direito sobre os vibradores. Existem dois *LEDs* para visualização do estado ligado (*ON*) ou estado desligado (*OFF*) do som. Este bloco permite também, a ativação da buzina e a ativação dos vibradores.

4.4.2 Estrutura física e componente eletrônicos

Como ponto de partida, foi utilizado um volante original da marca MOMO, sobre o qual foram aplicadas adaptações personalizadas recorrendo à impressão 3D. Estas modificações incluem as bordas acolchoadas, a base inferior plana (*flat-bottom*) e a integração de botões físicos estrategicamente posicionados nas zonas de preensão. A parte central foi redesenhada com um botão de buzina, mantendo o logótipo original da marca. As peças adicionais foram concebidas com tolerâncias adequadas à tecnologia de fabrico aditivo, possibilitando o encaixe direto sobre a estrutura existente sem comprometer a integridade do conjunto. Internamente, os componentes eletrônicos foram organizados de forma racional, respeitando critérios de segurança, equilíbrio estrutural e eficiência funcional.

A lista completa dos elementos eletrônicos utilizados encontra-se sistematizada na tabela componentes eletrônicos (*Tabela 6*), incluindo designações técnicas, referências comerciais, quantidades. O conjunto final resulta numa solução modular e tecnicamente eficaz, orientada à experiência do utilizador em contextos de formação e simulação de condução automóvel.

Tabela 6. Componentes Eletrônicos. Elaborado pela investigadora.

	IMAGEM	COMPONENTE	REFERÊNCIA	UNIDADE
1		Microcontrolador ESO32-S3 USB-C	Waveshare 25517	1
2		Motor de Vibração (2,7mm)	MOT02072	2
3		Botão de Pressão Gigante Azul	CEL 10003	1
4		Conjunto de Botões de Pressão (x4)	CEL 10147	4
5		LEDs LilyPad Azuis (x2)	CEL 03018	2
6		Conversor Step-Down 9-36V para 5V USB	FAL08023	1
7		Kit de Fios Multifilares (10 cores)	CAB03001	1

4.5. Materiais e acabamentos

A seleção dos materiais e acabamentos desempenhou um papel determinante na definição do carácter funcional, ergonómico e simbólico do volante simulador, contribuindo simultaneamente para a sua durabilidade, conforto de utilização e expressividade visual. Enquanto principal ponto de contacto físico entre o utilizador e o sistema, o volante exige uma resposta tátil e visual coerente com a experiência que se pretende proporcionar, refletindo tanto os princípios da ergonomia aplicada como os valores da marca a que se associa.

Para o revestimento da superfície de preensão foi selecionado o material Alcântara, uma solução premium amplamente reconhecida no setor automóvel e aeronáutico, pela sua combinação de elegância, resistência e desempenho funcional. Este material distingue-se pela elevada durabilidade, conforto térmico e excelente aderência, proporcionando ao utilizador uma experiência de condução segura e ergonómica, mesmo em sessões prolongadas. Para além da sua textura suave e agradável ao toque, a Alcântara apresenta elevada resistência à abrasão e facilidade de manutenção, fatores determinantes em contextos de utilização intensiva. A escolha deste material responde ainda a critérios de inovação e sustentabilidade, dado que a sua produção segue processos com baixo impacto ambiental, conciliando sofisticação estética com responsabilidade ecológica e funcionalidade de elevada *performance*.

As costuras decorativas e funcionais do revestimento foram executadas em linha de cor preta, funcionando não apenas como elemento de reforço estrutural, mas também como um recurso estético subtil, conferindo sobriedade e uniformidade ao conjunto. A opção pelo preto permite uma integração visual harmoniosa com os tons dominantes do produto, reforçando a continuidade formal e assegurando uma leitura tátil discreta, sem comprometer a robustez, nem a perceção de qualidade do acabamento.

A paleta cromática adotada foi cuidadosamente estruturada para assegurar uma leitura visual clara e coerente com a lógica funcional do produto. A marcação superior recorrer ao amarelo (*Pantone 155C*), estrategicamente posicionada na parte superior do aro, funcionando como guia visual para a posição neutra do posicionamento do volante, e facilitando o alinhamento postural durante a utilização. A zona central e os braços laterais foram concebidos em cinza cimento, tom neutro que garante equilíbrio cromático e contraste adequado para destacar os

elementos funcionais. No centro, a buzina é envolvida por um círculo em azul escuro (*Pantone 2767C*), quase negro, que reforça a hierarquia visual do comando principal e acrescenta sofisticação estética ao conjunto. Os botões de interação direta (+ , - , volume e mute) recorrem a inscrições em azul, assegurando legibilidade imediata e diferenciando visualmente as funções. Complementarmente, as marcações em forma de impressão digital, aplicadas nas áreas de apoio para polegares, acrescentam um recurso gráfico ergonómico que orienta a correta posição de preensão, conciliando funcionalidade e expressividade visual.

A conjugação entre materiais técnicos e acabamentos visuais teve como prioridade a criação de uma interface física intuitiva, confortável e visualmente apelativa, refletindo os princípios de um design centrado na experiência do utilizador. Os contrastes cromáticos e táteis foram explorados de forma estratégica para garantir acessibilidade, clareza de leitura e adequação ao contexto de uso em ambientes de formação e simulação.

4.6 Protótipo final

Após a conclusão da fase de modelação tridimensional, com todas as definições e medidas ajustadas, procedeu-se à etapa de prototipagem física. Esta fase constituiu um dos maiores desafios do processo, uma vez que exigiu elevado rigor dimensional e sucessivas iterações até alcançar um resultado satisfatório.

O protótipo foi produzido por impressão 3D, utilizando filamento PLA Matte (*Polylactic Acid*), material reconhecido pela sua boa resistência mecânica, facilidade de acabamento e adequação a peças de teste. Para garantir precisão, foi necessário imprimir várias peças em separado (*Figura 50*), de forma a validar encaixes, tolerâncias e passagens destinadas aos componentes eletrónicos.



Figura 50. Primeiros testes de prototipagem. Elaborado pela investigadora.

Nos primeiros ensaios, a estrutura base foi introduzida sem a inclusão dos botões físicos, permitindo verificar apenas o ajuste dimensional e a ergonomia geral da peça. Apenas em iterações subsequentes foi possível incorporar corretamente o corte e alojamento dos botões, assegurando que estes se integrassem de forma precisa na superfície do volante e respondessem às necessidades funcionais previstas.

Durante estas fases iniciais, muitas das peças impressas apresentaram fragilidade e chegaram a partir no momento de encaixe no volante (*Figura 51*), evidenciando a necessidade de reajustar espessuras, reforçar zonas críticas e rever margens de tolerância. Foram assim necessários vários ciclos de impressão e teste até atingir a robustez adequada, garantindo que os componentes suportavam o manuseamento sem comprometer a integração estrutural.



Figura 51. Testes de prototipagem (com defeito)

Uma vez obtidas as peças estruturais, procedeu-se ao corte da base inferior para adaptação ao formato *flat-bottom*. Esta operação exigiu recurso a uma rebarbadora, seguida de um processo de lixagem com abrasivo de baixa dureza, que permitiu remover a camada superficial existente e preparar a superfície para posterior estufagem.



Figura 52. Processo de lixagem e corte. Elaborado pela investigadora.



Figura 53. Ajuste e aperfeiçoamento das peças finais. Elaborado pela investigadora.

Antes da aplicação do revestimento, procedeu-se à instalação do sistema eletrónico, de modo a assegurar a correta passagem dos cabos através do cubo posterior do volante. Esta etapa foi fundamental para garantir que todos os elementos, botões de pressão, *LEDs* e microcontrolador, se integrassem de forma discreta e funcional na estrutura.



Figura 54. Montagem dos componentes elétricos. Elaborado pela investigadora.

As peças impressas foram, de seguida, pintadas e submetidas a um processo de aperfeiçoamento manual para conferir maior qualidade estética e uniformidade ao acabamento. Após esta etapa, o volante foi novamente estofado, garantindo um revestimento ergonómico e agradável ao toque, adequado ao uso prolongado em contexto pedagógico.

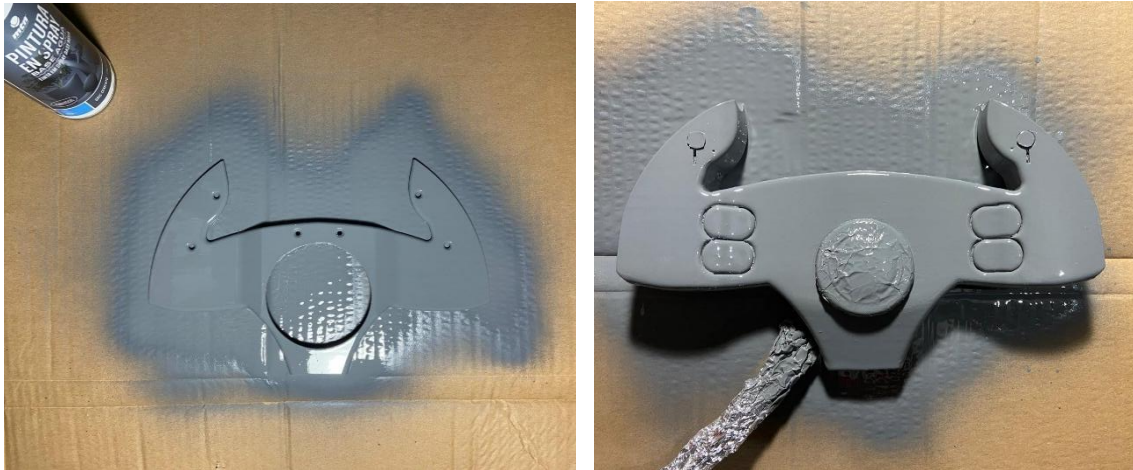


Figura 55. Fase de pintura. Elaborado pela investigadora.



Figura 56. Fase de estufagem e aplicação da peça central. Elaborado pela investigadora.



Figura 57. Protótipo Final. Elaborado pela investigadora

Paralelamente, desenvolveu-se também o protótipo do suporte ergonómico. Com base nos esboços projetuais, a peça foi enviada a um soldador especializado, que executou a estrutura em alumínio. Para permitir ajuste da altura do volante, integrou-se um rasgo longitudinal na base, associado a um manípulo com rosca, que possibilita a regulação vertical por sistema de aperto. Adicionalmente, foi incorporado um grampo ajustável, permitindo a fixação do suporte a mesas ou secretárias, assegurando estabilidade num ângulo aproximado de 20°.



Figura 58. Fase de soldadura. Elaborado pela investigadora.

Por fim, toda a estrutura foi pintada e revestida com uma textura de imitação de fibra de carbono, conferindo maior robustez e proteção contra o desgaste, mas também uma dimensão estética diferenciadora. Esta solução de acabamento, para além de assegurar maior durabilidade, reforça a perceção de modernidade e desempenho associada ao universo automóvel, transmitindo ao utilizador uma sensação de profissionalismo e qualidade. Assim, o resultado final apresenta-se coerente com a identidade projetual definida, garantindo simultaneamente funcionalidade, ergonomia e uma linguagem formal próxima dos padrões visuais do design automóvel contemporâneo.



Figura 59. Protótipo final do suporte ergonómico. Elaborado pela investigadora.

4.7. Funcionamento do protótipo final



Figura 60. Encaixe do suporte na mesa. Elaborado pela investigadora.



Figura 61. Ajuste de altura do volante. Elaborado pela investigadora.



Figura 62. Ajuste e posicionamento correto do volante. Elaborado pela investigadora.



Figura 63. Posicionamento do apoio de polegares (sensores de vibração) e utilização do botão volume (+). Elaborado pela investigadora.



Figura 64. Utilização do botão volume (-) e botão Mute. Elaborado pela investigadora.



Figura 65. Utilização botão (Som) e Buzina. Elaborado pela investigadora.



Figura 66. Movimentação do volante. Elaborado pela investigadora.

4.8. Validação do protótipo final

Com o objetivo de aferir a adequação do protótipo final às necessidades ergonómicas e estéticas previamente definidas, foi realizada uma sessão de validação com cinco participantes (*Figura 67*). Esta sessão assumiu a forma de um debate de grupo, centrado sobretudo em alguns aspetos fundamentais, a ergonomia na utilização do volante, incluindo as sensações de conforto, firmeza e segurança, transmitidas durante o manuseamento, e a perceção da sua estética exterior, associada à identidade visual e à qualidade percebida dos acabamentos.

A (*Figura 67*) documenta as interações e as reações espontâneas dos utilizadores durante a manipulação do protótipo. Ao longo da sessão, os participantes destacaram aspetos positivos, como a adaptação das zonas de apoio dos polegares, a clareza dos comandos integrados e a perceção de robustez do conjunto. Relativamente à componente estética salientaram a coerência entre as cores aplicadas e a identidade da marca, bem como a qualidade percebida nos acabamentos.

Do ponto de vista da experiência de utilização, os participantes referiram sentir conforto e firmeza ao segurar o volante, associando a geometria das pegadas a uma maior segurança e estabilidade durante a condução simulada. A presença das marcas digitais nos apoios foi apontada como um elemento intuitivo de posicionamento das mãos, aumentando a confiança no manuseamento. A ergonomia foi descrita como “natural”, facilitando a adaptação imediata ao produto e contribuindo para uma experiência de utilização envolvente e agradável. Foram também sugeridas pequenas melhorias, nomeadamente a otimização da transição entre materiais na zona de contacto direto com as mãos. De forma geral, o *feedback* recolhido, confirmou a pertinência das soluções adotadas, validando o equilíbrio alcançado entre funcionalidade ergonómica e expressividade formal.



Figura 67. Sessão de validação do protótipo. Elaborado pela investigadora.

CONCLUSÃO

A presente investigação teve como propósito explorar a relação entre o design de interfaces físicas e a experiência do utilizador no contexto da simulação automóvel, com destaque em particular no volante enquanto elemento central de interação. Pretendeu-se compreender de que forma os princípios do design emocional, da ergonomia e da usabilidade podem ser articulados na conceção de um volante simulador. Para além de cumprir uma função operativa, contribua para uma experiência mais imersiva, clara e envolvente durante o processo de aprendizagem da condução.

A análise do estado da arte desenvolvida na dissertação permitiu consolidar um corpo de conhecimento relevante sobre a evolução dos volantes automóveis e simuladores, bem como sobre as exigências funcionais, cognitivas e sensoriais associadas à sua utilização. Através da revisão bibliográfica, foi possível estabelecer um enquadramento conceptual que integrou as dimensões física e simbólica do volante, reconhecendo-o como uma interface que transcende a sua função mecânica e que comunica diretamente com o condutor.

Posteriormente, no decorrer da investigação, foi realizado um questionário que teve como finalidade recolher perceções reais de futuros condutores sobre aspetos ergonómicos, visuais e funcionais associados aos volantes. Através deste instrumento, foi possível identificar tendências, expectativas e dificuldades expressas pelos utilizadores em formação, permitindo validar pressupostos teóricos e orientar o desenvolvimento do projeto em função das reais necessidades dos utilizadores.

Estas evidências empíricas, articuladas com os contributos da revisão teórica, permitiram consolidar um quadro metodológico coerente para orientar o desenvolvimento projetual. Deste modo, foi possível estabelecer uma ponte entre os fundamentos conceptuais, as necessidades reais dos utilizadores e as soluções práticas materializadas no protótipo.

Com base nesses contributos, o processo projetual procurou conjugar estratégias de ideação e prototipagem com soluções orientadas à clareza visual dos comandos, ao conforto tátil e ao alinhamento entre forma e função. A proposta desenvolvida procurou incorporar elementos que favorecessem a intuição e a segurança, respeitando a linguagem estética da marca de referência e as exigências do objeto destinado à formação pedagógica.

Para além disso, importa destacar que a fundamentação teórica construída ao longo da dissertação serviu de suporte essencial para orientar o percurso projetual. A revisão de

literatura evidenciou a relevância da ergonomia, do design emocional e da usabilidade na eficácia dos simuladores de condução, demonstrando que a proximidade entre interfaces simulados e reais constitui um fator determinante para a transferência de competências.

No que respeita ao desenvolvimento projetual, a aplicação do modelo de *Design Thinking* e da lógica do *Double Diamond*, permitiu estruturar as fases de investigação, ideação, prototipagem e validação de forma integrada. Técnicas como *moodboards*, análise *SCAMPER* e modelação tridimensional, facilitaram a transformação dos dados empíricos em soluções formais e ergonómicas, equilibrando estética, conforto e clareza de uso.

A pré-validação do protótipo junto de utilizadores em processo de formação e de instrutores de condução permitiu confirmar a adequação da solução desenvolvida. Foram realçados como pontos fortes a ergonomia da pega, a clareza dos comandos e a simplicidade de interação, validando a pertinência do design adotado. Este processo foi igualmente relevante para identificar melhorias possíveis em versões futuras, reforçando o carácter iterativo do projeto.

A investigação permitiu, assim, demonstrar que o design centrado no utilizador constitui uma abordagem pertinente para repensar objetos técnicos sob uma perspetiva mais sensível, eficaz e humanizada. Ao colocar a experiência do condutor no centro do processo criativo, foi possível desenvolver uma proposta que, para além da funcionalidade, promove uma ligação mais empática com o ato de conduzir, contribuindo para ambientes de aprendizagem mais ricos, acessíveis e envolventes.

Em síntese, a investigação respondeu diretamente aos objetivos definidos no início, nomeadamente, compreender como os princípios do design emocional, da ergonomia e da usabilidade podem ser aplicados ao desenvolvimento de simuladores de condução, alcançando através da revisão teórica e da experimentação prática. Segue-se a exploração do potencial do design para promover experiências mais claras, seguras e envolventes em contexto pedagógico, confirmado pelos resultados do protótipo. E ainda, desenvolver uma proposta de volante simulador que conjugue valor funcional, científico e pedagógico, concretizado com a criação do *MOMO SSL (Surtees Special Learning)*, adaptado às necessidades reais dos futuros condutores.

Limitações e perspectivas futuras

A consolidação de uma abordagem pedagógica mediada por simuladores que aliam funcionalidade, estética e emoção poderá contribuir decisivamente para transformar a forma como se ensina, e se experiencia a condução automóvel. O presente projeto constitui, assim, um ponto de partida para futuras explorações que visem fortalecer a relação entre design, tecnologia e formação em mobilidade.

Apesar dos contributos alcançados com o desenvolvimento do volante simulador orientado à experiência do utilizador, reconhecem-se algumas limitações que condicionaram o alcance e a aplicabilidade integral dos resultados. Antes de mais uma das principais restrições prendeu-se com a falta de tempo para gerar um protótipo integralmente real (componentes de *hardware* associados a um *software*) e a impossibilidade de testar esse mesmo em contexto real de ensino formal. Ou seja, apesar da testagem formal, ergonómica e estética do produto, ficou a faltar esse aspeto de interface digital e relação com o analógico. Do ponto de vista técnico, o protótipo desenvolvido, embora funcional na sua essência, não contempla ainda todas as possibilidades de integração eletrónica prevista na fase conceptual. A incorporação de sistemas de feedback háptico, sensores biométricos e conectividade com plataformas de simulação avançada, constitui um potencial a explorar em fases subsequentes, podendo contribuir para um ambiente mais responsivo, realista e imersivo.

A integração deste aspeto teria permitido validar de forma mais robusta a eficácia pedagógica do dispositivo em interação direta com alunos e instrutores durante sessões simuladas de condução e, esse será um aspeto a considerar para um possível futuro prosseguimento de estudos. Esta ausência de interface digital num cenário institucionalizado de teste limitou assim as conclusões, quanto ao impacto do projeto no desempenho e na aprendizagem ao longo do tempo, mas constrói simultaneamente uma perspetiva futura de trabalho projetual multidisciplinar e de observação longitudinal.

Adicionalmente, a amostra utilizada na recolha de dados empíricos, embora útil para delinear tendências e identificar necessidades, revelou-se limitada em termos de diversidade geográfica e demográfica, o que poderá eventualmente afetar a generalização dos resultados. As respostas obtidas refletem maioritariamente as perspetivas de utilizadores em formação inicial, sendo ainda necessária uma análise mais aprofundada de perfis variados de condutores à posteriori, incluindo também indivíduos com mobilidade reduzida, utilizadores

com experiência avançada em simulação, e públicos com necessidades específicas.

Concluindo, abrem-se diversas perspectivas para investigações futuras. Seria pertinente a realização de estudos com amostras alargadas e diversificadas, assim como a implementação de testes comparativos entre diferentes modelos de simuladores utilizados em escolas de condução. Paralelamente, o avanço tecnológico permite equacionar a integração de inteligência artificial, reconhecimento gestual e interfaces adaptativas, promovendo soluções mais inclusivas e personalizadas. Do ponto de vista do design, propõe-se a continuação do desenvolvimento modular e multidisciplinar do volante, com peças intercambiáveis e configuráveis, ajustáveis a distintos contextos de ensino, perfis de utilizador e níveis de experiência.

Referências bibliográficas

- Allen, R. W., Rosenthal, T. J., & Cook, M. L. (2011). A short history of driving simulation. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird, & J. D. Lee (Eds.), *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*. CRC Press.
- Alves, P. R. de J. (2014). *Validação de simuladores de condução low-cost baseados em jogos sérios usando Heads-Up Display: Estudo de caso com simulação de dispositivos in-glass* (Dissertação de mestrado, Universidade do Porto). Repositório Aberto da U. Porto.
- Amortila, V., Mereuță, E., Rus, M., Veresiu, S., & Humelnicu, C. (2018). Positioning study of driver's hands in certain areas of the steering wheel. *MATEC Web of Conferences*, 178, 06014. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817806014>
- Anderson, P. (2019). The evolution of driving simulators: From military training to driver education. *Transportation History Journal*, 25(3), 45–60.
- Angelini, L., Caon, M., Carrino, F., Carrino, S., Lalanne, D., Khaled, O. A., & Mugellini, E. (2010). A multi-touch enabled steering wheel. In *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM.
- Autoevolution. (2025). *History of the steering wheel*. <http://www.autoevolution.com>
- Baldwin, N. (1972a). *A–Z of cars of the 1920s*. Bay View Books
- Baldwin, N. (1972b). *The world guide to automobiles*. Macdonald and Co.
- Boone, H. N., Jr., & Boone, D. A. (2012). Analyzing Likert data. *Journal of Extension*, 50(2), Article 30.
- Bojarski, M., et al. (2016). End to end learning for self-driving cars. *NVIDIA*. <https://developer.nvidia.com/blog/deep-learning-self-driving-cars/>
- Bonzanigo, C. (2021). *Cars, design and emotions: A celebration of aesthetic pleasure*. Artioli Editore.
- Bosch. (2020). *Steering systems: Electric power steering (EPS)*. Bosch Mobility Solutions. <https://www.bosch-mobility.com>
- BMW Group. (2023). *BMW iX steering wheel technology*. BMW PressClub Global. <https://www.press.bmwgroup.com>

- BMW Group. (2024). *BMW ConnectedDrive upgrades — Driving Assistant Plus (capacitance-based hands-on detection)*. BMW.com. <https://www.bmw.com>
- Braess, H., & Seiffert, U. (2005). *Handbuch Kraftfahrzeugtechnik* (4.^a ed.). Vieweg+Teubner.
- Braun, M., Alt, F., & Schneegass, S. (2020). What if your car would care? Exploring affective automotive user interfaces. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2004.02481>
- Brett, P. (2017). The history and development of flight simulators. *Journal of Aviation Technology*, 12(4), 203–217.
- Bruck, D., et al. (2021). A review of driving simulation technology and applications. *Advances in Transportation Studies*.
- Buchanan, R. (1992). Wicked problems in design thinking. *Design Issues*, 8(2), 5–21. <https://www.jstor.org/stable/1511637>
- Bürdek, B. E. (2006). *Design: História, teoria e prática do design de produto*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Calisto, V. (1967) *As rodas da capital: história dos meios de transporte da cidade de Lisboa*. Lisboa: Junta Distrital
- Car and Driver. (s.d.). *Telescoping steering wheel: Everything you need to know*. <https://www.caranddriver.com>
- CarBuzz. (s.d.). *Reinventing the wheel: The history and future of the steering wheel*. <https://carbuzz.com>
- Cardoso, R. (2008). *Uma introdução à história do design*. Blucher.
- Carmo, H., & Ferreira, M. M. (1998). *Metodologia da investigação: Guia para auto-aprendizagem*. Universidade Aberta.
- CarSpiritPK. (2020). *Steering wheel design evolution*. <https://carspiritpk.com/steering-wheel-design-evolution/>
- Cater, D. B., Allen, R. W., & McGehee, D. V. (2004). Development of the National Advanced Driving Simulator. *SAE Technical Paper 2004-01-1172*. <https://doi.org/10.4271/2004-01-1172>

- Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (2021). *Driving ergonomics*. <https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/driving.html>
- Carvalho, M., & Sousa, L. (2020). O papel dos simuladores na formação de condutores: Benefícios e desafios. *Revista Portuguesa de Segurança Rodoviária*, 14(3), 78–92.
- Citroën. (n.d.). *DS 19: Une légende automobile*. Citroën Portugal. <https://www.citroen.pt>
- Cole, C. (2013, 10 de novembro). Infiniti Q50 gets direct adaptive steering. *AutoGuide.com*. <https://www.autoguide.com/auto-news/2013/11/2014-infiniti-q50-gets-direct-adaptive-steering.html>
- Consolo, C. (2015). *Marcas - design estratégico: O símbolo na gestão da identidade corporativa*. Blucher.
- Continental. (2016, 10 de maio). With one single swipe: Continental integrates gesture-based control into the steering wheel. <https://www.continental.com>
- Costa, J., & Martins, R. (2019). *Educação Rodoviária e segurança no trânsito: contributos para a formação dos condutores*. *Revista Portuguesa de Segurança Rodoviária*, 12(2), 45–60.
- Coxon, S., Napper, R., & Richardson, M. (2018). *Mobilidade urbana projeto*. Elsevier.
- Desmet, P. M. A., & Hekkert, P. (2007). Framework of product experience. *International Journal of Design*, 1(1), 13–23
- De Winter, J. C. F., van Leeuwen, P. M., & Happee, R. (2012). Advantages and disadvantages of driving simulators: A discussion. *Measuring Behavior 2012*, 47–50
- DINED. (2004). *Database for anthropometric data*. Delft University of Technology. <https://dined.io.tudelft.nl/>
- Döring, T., Kern, D., Marshall, P., Pfeiffer, M., Schöning, J., Gruhn, V., & Schmidt, A. (2011). Gestural interaction on the steering wheel: Reducing the visual demand. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM.
- Ekşioğlu, M., & Kızılaslan, R. (2008). Steering-wheel grip force characteristics of drivers as a function of gender, speed, and road condition. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(3), 230–241. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.03.002>
- Ellingstad, V. S. (1970). *Driver education and the adolescent: A study of the psychological*

effects of a driver education program. University of Minnesota Press.

Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32–64.

Est Républicain. (2021, 22 de julho). C'est arrivé le 22 juillet 1894: La première compétition automobile. *Est Républicain*. <https://www.estrepublicain.fr>

European Transport Safety Council. (2010). *Road safety performance index*. ETSC. <https://etsc.eu>

European Transport Safety Council. (2018). *Best practice for driver training and testing*. <https://etsc.eu/wp-content/uploads/2018/02/Driver-training-best-practice.pdf>

Fanatec. (2023). *CSL DD – Direct Drive Wheel Base*. Fanatec. <https://www.fanatec.com>

Ferrari. (s.d.-a). *Ferrari 250 GT SWB*. Ferrari. <https://www.ferrari.com>

Ferrari. (s.d.-b). *Ferrari SF90 Stradale*. Ferrari. <https://www.ferrari.com>

Fisher, D. L., Pollatsek, A., & Pradhan, A. (2002). Can novice drivers be trained to scan for information that will reduce their likelihood of a crash? *Injury Prevention*, 8(Suppl 2), ii25–ii29. https://doi.org/10.1136/ip.8.suppl_2.ii25

Foster, P. (2015). The design of the steering wheel: Evolution and ergonomics. *Car Design Yearbook* (Vol. 11).

Ford Motor Company. (s.d.). *History of the Model T*. <https://corporate.ford.com/articles/history/the-model-t.html>

Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press.

Georgano, G. N. (2000). *The Beaulieu Encyclopedia of the Automobile* (Vols. 1–3). Fitzroy Dearborn Publishers.

Gomes, R. (2009). Análise e interpretação de dados de pesquisa qualitativa. In M. C. S. Minayo (Org.), *Pesquisa social: Teoria, método e criatividade* (p. 79). Vozes.

Hartley, J. (2016). Naturalistic observation of drivers' hands, speed and headway. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 41, 111–121.

Helander, M. G. (2006). *A guide to human factors and ergonomics* (2nd ed.). CRC Press.

- Hirsch, P., Campeau, R., & Bissonette, J. (2016). Training novice learner drivers on driving simulators in Quebec – Process and outcomes. In *Proceedings of the CARSP Conference*. Canadian Association of Road Safety Professionals. <https://carsp.ca>
- Hori. (2023). *Wireless Racing Wheel Apex for PlayStation & PC*. Hori. <https://hori.jp>
- Hoz, A. (1985). *Investigación educativa: Diccionario de ciencias de la educación*. Ediciones Anaya.
- Hyundai Motor Company. (2020). *Health monitoring technologies in next-gen EVs*. Hyundai Newsroom.
- Infiniti News. (2013, 10 de julho). *Steering a safer path: Infiniti Q50 first to feature electronic steer-by-wire*. Disponível em <https://usa.infinitinews.com/en-US/releases/release-9c7a8f959931406a86aae9b254736d07>
- IMTT, I.P. (2010a). *Manual do ensino da condução*. Lisboa: Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P.
- IMTT. (2010b). *Função e tarefa da condução*. Lisboa: Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P.
- Instituto da Mobilidade e dos Transportes. (2006). *Decreto-Lei n.º 138/2006*. Diário da República.
- Instituto da Mobilidade e dos Transportes. (2023). *Código da Estrada* (25.^a ed.). Almedina.
- Interaction Design Foundation. (2018). *The basics of user experience (UX) design*. <https://www.interaction-design.org/>
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 7250-1:2017 – Basic human body measurements for technological design – Part 1: Body measurement definitions and landmarks*. <https://www.iso.org/standard/65294.html>
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 26262: Road vehicles – Functional safety*. ISO.
- ISO. (2017). *ISO 15005:2017 — Road vehicles — Ergonomic aspects of transport information and control systems — Dialogue management principles*. Genebra: International Organization for Standardization.
- ISO. (2018). *ISO 26262-1:2018 — Road vehicles — Functional safety*. Genebra:

International Organization for Standardization.

ISO. (2019). *ISO 9241-210:2019 — Ergonomics of human-system interaction — Human-centred design for interactive systems*. Geneva: International Organization for Standardization.

ISO/IEC. (2018). *ISO/IEC 30141:2018 — Internet of Things (IoT) — Reference architecture*. Geneva: International Organization for Standardization.

ISO/SAE. (2021). *ISO/SAE 21434:2021 — Road vehicles — Cybersecurity engineering*. Geneva: International Organization for Standardization.

Jansen, Y., Colley, A., & Rukzio, E. (2022). A design space for human sensor and actuator focused in-vehicle interaction. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2210.12493>

Jones, R., & Smith, T. (2019). *Early flight training devices and their evolution*. Aviation Safety Review, 8(1), 45-58.

Kaptein, N. A., Theeuwes, J., & Van der Horst, A. R. A. (1996). Driving simulator validity: Some considerations. *Transportation Research Record*, 1550, 30–36. <https://doi.org/10.1177/0361198196155000105>

Kimes, B. R., & Clark, H. A. (1996). *Standard catalog of American cars: 1946–1975*. Krause Publications.

Kirsch, D. A. (2008). *The Electric Vehicle and the Burden of History*. Rutgers University Press

Kranzberg, M. (1983). Technology and history: “Kranzberg's laws”. Lecture presented at the Society for the History of Technology. Informação recuperada de *Rallye 125 anos – História da Tecnologia*.

Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (1991). *Técnicas de pesquisa* (2.^a ed.). Atlas.

Lamborghini. (s.d.). *Lamborghini Urus*. Automobili Lamborghini. <https://www.lamborghini.com>

Lévi-Strauss, C. (1975). *Aula inaugural*. In A. Zaluar (Org.), *desvendando máscaras sociais* (pp. 211–244). Francisco Alves.

Lexus. (2024). *RZ 450e: Tecnologias de ponta no volante yoke*. Lexus Portugal. <https://www.lexus.pt>

- Löbach, B. (1976). *Design industrial*. Edgard Blücher.
- Logitech. (2020). *G923 TrueForce Racing Wheel*. Logitech G. <https://www.logitechg.com>
- Lot, A., & Consolo, C. (2023). Design for new perspectives in urban mobility. *Base Diseño e Innovación*, 8, 84–99. <https://doi.org/10.52611/bdi.num8.2023.849>
- Lumsden, J., & Petty, M. (2008). Human-machine interaction in automotive design. In C. Harper (Ed.), *Automotive user interfaces* (pp. 123–146). Springer.
- Martins, R., & Ribeiro, F. (2021). Avaliação do feedback de força em volantes de simuladores de condução. *Revista de Engenharia Automóvel*, 15(1), 22-36.
- Martins, R., & Lopes, F. (2019). *Limitações dos simuladores na formação rodoviária: uma análise crítica*. *Revista de Transportes*, 11(2), 33-47.
- McFadden, M., Powers, J., & Walker, M. (2000). Vehicle and driver attributes affecting steering wheel distance. *Human Factors*, 42(4), 676–682. <https://doi.org/10.1518/001872000779698171>
- Mercedes-Benz. (2020a). *Next-gen steering wheel with touch control*. Mercedes-Benz Media. Disponível em <https://media.mercedes-benz.com>
- Mercedes-Benz. (2020b). *New steering wheel generation with capacitive hands-off detection (E-Class)*. Disponível em <https://media.mercedes-benz.com>
- Military Aviation Museum. (2024, 7 de outubro). Link C-3 Flight Trainer – Atualização da restauração. *Military Aviation Museum*. <https://www.militaryaviationmuseum.org/link-c-3-flight-trainer-restoration-update/>
- Minayo, M. C. S. (2012). Análise qualitativa: Teoria, passos e fidedignidade. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(3), 621–626. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000300007>
- Ministério das Cidades. (2006). *Curso Gestão Integrada da Mobilidade Urbana: Módulo I – Política Nacional de Mobilidade Urbana*. Programa Nacional de Capacitação das Cidades. <https://www.solucoesparacidades.com.br>
- Mobilidade. (2008–2024). In *Dicionário Priberam da Língua Portuguesa* (versão online). <https://dicionario.priberam.org/mobilidade>
- Mom, G. (2014). *Atlantic automobilism: Emergence and persistence of the car, 1895–1940*. Berghahn Books.

- MOMO. (s.d.-a). *About us*. <https://www.momo.com/en-us/about-us>
- MOMO. (s.d.-b). *Montecarlo steering wheel*. <https://www.momo.com/en-us/product/montecarlo-steering-wheel>
- Mossey, M. E., Xi, Y., McConomy, S. K., Brooks, J. O., Rosopa, P. J., & Venhovens, P. J. (2014). Evaluation of four steering wheels to determine driver hand placement in a static environment. *Applied Ergonomics*, 45(4), 1187–1195. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.02.008>
- Motor24. (2020). A evolução do volante ao longo de mais de 100 anos. *Motor24.pt*. <https://www.motor24.pt/motores/a-evolucao-do-volante-ao-longo-de-mais-de-100-anos/928143/>
- MOZA Racing. (2024). *FSR Formula Wheel*. MOZA Racing. <https://mozaracing.com>
- Munari, B. (2006). *Das coisas nascem coisas: Introdução ao método projetual*. Martins Fontes.
- Nevin, T. (2007). *Henry Ford and the Model T: The car that changed the world*. Motorbooks International.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- Norman, D. A. (2004). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*. Basic Books.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Rev. & expanded ed.). Basic Books
- Pereira, M. (2017). *História da Educação Rodoviária em Portugal*. Lisboa: Edições Académicas.
- Pereira, J., & Gomes, A. (2020). Simuladores de condução: Uma ferramenta essencial na formação de condutores. In *Congresso Internacional de Segurança Rodoviária* (pp. 120–130). Universidade do Porto.
- Pereira, J., & Gomes, A. (2022). Simuladores de condução e a transferência de competências: Análise dos componentes de controlo. *Revista Portuguesa de Tecnologia Automóvel*, 18(2), 55–67.
- Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2006). *Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work* (3rd ed.). Taylor & Francis

Phelan, M. (2009). GM's innovations in comfort and control: A retrospective. *Automotive History Review*, 58(4), 212–220.

PistonHeads UK. (s.d.). *PH origins: Hydraulic power steering*. <https://www.pistonheads.com/news/ph-origins/ph-origins-hydraulic-power-steering/38931>

Pinto, A. J. C. (2016). *Atualização de simulador físico de condução automóvel por integração de sistema de realidade virtual* (Dissertação de mestrado). Universidade do Porto. Repositório Aberto da U. Porto.

Porsche. (s.d.). *911 GT3 RS (2022–)*. Porsche AG. <https://www.porsche.com/international/models/911/911-gt3-rs/911-gt3-rs/>

Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2005). *Design de interação: Além da interação homem-computador* (L. C. Fernandes, Trad.). Bookman. (Obra original publicada em 2002).

Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press.

Reed, M. P., Manary, M. A., Flannagan, C. A., & Schneider, L. W. (1998). Vehicle occupant posture prediction for use with human models. In *Proceedings of the 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*. National Highway Traffic Safety Administration.

Reed, M. P., Manary, M. A., & Schneider, L. W. (2002). *Methods for measuring and representing automobile occupant posture* (SAE Technical Paper 2002-01-0528). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2002-01-0528>

Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Bowerly, T., Van Der Zaag, C., Humphrey, L., Neumann, U., & Kim, L. (2004). Virtual environment applications in clinical neuropsychology. *Proceedings of the IEEE*, 92(4), 654–664. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2004.825884>

Robert Bosch GmbH. (2020). *Electric power steering systems: The basis for automated driving and intelligent vehicle communication*. Bosch Mobility Solutions. <https://www.bosch-mobility.com>

Rodrigues, J. C. B. (2012). *A implementação do automóvel em Portugal (1895–1910)* (Tese de doutoramento). Universidade Nova de Lisboa. <https://run.unl.pt/handle/10362/9676>

SAE International. (1995). *SAE J287: Driver hand-control reach*. Society of Automotive Engineers.

- SAE International. (2021). *Levels of driving automation are defined in new SAE J3016™ standard*. Society of Automotive Engineers. https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- Santos, B. S. (2005). *Discurso sobre as ciências*. Cortez.
- Science Museum Group. (s.d.). *Fardier stream carriage*. <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co25106/fardier-stream-carriage>
- Schmarbeck, W. (1982). *Mercedes-Benz: Personenwagen 1886–1986*. Motorbuch Verlag.
- Silva, L., & Almeida, F. (2015). Formação de condutores e segurança rodoviária. *Revista de Transportes e Segurança*, 8(1), 32-41.
- Silva, L., Almeida, F., & Costa, J. (2020). Realismo nos simuladores de condução: desafios na simulação do volante e feedback tátil. *Journal of Vehicle Simulation Research*, 9(4), 101-115
- Silva, L., Almeida, F., & Costa, J. (2021). Efeitos da cinetose virtual em simuladores de condução. *Revista Portuguesa de Psicologia*, 23(1), 59-70.
- Simagic. (2022). *Alpha Mini Direct Drive Wheelbase*. Simagic. <https://simagic.com>
- Smith, L. (2020). The impact of flight simulators on pilot training and safety. *International Journal of Aerospace Engineering*, 15(2), 120–133.
- Souza, C. A. O. (2020). *O efeito da distração na condução: Análise em ambiente simulado* (Dissertação de mestrado). Universidade de Coimbra. Repositório Estudo Geral.
- Takeuchi, S., Nishikawa, M., Suzuki, T., Shinzato, T., & Miyata, M. (2000). *Ergonomic considerations in steering wheel controls* (SAE Technical Paper No. 2000-01-0169). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2000-01-0169>
- Tesla, Inc. (2021). *Model S Plaid interior and controls overview*. Tesla. <https://www.tesla.com/modelS>
- Thrustmaster. (2021). *T-GT II Racing Wheel*. Thrustmaster. <https://www.thrustmaster.com/en-us/products/t-gt-ii/>
- UNECE. (2021a). *UN Regulation No. 155 — Cyber security and cyber security management system*. United Nations Economic Commission for Europe. <https://unece.org>

- UNECE. (2021b). *UN Regulation No. 156 — Software update and software update management system*. United Nations Economic Commission for Europe. <https://unece.org>
- Walton, D. K., & Thomas, J. A. (2005). Naturalistic observations of driver hand positions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(3), 229–238.
- Warnecke, J. M., Paal, M., Quang, N. H., Koelpin, A., & Kasper, M. (2022). Printed and flexible ECG electrodes attached to the steering wheel for continuous health monitoring during driving. *Sensors*, 22(11), 4198. <https://doi.org/10.3390/s22114198>
- Wise, D. B. (1970). *Veteran and vintage cars*. Hamlyn.

Apêndices

Apêndice 1: Questionário



Universidade Lusíada
Centro Universitário Lusíada - Norte

QUESTIONÁRIO

O seguinte questionário está integrado numa investigação de mestrado realizada no âmbito do mestrado em Design de Produto da Faculdade de Arquitetura e Artes da Universidade Lusíada Norte, campus do Porto. A investigação, da autoria de Diana Veloso, foca-se no desenvolvimento de um volante simulador de condução orientado à experiência do utilizador. A sua projeção concentra-se essencialmente na idealização de um componente único, de uso simplificado e intuitivo, que apresente num todo, condições e funcionalidades indispensáveis para a formação de novos condutores no sistema rodoviário.

Neste sentido, pedia-lhe que por favor responda ao seguinte questionário de acordo com as suas preferências e experiências, salvaguardando que todos os dados fornecidos são confidenciais e, apenas serão utilizados para fins estatísticos e académicos no âmbito da investigação acima mencionada.

Agradeço desde já a sua colaboração.

Dados Demográficos

1. Género:
☐ Feminino ☐ Masculino ☐ Prefiro não dizer ☐ Outro: _____
2. Faixa etária (em anos)
☐ Menos de 18 ☐ 18-24 ☐ 25-34 ☐ 35-44 ☐ 45-54 ☐ Mais de 55

Experiência com Simuladores

3. Numa escala de 0 a 10, como qualifica a sua experiência com simuladores?
(em que 0 – Nenhuma experiência e, 10 – Muito experiente)
☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10

Para cada uma das seguintes afirmações, indique o seu grau de concordância usando a seguinte escala:

0 – Não aplicável | 1 – Discordo Totalmente | 2- Discordo | 3 – Neutro | 4 – Concordo | 5 – Concordo Totalmente

Importância do Simulador

4. Acha que a implementação de volantes simuladores nas escolas de condução pode melhorar a formação de novos condutores?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Conforto e Ergonomia do volante

5. O tamanho / formato do volante influencia a experiência?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
6. O apoio para polegares melhora a experiência de condução?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
7. As bordas acolchoadas aumentam o conforto?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
8. Sendo um componente de carácter individual, acha que o peso do volante pode ser um fator determinante durante a sua utilização?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
9. O material do volante deve ser confortável ao toque, mesmo após uso prolongado?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Funcionalidade e Usabilidade

10. O volante deve ser intuitivo e assemelhar-se o mais possível ao volante convencional, mantendo as suas principais funcionalidades (buzina, botões multifunções)?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
11. O volante deve ser ajustável (altura, profundidade) para diferentes tipos de utilizadores?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
12. É importante o volante incorporar estrategicamente indicadores visuais, sonoros e/ou feedback tátil para aprimorar a experiência, sem que isso provoque distrações ao candidato a condutor?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
13. Acha relevante o volante incluir uma marcação ao centro do volante, que indique quando a direção do automóvel está alinhada?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Design e Aparência

14. É importante o volante ter um design e texturas realistas?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
15. O design de um volante deve ser moderno e atrativo para novos condutores?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
16. Acredita que a aparência de um volante pode contribuir para uma maior confiança no exercício da condução?
- ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

17. Numa escala de 0 a 10, avalie a importância da aparência de um volante simulador de condução automóvel?

(em que 0 – Nada importante e, 10 – Muito importante)

☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10

Preferências de Design

18. Para garantir visibilidade, conforto e profissionalismo, quais das seguintes combinações de cores considera a mais viável? (assinale as opções que considera mais aplicáveis):

☐ Preto e Cinza ☐ Preto e Azul ☐ Preto e Amarelo ☐ Cinza e Branco
☐ Preto e Branco ☐ Outra: _____

19. Indique, qual das seguintes características proporcionará mais conforto ao segurar um volante? (assinale as opções que considera mais aplicáveis):

☐ Suave ao Toque ☐ Firme e Resistente ☐ Boa Aderência
☐ Formato Ergonómico ☐ Textura Neutra ☐ Outra: _____

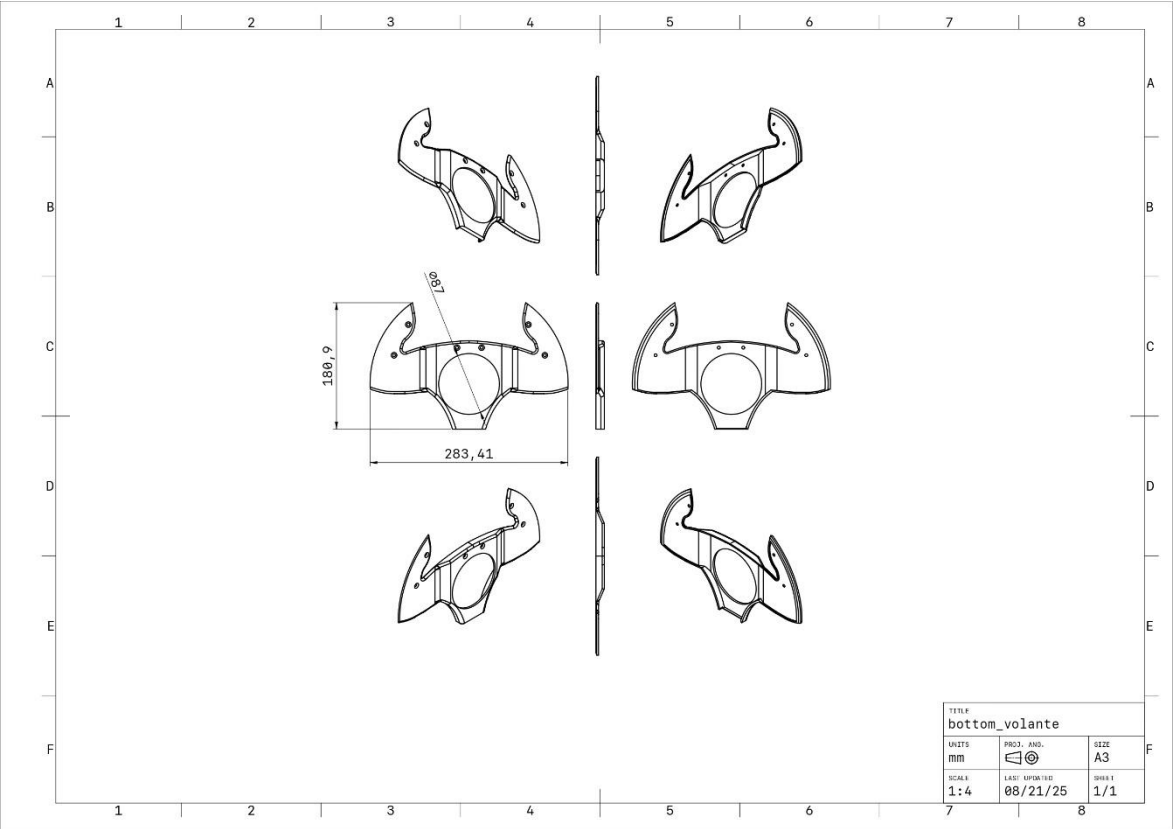
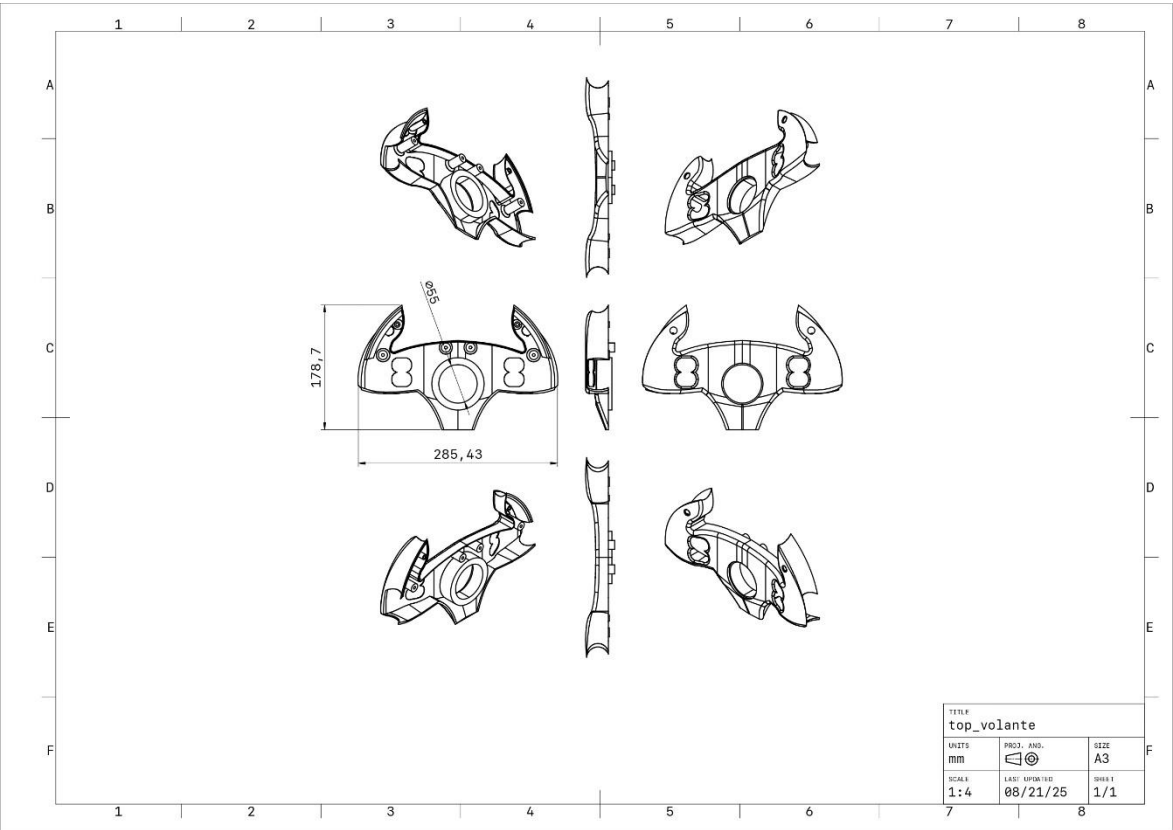
Melhorias e Sugestões

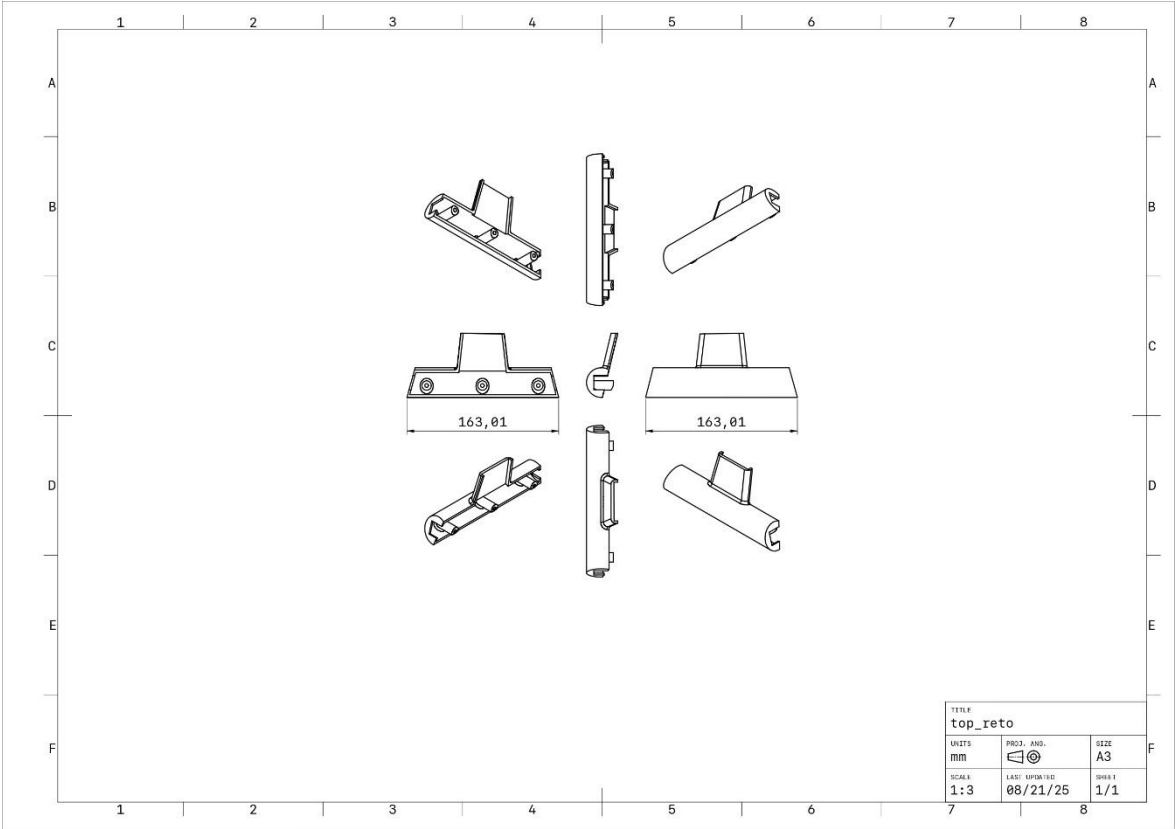
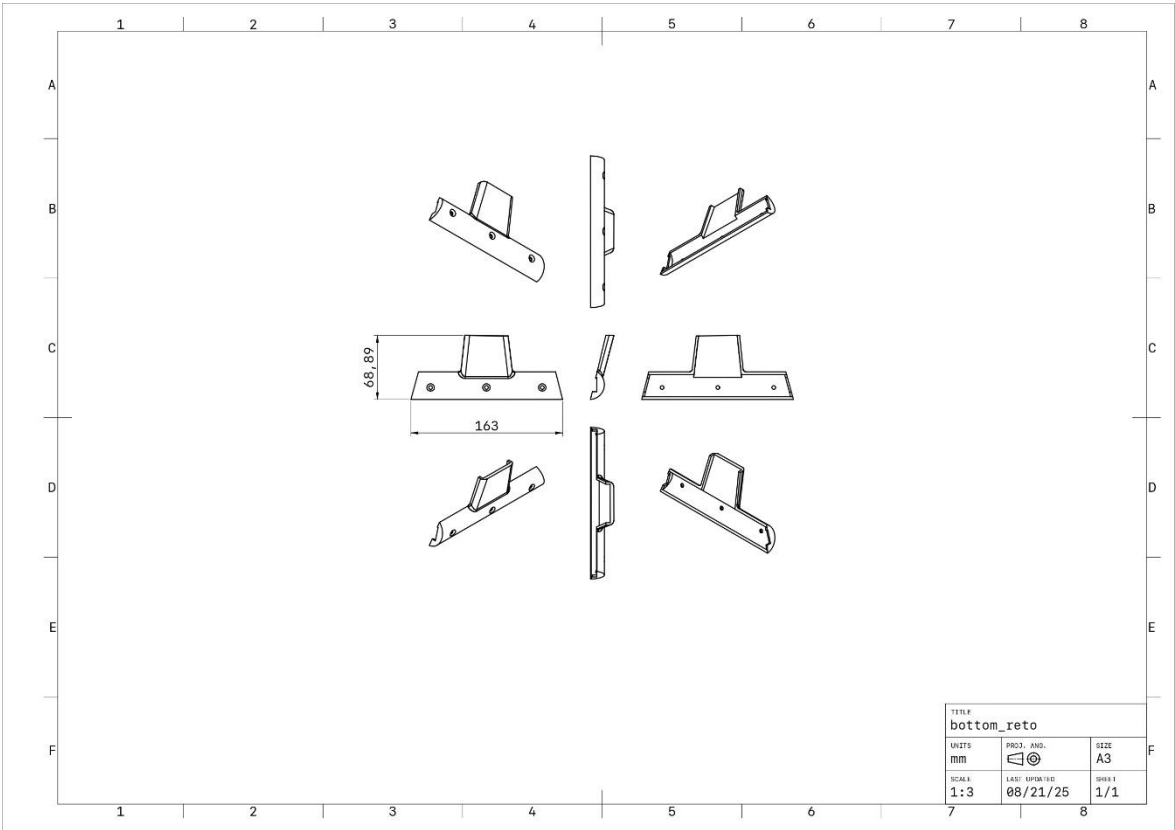
20. Há algo específico que gostaria de acrescentar ao design do volante simulador para a formação de condutores?

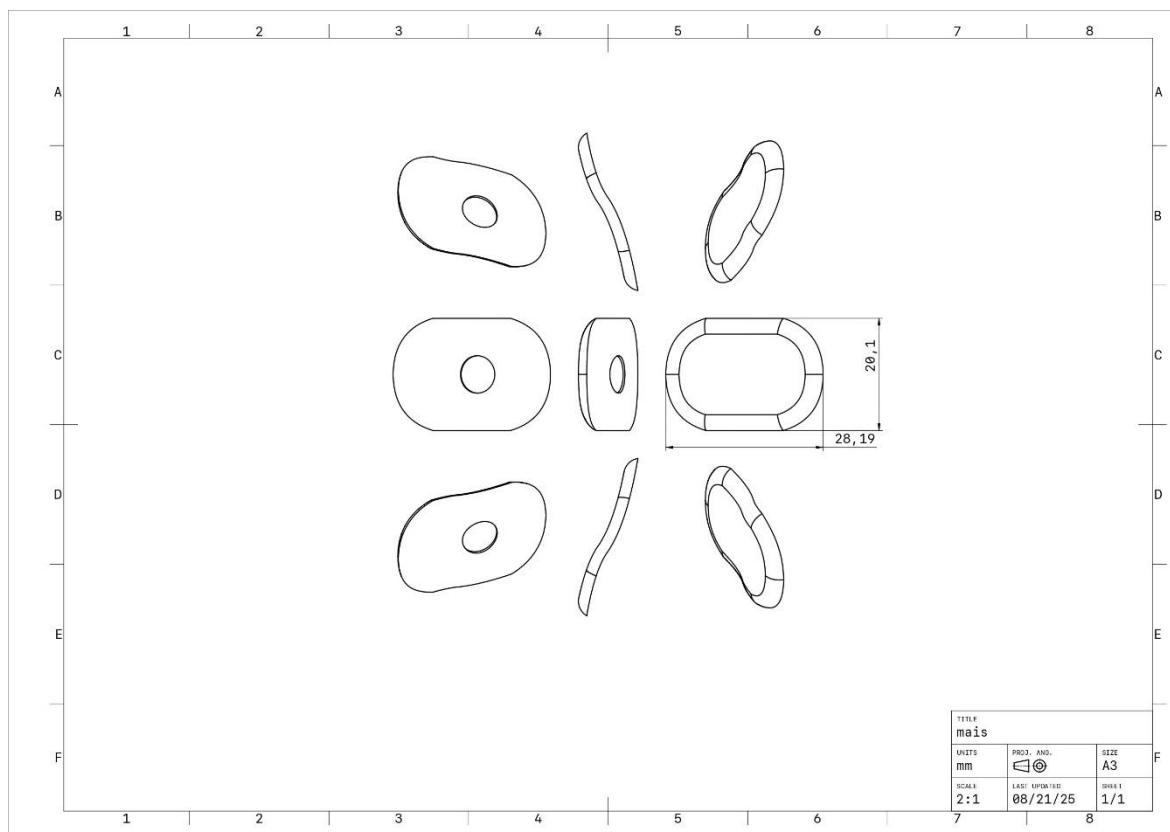
21. Na sua opinião quais os principais desafios para um candidato a condutor que possa ser resolvido através de um simulador?

Muito obrigada.

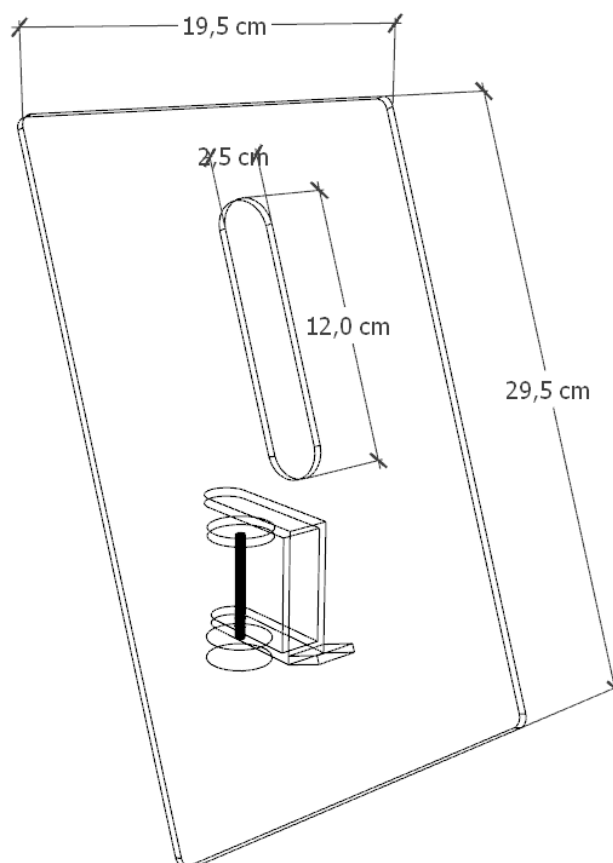
Apêndice 2: Desenhos técnicos do volante







Apêndice 3: Desenhos técnicos do suporte ergonómico



Anexos

Anexo 1: Pesquisa de campo em superfícies comerciais

Superfície comercial: FNAC

