

**Gramática háptica**  
**Proposta exploratória para o design de interfaces táteis**  
Versão final após defesa

**Ricardo Morais Baldaia**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em  
**Design Multimédia**  
2º ciclo de estudos

Orientadora: Professora Doutora Joana Casteleiro Alves Pitrez Ferreira  
Co-orientadora: Professora Doutora Sara Velez Estêvão

**Junho de 2025**





## Declaração de Integridade

Eu, Ricardo Morais Baldaia, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição m11904 de Design Multimédia da Faculdade de Artes e Letras, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridade da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 18/03/2025



(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente

assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)



## Agradecimentos

Estou muito grato por este percurso e pelas pessoas que permaneceram e pelas que surgiram durante esta etapa da minha vida. Em primeiro lugar aos meus Maravilhosos Pai e Mãe, que nunca me faltaram com nada e sempre estiveram presentes de corpo e espírito, principalmente nos momentos mais difíceis. Em segundo lugar ao meu Grande irmão Daniel Baldaia que continuou a fazer o que sempre fez enquanto irmão mais velho, ao desafiar-me e ajudar-me a alcançar este objetivo. Igualmente à minha querida Mariana Costa que me ouviu nos melhores e piores momentos e nunca me deixou desistir.

Agradeço muito à minha orientadora Joana Casteleiro que nunca vacilou nas tribulações que ocorreram durante o desenvolvimento desta dissertação, e pela assiduidade e presença constantes na resposta a dúvidas e correções. Também à minha co-orientadora Sara Velez que me auxiliou com bibliografia crucial durante a fase de investigação.

Por fim e não menos importante aos meus grandes amigos que a Covilhã me ofereceu durante esta vida de estudante: Hugo Vieira, Pedro Gouveia, Nuno Cristóvão, Diana Mota, Inês Santos, Inês Albuquerque, Bruno Pina, Francisco Fonseca, Guilherme Mendes, Carolina Morgado, Galina Filipescu, Miguel Manteigueiro, Bruno Monteiro e (mais longe daqui) o grande Diogo Tavares, a todos um eterno Obrigado!



## Resumo

O advento do computador veio transformar as interações do ser humano com os meios que o rodeiam, principalmente no contexto digital. Desde então, observa-se uma influência crescente do mundo físico sobre o digital, inicialmente a nível gráfico e, mais recentemente, no âmbito da experiência de utilização. Neste enquadramento, a interação háptica assume um papel central, constituindo-se como um elemento fundamental na promoção de uma conexão sensorial mais tangível e imersiva com as interfaces digitais.

A presente dissertação tem como objetivo promover uma maior aproximação entre o mundo físico e as interfaces digitais, através do desenvolvimento de uma proposta exploratória de gramática háptica, complementar à gramática gestual. A proposta é concebida para os *smartphones*, *tablet* e *smartwatches*, privilegiando uma interação baseada em gestos realizados pelo utilizador, complementada por *feedback* háptico fornecido pelo dispositivo. Esta abordagem visa criar uma interação homem-computador (HCI) mais próxima, rica e completa.

A investigação é estruturada em duas partes: Numa primeira fase, foi realizada uma revisão bibliográfica exaustiva, acompanhada da descrição detalhada do estado da arte, com o objetivo de mapear os principais conceitos, abordagens e contributos relevantes para a área em estudo. Na segunda fase, foi desenvolvida uma proposta exploratória de gramática háptica, que se baseou nas aprendizagens e lacunas identificadas na fase inicial.

A proposta de gramática háptica apresentada pode constituir um passo importante para o avanço das interações digitais baseadas no tato, promovendo a uniformização do *feedback* háptico, facilitando a sua adoção e aplicação por designers e desenvolvedores, e proporcionando aos utilizadores experiências sensoriais mais imersivas e enriquecedoras.

## Palavras-chave

Design de Interação; Interface Háptica; *Feedback*; Gramática Háptica; Experiência de Utilização; Ecrã.



# **Abstract**

The advent of the computer has transformed human interactions with the media around them, especially in the digital context. Since then, there has been a growing influence of the physical world on the digital one, initially at a graphic level and, more recently, in terms of the user experience. In this context, haptic interaction plays a central role and is a fundamental element in promoting a more tangible and immersive sensory connection with digital interfaces.

The aim of this dissertation is to bring the physical world and digital interfaces closer together by developing an exploratory haptic grammar proposal that complements gestural grammar. The proposal is designed for smartphones, tablets and smartwatches, prioritising interaction based on gestures made by the user, complemented by haptic feedback provided by the device. This approach aims to create a closer, richer and more complete human-computer interaction (HCI).

The research is structured in two parts: In the first phase, an exhaustive bibliographical review was carried out, accompanied by a detailed description of the state of the art, with the aim of mapping the main concepts, approaches and contributions relevant to the area under study. In the second phase, an exploratory proposal for a haptic grammar was developed, based on the lessons learnt and gaps identified in the initial phase.

The haptic grammar proposal presented could be an important step towards advancing touch-based digital interactions, promoting the standardisation of haptic feedback, facilitating its adoption and application by designers and developers, and providing users with more immersive and enriching sensory experiences.

## **Keywords**

Haptic Interface; Interaction Design; Feedback; Haptic Grammar; User experience; Screen.



# Índice

<b>Índice de figuras</b>	xii
<b>Índice de tabelas</b>	xv
<b>Índice de acrónimos</b>	xvii
<b>Introdução</b>	1
<b>Capítulo 1. Design de interação</b>	5
1.1. História da interação	5
1.2. O design industrial e o design de interação	18
1.2.1. Definição e características do design de interação	20
1.3. A interface	26
1.3.1. Esqueumorfismo	30
1.3.2. Tipologia de interfaces	35
<b>Capítulo 2. A interface háptica</b>	49
2.1. O sentido do tato	49
2.2. Breve história da háptica	52
2.2.1. O que é?	52
2.2.2. Onde surgiu?	58
2.2.3. Como funciona?	59
2.2.4. Exemplos de interfaces hápticas	61
2.2.5. Áreas de aplicação	65
<b>Capítulo 3. Estado da arte</b>	69
<b>Capítulo 4. Gramática háptica, uma proposta exploratória para o design de interfaces táteis</b>	83
4.1. Conceito	83
4.2. Metodologia e objetivos: passos para a proposta exploratória	83
4.3. Dispositivos usados	86
4.4. Público alvo	87
4.5. Proposta final, gramática háptica	87
4.6. Guias de utilização da gramática háptica	96
<b>Conclusão</b>	97
<b>Referências bibliográficas</b>	99



# Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Raymond Loewy acompanhados de produtos projetados por si no estilo <i>streamlining</i> .	6
<b>Figura 2</b> Henry Dreyfuss e simbologia disposta no livro <i>Sourcebook</i> .	7
<b>Figura 3</b> Livros de Henry Dreyfuss: <i>Designing for People</i> e <i>The Measure of Man</i> , respetivamente.	7
<b>Figura 4</b> Konstantin Grcic.	8
<b>Figura 5</b> <i>Molded Fiberglass Chair</i> , de Charles e Rey Eames.	9
<b>Figura 6</b> Louis Sullivan e o seu ensaio <i>The tall office building artistically considered</i> (1896).	10
<b>Figura 7</b> Primeiros rádios à base de válvulas e a interface do rádio que prevaleceu.	12
<b>Figura 8</b> Bill Moggridge e o meu primeiro computador portátil <i>GRiD Compass</i> .	14
<b>Figura 9</b> Steve Jobs e Steve Wozniak (1976).	15
<b>Figura 10</b> Sir Clive Sinclair e Adam Osborne.	15
<b>Figura 11</b> Vários <i>Graphical User Interfaces (GUI)</i> , por ordem cronológica ( <i>VisiOn user interface</i> , <i>Final Lisa interface</i> , <i>Windows 95</i> e <i>MacOS OSX 10.0</i> ).	16
<b>Figura 12</b> Primeiro computador portátil, <i>Osborne 1</i> (1981).	22
<b>Figura 13</b> <i>iOs 6</i> e <i>iOs 7</i> , respetivamente.	31
<b>Figura 14</b> <i>Command-Line</i> para controlar o <i>Autocad</i> .	35
<b>Figura 15</b> <i>Graphical User Interface</i> do <i>Apple MacOS</i> e do <i>Microsoft Windows</i> .	36
<b>Figura 16</b> Realidade virtual em contexto de simulação, entretenimento e modelação 3D, respetivamente.	38
<b>Figura 17</b> Assistentes de voz <i>Alexa</i> , <i>Siri</i> , <i>Google assistant</i> e <i>Cortana</i> , respetivamente.	38
<b>Figura 18</b> <i>Kinect</i> (interface gestual) em demonstração na sede da <i>Microsoft</i> .	39
<b>Figura 19</b> Dois tipos de motores vibracionais ERM e LRA, respetivamente.	40
<b>Figura 20</b> <i>MusicJacket</i> by Van der Linden et al. (2011).	41
<b>Figura 21</b> Dispositivo háptico ultrassónico.	41
<b>Figura 22</b> <i>DiamondTouch</i> capacita o trabalho em grupo devido ao facto de ser uma interface partilhável.	43

<b>Figura 23</b> <i>Makey Makey</i> é um exemplo de uma interface tangível.	44
<b>Figura 24</b> <i>Pokemon Go</i> e <i>Skyview</i> em Realidade Aumentada.	45
<b>Figura 25</b> Três dispositivos vestíveis: <i>Smartwatch</i> , <i>Google glasses</i> e exoesqueleto.	46
<b>Figura 26</b> Robô <i>Paro</i> de Takanori Shibata.	47
<b>Figura 27</b> Primeiro <i>iPhone (iPhone 6s)</i> com botão háptico.	53
<b>Figura 28</b> Interfaces hápticas estiveis: Luvas e colete háptico sem fios.	56
<b>Figura 29</b> Interface háptica com jato de ar.	57
<b>Figura 30</b> Exemplo de <i>joysticks</i> a serem usados, com a capacidade de emitir háptica.	60
<b>Figura 31</b> <i>TanvasTouch</i> da marca <i>Tanvas</i> .	63
<b>Figura 32</b> <i>DotPad</i> , o primeiro ecrã tátil para invisuais, capaz de reduzir uma imagem ao essencial para ser percecionado.	64
<b>Figura 33</b> <i>Reactive Grip</i> , controlador de movimento capaz de emitir <i>feedback</i> háptico, através de força e movimento	64
<b>Figura 34</b> Interface háptica auxiliar a simuladores cirúrgico. Háptica no contexto hospitalar.	66
<b>Figura 35</b> Comandos de <i>Wii</i> e <i>Playstation Move</i> .	67
<b>Figura 36</b> <i>Apple Vision Pro</i> com tecnologia <i>spatial computing</i> .	68
<b>Figura 37</b> Ação do <i>Force-touch</i> no computador e ação do <i>Haptic touch</i> no telemóvel.	71
<b>Figura 38</b> Seleção da pasta, aplicação do <i>force-touch</i> na pasta e aplicação do <i>force-touch</i> no nome da pasta, respetivamente.	72
<b>Figura 39</b> Uso do sentido háptico para percecionar o ambiente.	80
<b>Figura 40</b> Teste da perceção de aderência no contacto com uma superfície.	82
<b>Figura 41</b> Gramática gestual usado na interação com ecrãs táteis.	85
<b>Figura 42</b> As quatro fases da metodologia <i>Double Diamond</i> .	86
<b>Figura 43</b> Aplicações organizadas em Secções: Ex.: <i>App</i> calculadora no secção “utilitários”	89
<b>Figura 44</b> Ícone que comunica as ações de retroceder a página.	90



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> Proposta de Frankel para a integração de procedimentos de design de interação, em cursos de design industrial.	17
<b>Tabela 2</b> Comparação entre o <i>Multi-touch</i> , <i>force-touch</i> , <i>3D Touch</i> e <i>haptic touch</i> .	71
<b>Tabela 3</b> Organização da gramática gestual por ícones, descrição dos gestos e a ação feita pelo utilizador, acompanhado pela existência ou não existência de <i>feedback</i> háptico, para cada gesto, com o respetivo contexto onde existe <i>feedback</i> háptico.	95
<b>Tabela 4</b> Gramática háptica elaborada e respetiva descrição do <i>feedback</i> háptico, dependendo do gesto e do dispositivo usado.	93



# Lista de Acrónimos

3D	3 Dimensions
ACD	Activity-Centered Design
AoA	Angle of Attack
AoS	Angle of Sideslip
APP	Application
AR	Augmented Reality
BBC	British Broadcasting Corporation
UX	User Experience
UI	User Interface
CGI	Computer-generated Imaginary
CLI	Command Line Interface
CPU	Central Processing Unit
ERM	Eccentric Rotating Mass
GUI	Graphical User Interface
HCD	Human Centered Design
HCI	Human Computer Interaction
IxD	Interaction Design
LRA	Linear Resonant Actuators
MPI-IS	Max Planck Institute for Intelligent Systems
NLS	oN-Line System
PCI	Peripheral Component Interconnect
STEM	Science Tecnology Engineering and Math
TUI	Tangible User Interface
UI	User Interface
USB	Universal Serial Bus
UX	User Experience
VR	Virtual Reality
VUI	Voice User Interface
WIMP	Windows Icons Menus and Pointer



# Introdução

Num contexto em que o contacto com o mundo virtual assume uma relevância crescente, torna-se pertinente refletir sobre o conceito de interação, a sua natureza e o que este implica. Nesse sentido, é crucial recorrer ao passado e compreendê-lo numa perspetiva prospectiva, permitindo virtualizar as interações físicas para um ambiente digital desconhecido, sustentado em elementos e ações que sejam familiares ao ser humano. O paradigma descrito, demonstra-se fértil para uma reflexão sobre a interrelação, cada vez mais evidente, entre o mundo físico e o mundo digital, da qual surgiram problemáticas e questões, que se pretendem responder. A interação pressupõe, pelo menos, dois agentes que se relacionam entre si, podendo ser duas pessoas, um indivíduo, um utensílio, entre outros. Ao usar uma faca, como exemplo, esta pode ser desconstruída em duas partes distintas que interagem e comunicam, intuitivamente, com o seu utilizador, identificando qual a parte projetada para a pessoa acoplar a sua mão, o cabo, e qual a parte pensada para o corte, a lâmina. Ou seja, pode-se dizer que a interação diz respeito ao ato de comunicação entre dois ou mais agentes que tenham a capacidade de emitir e receber informação. A interação, sendo uma característica intrínseca ao ser humano, enquanto ser naturalmente sociável e comunitário, impulsionou o desenvolvimento de capacidades alinhadas com esta necessidade de convivência e comunicação. Através da empatia e expressividade, facilmente consegue interagir e relacionar-se com outros seres humanos, seres vivos e com elementos e objetos inseridos no seu ambiente. Todavia, ao integrar a humanidade no contexto digital, torna-se indispensável incorporar elementos familiares ao ser humano, de forma a tornar essa interação o mais intuitiva, acessível e natural possível. Neste enquadramento, surge a questão de partida desta dissertação: **em que medida uma gramática háptica pode contribuir para uma interação digital mais próxima da experiência física?**

A interação teve as suas primeiras manifestações com objetos de base mais tecnológica. Qualquer objeto projetado por um designer ou arquiteto, origina uma interação com os seus utilizadores, contudo, primordialmente, o foco principal era a funcionalidade do objeto, face à sua interação com o utilizador. Henry Dreyfuss, foi dos primeiros autores a ter em consideração o ser humano, na conceção dos seus objetos, mais concretamente, no ramo da ergonomia, ao ter em conta a anatomia humana, no desenvolvimento dos seus projetos. Konstantin Grcic (2013), frequentemente conhecido pelas suas cadeiras, tinha a intenção de que os seus produtos tivessem uma componente empática, para além dos aspetos estéticos e funcionais. Essa empatia, refletida no design das suas cadeiras, pode

ser considerada uma das primeiras manifestações da preocupação dos designers com a relação entre o ser humano e os objetos.

Com o advento dos elementos digitais e a criação do primeiro computador, o paradigma começou a transformar-se, passando a interação a ser considerada não apenas na concepção de objetos físicos, mas também no contexto digital. Em 1984, Bill Moggridge e Bill Verplank cunharam o termo "Design de interação", diferenciando de forma clara a interação com produtos físicos e a interação com produtos digitais. No caso dos produtos físicos, a interação é mediada maioritariamente por três sentidos: o tato, a visão e a audição. Em contraste nos produtos digitais a interação é dependente maioritariamente de dois sentidos: a visão e a audição. O descarte do sentido tátil intensificou-se com o advento dos ecrãs táteis que, apesar do nome, raramente proporcionam uma resposta que estimule esse sentido durante a interação do utilizador. Em geral, o *feedback* limita-se aos estímulos visuais e/ou auditivos. Contudo, começam a surgir alguns dispositivos que tentam incorporar tecnologia háptica, através da emissão de uma determinada vibração, mediante a ação do utilizador. No entanto, este desenvolvimento reflete uma aplicação ainda bastante inicial das potencialidades oferecidas pela háptica, conforme destacado por McLaughlin (2002), que afirma que o avanço no desenvolvimento de dispositivos hápticos ainda se encontram nos seus estágios iniciais.

Deste modo, torna-se pertinente rever o estudo da interação, analisando o diálogo estabelecido entre os objetos físicos e o ser humano desde os primórdios da consideração da interação no contexto do design industrial. Resgatar características ausentes na interação digital pode contribuir para mimetizar essas experiências, virtualizando a imersão existente no mundo real. Contudo, coloca-se a problemática da viabilidade de transferir as interações físicas para um contexto digital, levantando questões sobre as limitações e os desafios dessa transposição. Assim, torna-se essencial explorar soluções que permitam aproximar essas duas realidades, motivo pelo qual esta dissertação de mestrado tem como objetivo analisar e estudar as tecnologias hápticas e os conceitos que lhe estão associados, assim como perceber o estado da arte na área da háptica, com o propósito de desenvolver uma proposta exploratória de uma linguagem baseada no tato. A tecnologia háptica permite a transferência de *feedback* que estimula o sentido do tato. Este tipo de tecnologia já está presente em diversos produtos de uso quotidiano e, quando utilizada de forma eficaz, possibilita a transmissão de informação que pode ser rapidamente decodificada e compreendida pelos utilizadores. A pertinência deste tema revela-se significativa para o estudo da interação, pois, quando se tem uma interação inesquecível e com a qual criamos uma relação empática e emocional, é comum comentarmos que a

interação “nos tocou”, realçando a importância e a intimidade existente com a ação do toque:

“Eu creio que uma boa cadeira necessita de ter algo extra, que vá para além do prático, do funcional, algo que nos toque, algo que se relacione connosco, que nos identifique” (Grcic, 2013, seg. 36).

Para responder à questão proposta, vai ser usada a seguinte estrutura metodológica:

1. Revisão bibliográfica;
2. Proposta exploratória de uma gramática háptica;

Mais concretamente, a primeira fase centrou-se numa revisão de literatura sobre interfaces, com especial destaque para as interfaces hápticas atualmente disponíveis e as suas capacidades. Paralelamente, foi elaborada uma análise detalhada do estado da arte, onde foram identificados e descritos projetos relevantes. Entre estes, alguns foram selecionados, desempenhando um papel inspirador e orientador para o desenvolvimento da proposta exploratória de gramática háptica para o design de interfaces táteis.

Numa segunda fase, foi então elaborada a proposta exploratória de gramática háptica, com o sentido de complementar a gramática gestual existente. Os dispositivos para os quais a proposta foi pensada, são o *smartphone*, o *tablet* e o *smartwatch*, devido à sua forte presença no uso quotidiano e à sua familiaridade com o ser humano.

Assim, a dissertação apresentada está estruturada em 4 capítulos:

1. Design de interação: O primeiro capítulo aborda o design de interação, explorando a sua evolução histórica e relação com o design industrial, destacando como moldou a interação humano-computador. Apresenta conceitos fundamentais, como a definição e as características do design de interação, bem como uma análise detalhada sobre interfaces. Discute o esquemorfismo, um estilo que imita elementos físicos no digital, e classifica diferentes tipologias de interfaces. Este capítulo fornece o enquadramento teórico para a compreensão do design de interação.
2. A interface háptica: O segundo capítulo explora as interfaces hápticas, começando por contextualizar o sentido do tato como base sensorial para estas tecnologias. Apresenta uma breve história da háptica, explicando o seu conceito, origem e fundamento. Inclui exemplos de interfaces hápticas existentes, demonstrando como estas promovem

interações mais imersas e intuitivas. Por fim, analisa as principais áreas de aplicação, mostrando a sua relevância no design de interfaces contemporâneas.

3. Estado da arte: Este capítulo apresenta uma análise abrangente do estado atual da investigação e desenvolvimento na área. Examina projetos e estudos relevantes, identificando tendências, lacunas e oportunidades. Este levantamento serve como base teórica e prática para a proposta exploratória apresentada na dissertação.
4. Gramática háptica, uma proposta exploratória para o design de interfaces táteis: O capítulo 4 apresenta uma proposta exploratória de gramática háptica para o design de interfaces táteis, definindo o conceito, objetivos e metodologia aplicada. Descreve os dispositivos utilizados e identifica o público-alvo da proposta. Finaliza com a apresentação da gramática háptica desenvolvida e os respectivos guias de utilização.

# Capítulo 1. Design de interação

## 1.1 História da interação

Antes da revolução Industrial, a produção de bens materiais era exclusivamente feita por artesãos que possuíam o conhecimento prático necessário ao seu desenvolvimento. Ou seja, todo o processo, desde a concepção até à execução, era inteiramente conduzida pelo artesão, que detinha um controlo total sobre cada etapa da produção. Este modelo de produção artesanal assegurava um elevado nível de personalização e qualidade dos produtos, mas era limitado em termos de escala e eficiência. Contudo, com o desenvolvimento tecnológico trazido pela revolução industrial, nos séculos XVIII e XIX, o ramo do design industrial emergiu como agente especializado na concepção de produtos comerciais, que apelavam à maioria da população, e que eram passíveis de serem manufaturados em grande escala. A fragmentação entre a atividade projetual e a atividade de produção marcou a época e promoveu a prática do design industrial, como atividade especializada na projeção de produtos apelativos e capazes de serem fabricados em massa (King & Chang, 2016).

O crescimento do design industrial como disciplina, aliado à evolução tecnológica, deu origem a outras preocupações, sendo uma das mais relevantes a interação entre o ser humano e os objetos. A *Industrial Designers Society of America (IDSA)* descreve o design industrial como “um estudo da forma e da função, designando a relação entre objetos, humanos e o espaço.” (King & Chang, 2016, p. 2), pressupondo a existência da interação entre estas três dimensões e, devido ao facto do design industrial se manifestar na maioria do espaço que nos rodeia, a relevância e influência da área é considerável nas interações do dia a dia.

Posteriormente, outras questões passaram a ser consideradas na prática do design industrial, para além da utilidade e das necessidades funcionais. Um exemplo são as questões culturais e políticas, que acompanharam o aumento da produção e do consumo de bens materiais no pós 2ª Guerra Mundial, demonstrando uma expansão das interações com os objetos, para o foro cognitivo, o que demonstra um interesse pelos objetos, não apenas pela sua funcionalidade e utilidade, mas pelo seu significado que o próprio objeto transporta ao seu utilizador.

É neste paradigma de pós guerra que Raymond Loewy (figura 1)<sup>1</sup>, um dos designers mais conceituados da época, conseguiu fazer com que se aumentasse o consumo de bens materiais, nos estados unidos. Em 1949 foi capa da revista Times com o *slogan* “*He streamlines the sales curve.*”, assinalando que Loewy “fez produtos irresistíveis numa altura em que ninguém queria pagar por nada” (King & Chang, 2016, p. 3). Com este feito, o Loewy (figura 1) conseguiu interrelacionar questões comerciais, com as práticas do design, neste caso, por meio do *streamlining*.



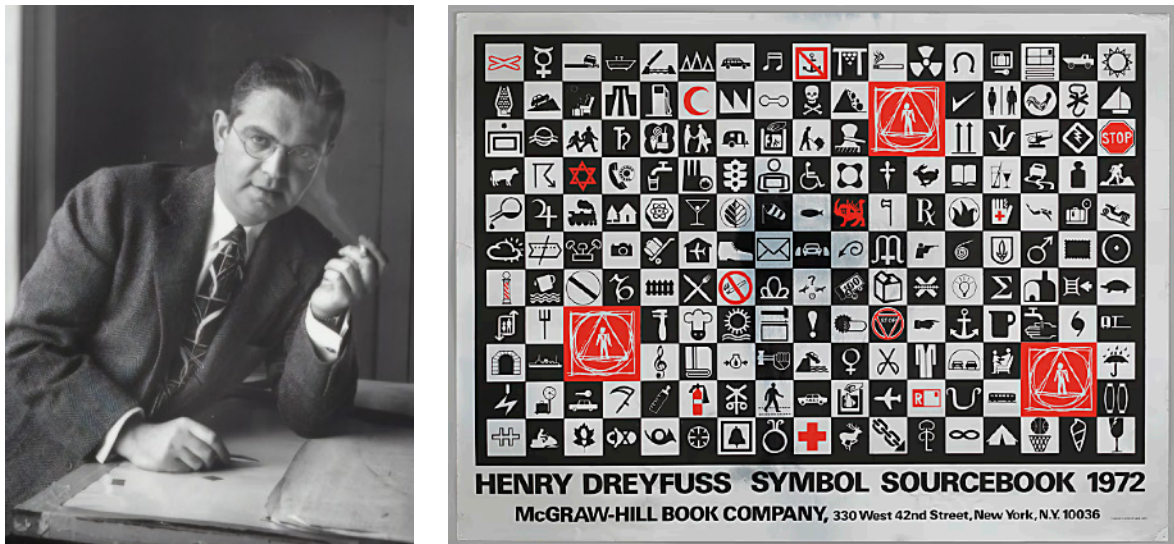
**Figura 1** Raymond Loewy acompanhado de produtos projetados por si no estilo *streamlining*. Fonte: *All That's Interesting*.

Num contexto social, surge Henry Dreyfuss como um dos designers com maior atenção pelas necessidades dos utilizadores, sem pôr em causa as características funcionais dos produtos, contribuindo significativamente para o ramo da ergonomia. Nas investigações feitas pelo designer em questão, começou-se a considerar e a incorporar fatores humanos no design, demonstrando uma prática intencional que colocava a figura humana no centro. Dreyfuss não se limitou apenas ao design industrial, expandiu o seu trabalho no âmbito da promoção de uma linguagem simbólica e universal, como linguagem primordial, face aos idiomas e às palavras, como ilustrado na figura 2<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> <https://allthatsinteresting.com/raymond-loewy#8>

<sup>2</sup> <https://www.wsj.com/arts-culture/fine-art/give-me-a-sign-the-language-of-symbols-review-cooper-hewitt-smithsonian-design-museum-henry-dreyfuss-35a6e120>



**Figura 2** Henry Dreyfuss e simbologia disposta no livro *Sourcebook* (2023). Fonte: The Wall Street Journal.

Com a disseminação e democratização do design trazida pelo aumento da produção e consumo, tornou-se indispensável uma comunicação universal. Dreyfuss também se focou na antropometria e na usabilidade, tendo compilado toda a sua investigação, após a sua reforma, em dois livros: *Designing for People*, em 1955, e *The Measure of Man*, em 1960 (figura 3)<sup>3</sup>. O trabalho de Dreyfuss influenciou o direcionamento da área do design industrial, com enfoque na interação dos utilizadores com os produtos, no que respeita à usabilidade e ao conforto. Para além disso, também teve um papel preponderante na disseminação do design, “ênfatizando que o bom design era para todos” (King & Chang, 2016, p. 4).



**Figura 3** Livros de Henry Dreyfuss: *Designing for People* e *The Measure of Man*, respetivamente. Fonte: Philadelphia Museum of Art e AbeBooks.

<sup>3</sup> <https://store.philamuseum.org/henry-dreyfuss-designing-for-people/>  
<https://www.abebooks.com/Measure-Man-Human-Factors-Design-Dreyfuss/31243818285/bd>

Com o aumento da importância dos aspectos económicos e socioculturais, assim como com a evolução tecnológica, sentiu-se a necessidade e a oportunidade de adaptar as práticas do design, ao atribuir maior importância a esses mesmos aspectos, nos momentos de design e produção. Atualmente, face à crescente tendência do ser humano viver num ambiente predominantemente digital, torna-se necessário adaptar novamente o design. Esta tendência justifica a presente dissertação, que visa transpor as interações do ambiente físico para o contexto digital, com particular enfoque nas interações hápticas.

Como consequência da massificação da produção e, inerentemente, com a fragmentação das atividades projetuais e de fabrico, a comunidade do design começou a criar espaço para albergar aspectos que, até à data, não eram valorizados, tais como a usabilidade e a relação entre o utilizador e os objetos com os quais interage. O trabalho de Konstantin Grcic (figura 4)<sup>4</sup> é um exemplo, da integração da usabilidade na prática projetual. Nascido em 1965, na Alemanha, apresenta-se como um designer que teve em consideração, não só as questões estéticas e funcionais dos seus produtos, mas também todas as relações e a usabilidade entre os utilizadores e os seus produtos, afirmando que “uma má cadeira é aquela que cumpre com todos os requisitos, mas que permanece uma cadeira. Uma que uso para me sentar, mas que, depois de me levantar, não significou nada para mim.” (Grcic, 2013, seg. 9). Ou seja, segundo a citação acima, Grcic crê que o que faz um bom design, para além do cumprimento dos requisitos técnicos, ergonómicos e estéticos, é a relação criada entre o utilizador e o objeto. “Eu creio que uma boa cadeira necessita de ter algo extra, que vá para além do prático, do funcional, algo que nos toque, algo que se relacione conosco, que nos identifique” (Grcic, 2013, seg. 36).



**Figura 4** Konstantin Grcic. Fonte: Lightform.

<sup>4</sup> <https://www.lightformshop.com/Designers-list/designers/designer-konstantin-grcic>

O enfoque no ser humano e nas relações com os objetos, assim como a massificação da produção, deram prioridade também a considerações económicas, resultando no uso de novos materiais para a elaboração de objetos já existentes, como é o caso da *Molded Fiberglass chair*, de Charles e Ray Eames (figura 5)<sup>5</sup>, que inicialmente usava metal, mas que, ao demonstrar-se dispendiosa, o primeiro material foi substituído por fibra de vidro, que proporcionava a organicidade existente na versão original, continha características mecânicas exemplares, não estava propensa ao surgimento de ferrugem e ainda era passível de ser produzida à temperatura ambiente. A redução dos custos de produção, resultou numa diminuição dos preços de venda, tornando os produtos mais acessíveis e ampliando o poder de comprar da população. Com o desenvolvimento tecnológico, as capacidades de personalização e adaptação foram melhorando em consonância. Não obstante, objetos projetados com um sentido de intemporalidade e neutralidade, também foram importantes por se integrarem facilmente em diferentes contextos. Um exemplo disso é a supracitada cadeira de Charles e Ray Eames, a *Molded Fiberglass chair* que, não só foi usada em contextos privados, como em casas e escritórios, como também em contextos públicos, como em escolas e hospitais. Em ambos os casos, a cadeira foi naturalmente compreendida nos ambientes e pela sua presença, também se tornou familiar no meio social e particular, fazendo com que a sua utilização, por parte dos utilizadores fosse o mais natural e intuitiva possível, devido aos vários espaços onde a cadeira estava inserida.



**Figura 5** *Molded Fiberglass Chair*, de Charles e Rey Eames. Fonte: Vitra.

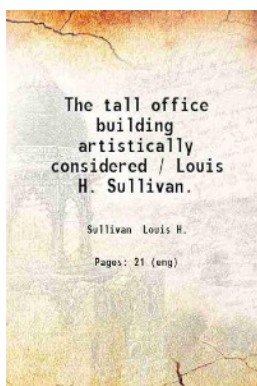
---

<sup>5</sup> [https://www.vitra.com/en-pt/product/eames-fiberglass-chair?srltid=AfmBOop9qgPa9aDmK-2RvjOKY95K7zeAJbxShvZ43gTsC8\\_xK5BAL8q](https://www.vitra.com/en-pt/product/eames-fiberglass-chair?srltid=AfmBOop9qgPa9aDmK-2RvjOKY95K7zeAJbxShvZ43gTsC8_xK5BAL8q)

Com a integração de características eletrônicas em produtos industriais, gerou-se uma revolução na interação entre as pessoas e os produtos, nas possibilidades de design e nas funcionalidades aplicadas aos objetos. A frase seguida por muitos “*form ever follows function*” (Sullivan, 1896, p. 408), tornou-se questionável com a desconexão da forma do objeto físico, face às suas potencialidades funcionais. Apesar da frase supracitada acompanhar frequentemente autores como Le Corbusier e Mies Van Der Rohe, quem cunhou a frase foi o arquiteto norte americano, Louis Sullivan, no seu ensaio “*The Tall Office Building Artistically Considered*” (figura 6)<sup>6</sup>, em 1896, onde Sullivan concluiu o artigo com a seguinte ideia:

É a lei que permeia todas as coisas orgânicas e inorgânicas, todas as coisas físicas e metafísicas, todas as coisas humanas e todas as coisas sobre-humanas, e todas as verdadeiras manifestações da cabeça, do coração, da alma, que a vida é reconhecível na sua expressão, que a forma segue sempre a função.<sup>7</sup> (Sullivan, 1896, p. 408)

Alice Rawsthorn uma das autoras que trata especificamente dessa desconexão entre a forma e a função, afirma que a frase de Sullivan influenciou o design, ao ponto de se tornar intrínseca à comunidade do design e ao ambiente que nos rodeia, até ao momento do surgimento do primeiro computador denominado “*Baby*” (2013, p. 179, p. 181). Adrian Forty ainda acrescenta, com o exemplo de chávenas que, segundo a lógica da frase de Sullivan, todos os objetos com a mesma funcionalidade deviam ser formalmente iguais: “as chávenas foram produzidas numa variedade infinita de formas. Se o único objetivo de uma chávena fosse beber, poderia muito bem haver apenas um design, mas as chávenas têm outras utilizações: como artigos de comércio, servem para criar riqueza e para satisfazer o desejo dos consumidores de exprimirem o seu sentido de individualidade” (Forty, 2002, p. 12).



**Figura 6** Louis Sullivan e o seu ensaio *The tall office building artistically considered* (1896). Fonte: Amazon e Westwing.

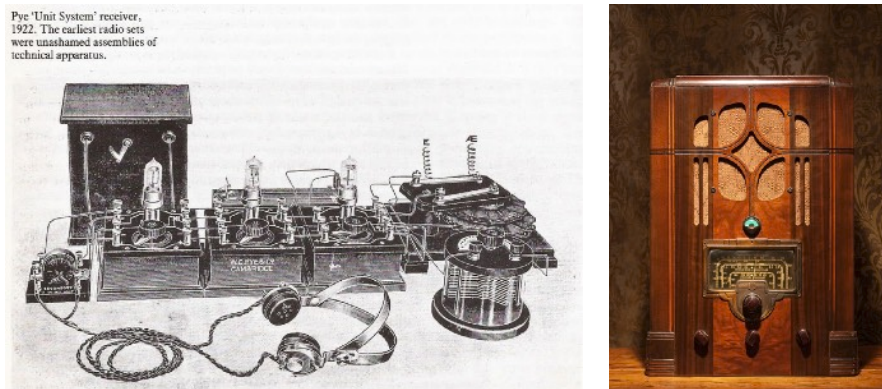
<sup>6</sup> <https://www.amazon.com.br/building-artistically-considered-Sullivan-Hardcover/dp/9357120238>  
<https://www.westwing.com.br/guiar/louis-sullivan/>

<sup>7</sup> It is the pervading law of all things organic, and inorganic, of all things physical and metaphysical, of all things human and all things super-human, and all true manifestations of the head, of the heart, of the soul, that life is recognizable in its expression, that form ever follows function. (Sullivan, 1896, p. 408)

Segundo King e Chang (2016), a cadeira e o rádio são os dois objetos exemplo usados pelos autores para demonstrar essa separação entre a forma e a função, em objetos mecânicos e objetos eletrônicos. Por um lado existem diversas cadeiras projetadas com formas e materiais diferentes, no entanto, o modo de utilização permanece o mesmo e, conseqüentemente, as diferentes formas das cadeiras, têm sempre em consideração essa mesma utilização evidente. O rádio, por outro lado, apresenta uma comunicação formal dúbia. A forma de alguns elementos, como os botões, podem comunicar as suas habilidades (como o facto de rodarem), todavia, podem não indicar as funcionalidades que realmente controlam, como o volume do som ou a alteração da frequência. A forma como as pessoas veem os objetos é intencionada pelo design. Se um objeto é evidente no seu uso ou não, depende sempre do propósito que o designer tem na sua elaboração. Ao utilizar novamente o rádio como exemplo, considera-se a conceção dos primeiros rádio, semelhante à dos primeiros computadores, em que o seu uso estava restrito aos seus desenvolvedores e a especialistas na área. A sua forma resumia-se a uma compilação de válvulas, bobinas e ligações elétricas (figura 7)<sup>8</sup>. Para que a sua disseminação fosse bem sucedida, foi necessário compilar todo o sistema de engenharia, num objeto que comunicasse e facilitasse o seu funcionamento para os demais, para que as pessoas pudessem e quisessem tê-los em casa. Neste caso foram criados três tipos de interfaces tangíveis, onde uma delas prevaleceu, face às restantes, até aos dias de hoje, considerando as adaptações que foi sofrendo ao longo do tempo. “A terceira, que se tornou a mais comum à medida que as pessoas se familiarizaram com o rádio e o consideraram menos perturbador, consistia em colocá-lo num armário concebido para sugerir que pertencia a um mundo futuro e melhor.” (Forty, 2002, p. 12). Devido à interface criada para conter o mecanismo do rádio, as pessoas conheceram o primeiro produto *wireless* com uma forma completamente diferente do rádio original (onde estava exposto todo o mecanismo), acolhendo-o com sucesso. “Cada design transformava o *wireless* original, ‘primitivo’, de forma irreconhecível.” (Forty, 2002, p. 12). Deste modo, pode-se afirmar que a interface desempenha um papel fundamental na disseminação da tecnologia junto da população.

---

<sup>8</sup> <https://photos.com/featured/antique-radio-pm-images.html>



**Figura 7** Primeiros rádios à base de válvulas e a interface do rádio que prevaleceu. Fonte: Livro *Objects of Desire* e photos.com.

É comum quando surgem objetos e tecnologias novas, haver uma dualidade: por um lado ser aceite como melhoria, conforto e progresso, porém quando nos obriga a mudar o nosso paradigma ou a perder algo que valorizamos, temos a tendência a resistir. É aconselhado que o desenvolvimento tecnológico contenha aspetos familiares, seja na forma ou na utilização, para que o utilizador não se sinta perdido e incapaz de usar a tecnologia ou o produto (Forty, 2002).

Com o surgimento e rápida evolução do computador, a forma começou a desagregar-se da função, a forma física do *hardware* deixou de informar as potencialidades e as funções inerentes ao dispositivo. No que toca à interface digital, esta sofreu um desenvolvimento tremendo, desde o momento em que Tim Mott, investigador na *Xerox Palo Alto Research Center*, começou a desenvolver toda uma organização do ambiente de trabalho do computador, denominada *Graphical User Interface (GUI)*. A *GUI* aproveita a familiaridade que as pessoas já tinham com o ambiente de escritório, ilustrando esse mesmo ambiente na interface, através de elementos gráficos que os utilizadores associam aos seus locais de trabalho (Rawsthorn, 2013).

Ao fazer uma retrospectiva das novas tecnologias que foram surgindo ao longo da história, chega-se à conclusão que a característica que sempre capacitou a disseminação dessas mesmas tecnologias para a sociedade, é a interface. A sua função centra-se na descodificação da tecnologia para uma linguagem, preferencialmente, universal e compreendida pela maioria das pessoas. A proliferação da eletrónica no design, trouxe consigo uma complexificação das funcionalidades dos objetos e, devido a isso, houve a necessidade de facilitar a comunicação entre as pessoas e os produtos. Assim, foram

desenvolvidas interfaces, inicialmente físicas, que comunicavam, de forma direta, as suas funcionalidades, resultando em projetos simples e minimalistas, como o exemplo paradigmático do rádio. Dieter Rams, arquiteto e designer, trabalhou com este tipo de produtos e destacou-se como um dos profissionais que mais contribuiu para a simplificação de produtos eletrônicos complexos, através da conceção de interfaces funcionais e intuitivas. O modo como Rams comunicava com as pessoas, através dos seus objetos, baseou-se na filosofia *less is more*, reduzindo os objetos ao essencial e, com o auxílio de alguma informação gráfica, comunicava a funcionalidade de cada componente constituinte dos seus produtos, proporcionando uma fácil interação com os utilizadores. Para além disso, Dieter Rams também deixou um legado à comunidade do design: os dez princípios do bom design (Rams, 1970) que, apesar de terem sido elaborados para uma realidade industrial, atualmente são transversais ao design de interação, o que pode significar mais uma semelhança entre as duas áreas e entre os ambientes em que cada uma das áreas atua. A *Apple* é um exemplo de uma empresa capaz de demonstrar a aplicação de alguns dos princípios de Dieter Rams que inspiraram Sir Jonathan Ive, antigo chefe do departamento de design. Ive, inicialmente, era responsável apenas pela área do design industrial, mas que em 2012 passou a dirigir todo o departamento de design da *Apple*. A *Apple* fez aqui uma aposta na aproximação entre a conceção do *hardware* e do *software* dos seus produtos: “A melhor experiência do utilizador baseia-se numa integração harmoniosa de *hardware* e *software*, um desafio permanente ao longo da história da informática.” (King & Chang, 2016, pp. 10-11).

Para Bill Moggridge (2007), pioneiro na disciplina e criador do termo “design de interação”, um dos acontecimentos que lhe espoletou a necessidade de começar a entender e projetar produtos com componentes eletrónicas, foi o momento de compra de um relógio digital para o seu filho, necessidade que se veio a enfatizar, quando esteve presente na conceção do primeiro computador portátil, o *GRiD Compass* (figura 8)<sup>9</sup>. Nos anos 60 do século passado, a educação na área do design era feita com base no projeto de produtos que podiam ou não conter componentes mecânicas. Todavia, com o início da substituição de produtos com elementos mecânicos por produtos com elementos eletrónicos, o autor em questão apercebeu-se do desafio apresentado aos designers. “A fim de criar produtos que são agradáveis, satisfatórios de utilizar e esteticamente prazerosos, tanto no comportamento, como na forma, os designers precisam de aprender a projetar *hardware* e *software*, bem como objetos físicos.” (Moggridge, 2007, p. 6).

---

<sup>9</sup> <https://drams.framer.website/>



**Figura 8** Bill Moggridge e o meu primeiro computador portátil *GRiD Compass* **Fonte:** interior Design.

A interação existente no primeiro computador pessoal era inteiramente baseada na escrita de comandos, à qual o computador respondia com um *feedback*. Era uma interação centrada na máquina e limitada a quem tinha conhecimento em linguagens de programação. À semelhança do período da revolução industrial, o início da revolução informática baseou-se em entusiastas digitais que produziam máquinas para proveito próprio. Entre os entusiastas da área, houve quem começasse a demonstrar uma vontade de disseminar esta tecnologia para a sociedade, mas, para tal, necessitavam de decodificar a linguagem destes dispositivos, para uma linguagem comum, universal, capaz de ser compreendida pela maioria da população (King & Chang, 2016). Em 1968, na *Fall Joint Computer Conference*, em São Francisco, Douglas Engelbart apresentou o *oN-Line System (NLS)*, que fora considerado “A mãe de todas as *Demo*”. O *NLS* demonstrou pela primeira vez uma utilização feita através de uma interface gráfica, hipertexto e rato de computador. Foi com a criação da *graphical user interface (GUI)*, que o design também entrou no domínio do *software*, passou a dar-se prioridade às necessidades do ser humano, através do foco na usabilidade e acessibilidade, em conformidade com o aumento do poder de processamento. Contudo, segundo Sharp, Rogers e Preece (2019), foi a *Xerox Star Interface* a pioneira no desenvolvimento da *GUI*.

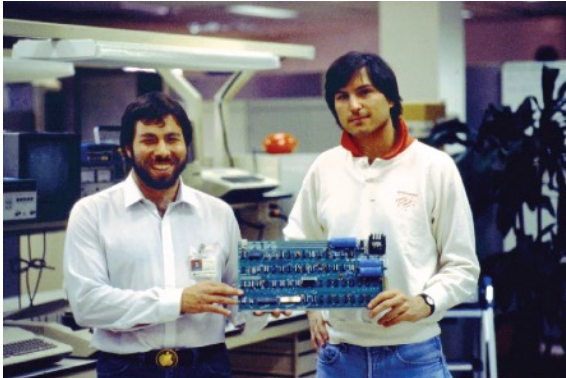
No final da década de 1970, entre os entusiastas mencionados anteriormente, estavam incluídos Steve Jobs e Steve Wozniak (figura 9)<sup>10</sup>, nos Estados Unidos, e Clive Sinclair e Adam Osborne (figura 10)<sup>11</sup>, na Inglaterra. Nos dois lados do planeta, o foco era a produção de dispositivos mais pequenos e mais baratos, que pudessem ser utilizados por uma grande fatia da população sem que houvesse a necessidade de saber programação. A solução que encontraram foi a substituição da interface baseada em código, por uma

---

<sup>10</sup> <https://www.britannica.com/biography/Stephen-Gary-Wozniak>

<sup>11</sup> <https://webscience.org/computer-pioneer-sir-clive-sinclair-dies-aged-81/>  
<https://www.linkedin.com/pulse/before-steve-jobs-adam-osborneinventor-portable-computer-john-fenzel/>

interface sustentada em iconografia, ou seja, símbolos visuais e gestos, que fizesse sentido para os demais utilizadores, juntando-se ao já estabelecidos teclado e rato, que serviam de *input* para o computador (Rawsthorn, 2013).



**Figura 9** Steve Jobs e Steve Wozniak (1976) Fonte: interior Design.



**Figura 10** Sir Clive Sinclair e Adam Osborne. Fonte: Webscience e LinkedIn.

Devido a Tim Mott, investigador na *Xerox Palo Alto Research Center*, houve um desenvolvimento significativo na organização do ambiente de trabalho do computador, através das *GUI* (figura 11)<sup>12</sup>. Aproveitando o ambiente de escritório, conhecido no quotidiano, houve uma transposição desse ambiente para um contexto digital, por meio da ilustração de elementos gráficos e ícones (Rawsthorn, 2013, p. 183).

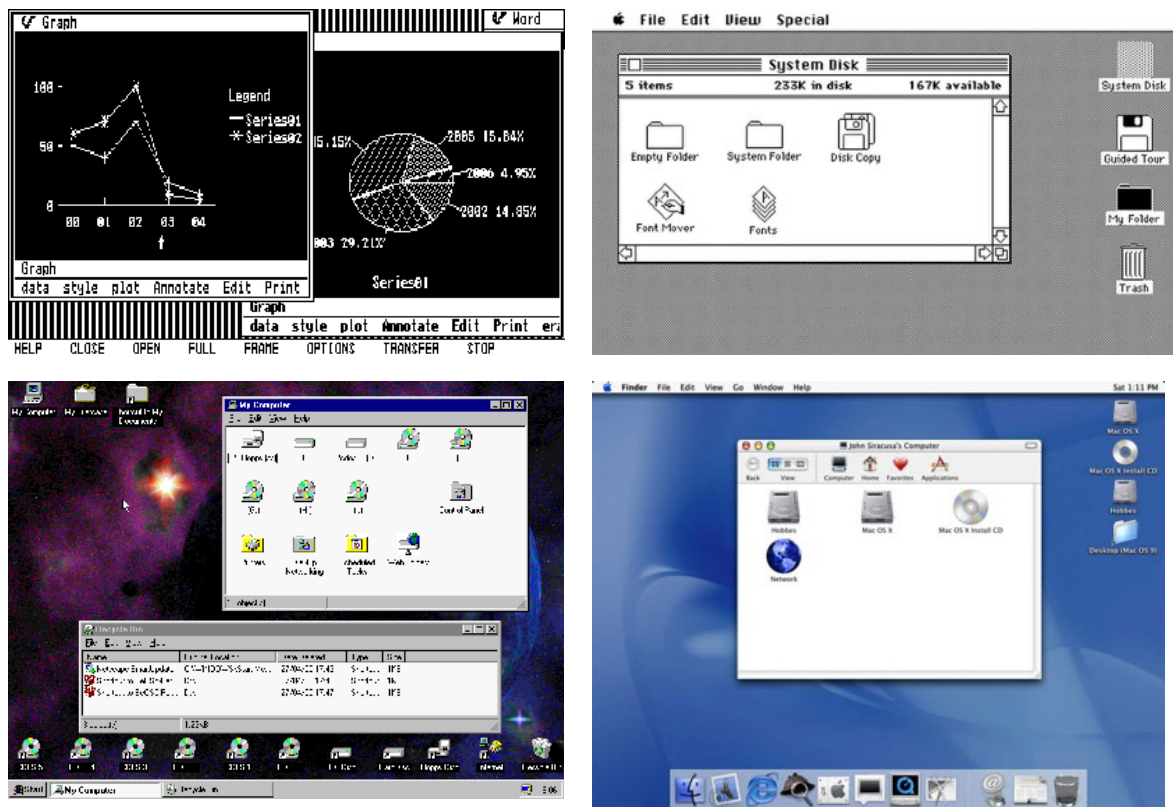
Bill Moggridge, cofundador da *IDEO*, no seu livro *Designing Interactions*, relata a história do design do primeiro computador portátil, o *GRiD Compass*, que lhe conferiu a noção de que o seu papel enquanto designer não devia terminar na forma física, mas propagar-se também nas experiências que as pessoas tinham com o *software*. “Eu senti que havia uma oportunidade de criar uma nova disciplina de design dedicada a criar soluções imaginárias e criativas, no mundo virtual, onde se podiam criar comportamentos, animações e sons, para além das formas” (Moggridge, 2007, p. 14). Esta conclusão levou Bill Mroggridge, em colaboração com Bill Verplank, a cunhar, em 1984, o termo “design de interação”. Este

---

<sup>12</sup> <https://arstechnica.com/features/2005/05/gui/>

conceito surgiu como forma de distinguir o design especializado no digital e na experiência interativa do tradicional design industrial.

Assim como no design industrial, a disciplina devia preocupar-se com valores subjetivos e qualitativos, devia iniciar nas necessidades e desejos das pessoas que usam um produto ou serviços e esforçar-se para criar projetos que dessem prazer estético, assim como satisfação duradoura.(Moggridge, 2007, p. 14)



**Figura 11** Vários *Graphical User Interfaces (GUI)*, por ordem cronológica (*VisiOn user interface*, *Final Lisa interface*, *Windows 95* e *MacOS OS X 10.0*). Fonte: Arstechnica.

Neste momento, Moggridge já tinha intenção de integrar outros modos de interação, através da estimulação do sentido da audição, para além do sentido da visão, aumentando a imersão e a satisfação dos utilizadores no mundo digital. Ao longo do tempo, houve uma significativa melhoria da qualidade das componentes audiovisuais, mas também começou a surgir a oportunidade de acrescentar o sentido do tato, abrindo possibilidade de novas formas de interação. Um exemplo são as notificações nos telemóveis que, por vezes careciam de uma luz indicativa de notificação, diminuindo, assim, a sobrecarga dos sentidos da visão e/ou da audição.

**Tabela 1** Proposta de Frankel para a integração de procedimentos de design de interação, em cursos de design industrial. **Fonte** Lois Frankel.<sup>1</sup>

<b>Industrial Design</b>	<b>User Interaction Design</b>
Analysis and problem definition	Analysis and definition of problem
Visual ideation	Written specification for product
Visual concept development	Scenarios of use development
Prototyping	Storyboard development
Definitive design development	Detailed specification document
Production	Programmer code product
Market ready	Market ready

Terry Winograd, cientista computacional e investigador na área da interação Humano-computador (*HCI - Human-computer interaction*), considerou que o design de interação se sobrepõe ao Design industrial, por ambos terem uma atenção muito forte orientada para o utilizador, centrando-se, ambas, na compreensão das necessidades de um determinado grupo de utilizadores e na canalização e geração de novas ideias (King & Chang, 2016, p. 12). Devido às semelhanças entre as duas áreas, em 2003, Fang-Wu Tung e Yi-Shin Deng propuseram um novo pensamento que integrasse design de interação nos processos do design industrial, abrangendo tanto o ambiente académico e educacional, como o ambiente profissional, abordando metodologias e o desenvolvimento de produtos. Inicialmente, destacaram a influência da revolução digital e a sua crescente integração nas infraestruturas do nosso quotidiano, ilustrando o impacto da tecnologia na organização das nossas vidas e a dependência crescente de entidades digitais para acedermos a serviços de qualidade (Norman, 1999).

Keiichi Sato, professor no Instituto de tecnologia de Illinois, afirma que este novo paradigma nos guia para a interrelação designada entre espaços físicos e meios de comunicação. Com a crescente hibridação dos produtos, torna-se evidente a necessidade de uma simbiose entre o design industrial e o design de interação, que devem ser desenvolvidos de forma articulada e simultânea ao longo do projeto. Tung e Deng (2003) também corroboram esta ideia: “a conceção de produtos, num futuro próximo, significará traduzir, com sucesso, estruturas de informação significativas em formas físicas, e instalar, sem problemas, produtos digitais nas estruturas físicas dos objetos, que os devem conter” (p. 2). Atualmente, o design industrial extrapola as propriedades puramente físicas dos objetos, como a cor, forma, textura, entre outros aspetos. Cada vez é maior a pertinência

do estudo da *HCI* no design industrial, devido à proliferação alargada de sistemas informáticos nos produtos de consumo.

Frankel (2018), comparou os processos de design de interação e do design industrial, como ilustra a tabela 1 e propôs integrar os procedimentos de design de interação com o utilizador nos cursos de design industrial.

Com base na tabela 1 é de notar que o número de fases projetuais, em ambas as áreas é a mesma e, ao observar, numa primeira instância, o nome de cada uma das fases, também é semelhante em denominação. Em ambas as áreas, o projeto inicia com uma análise e definição do problema ou problemas a resolver. De seguida, há uma fase de idealização de possíveis soluções, com transposição visual das mesmas, usualmente através do desenho, de modo a haver uma avaliação da viabilidade das propostas. No caso do design de interação, essa idealização visual é feita através da anotação de um leque de propostas de especificações a inserir no produto. Ao nível do design industrial, após a apresentação de várias possibilidades, é escolhida a considerada melhor, ou desenvolve-se uma proposta final, constituída por parcelas das várias, anteriormente desenvolvidas. Ao nível do design de interação, são desenvolvidas *personas* e *user journey maps*, que proporcionem uma noção das atividades praticadas pelos possíveis futuros utilizadores, fazendo-se possíveis correções na proposta escolhida. A fase seguinte, em ambas as áreas, é destinada à demonstração da proposta final, num contexto de utilização, que difere apenas nas formas de apresentação: no caso do design industrial, são desenvolvidas maquetes e, posteriormente, um protótipo, de preferência, funcional do produto; no caso do design de interação, é feito um *storyboard*, que apresenta o produto final, por norma, por meio de desenho, num possível contexto de utilização, assim como um protótipo. Para finalizar, em ambas as áreas, as propostas finais seguem para a fase de execução e comercialização.

## **1.2. O design industrial e o design de interação**

Todo o tema deste documento final gira em torno da apropriação e compreensão das interações existentes no contexto físico e, da sua adoção e adaptação num contexto digital, voltada mais especificamente para a interação tátil e háptica. Para tal é necessário compreender o que é uma interação e qual é a diferença entre interações físicas e digitais.

Uma interação remete ao processo de comunicação, troca de informação ou qualquer tipo de ação, existente entre duas entidades, sejam pessoas ou objetos, sistemas eletrónicos

ou qualquer entidade com a capacidade de gerar algum *feedback* compreendido pela outra entidade. As interações compreendem um vasto espectro de complexidade, desde ações básicas como rodar uma maçaneta, a fim de abrir uma porta, até ao manuseamento de um computador, que contém inúmeras funcionalidades, algumas delas, de extrema complexidade. Ainda com os dois exemplos usados, estes não se distinguem apenas pela sua complexidade, mas também pelo ambiente e contexto onde atuam em que, o primeiro atua num ambiente físico e o segundo, num ambiente digital, levantando questões em relação aos seus contextos. Enquanto que o primeiro atua num contexto tangível e sensorial, o segundo atua num contexto metafísico, mas também sensorial, sempre através de uma interface. Deste modo, para integrar uma interação tátil no digital, é crucial a existência de uma interface capaz de traduzir essa ação física, numa reação digital.

Gillian Crampton Smith, numa entrevista em 2002, compara a semelhança entre o percurso do design industrial na influência e na informação do nosso dia a dia, com o design de interação que, atualmente, detém o mesmo papel na modelação da nossa vida com tecnologias e produtos digitais, através de computadores, telecomunicações, telemóveis e outros dispositivos que vão aparecendo. Contudo, essa modelação do nosso quotidiano, pelo ambiente digital é feita por meio de interfaces tangíveis.

Para além da semelhança mencionada por Gillian Smith (2002), as interações físicas e digitais vivem numa constante simbiose, devido ao facto da ação humana e a reação do dispositivo existirem em ambientes diferentes (físico e digital, respetivamente). Daí ser crucial a existência de uma interface intermediária. O rádio, um dos objetos que influenciou Bill Moggridge na necessidade da criação da disciplina de design de interação, que é um objeto eletromecânico, é um exemplo de um dos primeiros produtos a mostrar essa correlação entre o físico e o digital. Assenta em interações físicas, através dos botões, que controlam toda a parte elétrica, desde o ligar e desligar, à alteração da emissora e o controlo da intensidade do som. Todavia essa interação, transmite-nos a sensação de sermos “digitalizados”, para uma realidade eletrónica, como decreta o autor, devido à tangibilidade da interação com o dispositivo, que é seguido do *feedback* sonoro recebido. Contudo, o computador potenciou um afastamento da interação entre os dois locutores que, mais recentemente, se reaproximou devido ao surgimento de ecrãs táteis e à criação de realidades virtuais com altos níveis de imersão. Todas as aproximações e afastamentos entre os dispositivos eletrónicos e o ser humano, dependem de ação sensorial, particularmente, da sensação tátil, sendo que é a sensação que influencia mais a intimidade entre duas entidades.

O ambiente digital proporciona o aumento das funcionalidades e capacidades de uso, através da atualização do *software*, algo que, num contexto físico, só é possível com o lançamento de um novo produto. Deste modo, ao oferecer novas funcionalidades, é conveniente ter em consideração os aspetos formais e interativos que sejam familiares ao utilizador, daí a importância de um sistema de design consistente. Ao projetar as componentes físicas e digitais em simultâneo, a consistência alastra-se por todo o dispositivo, desde a parte física à parte digital.

### 1.2.1. Definição e características do design de interação

O termo design de interação (IxD) foi cunhado em 1984 por Bill Moggridge e Bill Verplank, que sentiram a necessidade de criar uma nova disciplina, para soluções interativas restritas ao mundo virtual. Segundo Ting e Deng (2003), o design de interação é interdisciplinar e pode ser repartido em três áreas: o design de informação, o design de interação e o design sensorial. O design de informação coincide com a fase inicial do projeto e corresponde à organização e apresentação da informação que pretendemos que o produto contenha. Essa informação, para ser recolhida junto dos futuros utilizadores, é necessário reconhecer os utilizadores-alvo e definir as funcionalidades do produto e, de seguida, organizar essa informação num fluxograma de visualização, agrupando as funções de uma forma hierárquica. Com a informação já organizada, passamos à fase do design de interação. Neste caso, é imperativo permitir que o utilizador crie o seu próprio percurso na interação com o produto, sem que haja qualquer tipo de limitação ou entrave. Para tal, pretende-se que haja uma conversão do fluxograma de informação, em *storyboards* que ilustrem as potenciais operações e percursos que o utilizador possa percorrer, que correspondem à experiência do utilizador. Como o projeto é centrado no utilizador, torna-se pertinente ter em conta os sentidos do ser humano, de forma que hajam vários e apropriados meios de interação (*input/output*), durante a interação Homem-computador. Coloca-se, no entanto, a questão sobre a necessidade de criar uma nova subdivisão na área do design, dado que já existia, no domínio da ciência computacional, um termo associado à interação digital: a interação Humano- Computador (*Human-computer Interaction - HCI*) que, aliás, constitui as bases fundadoras do design de interação. Deste modo, torna-se pertinente fazer um recuo temporal e considerar a origem do design de interação.

O *HCI* tem como propósito criar uma relação entre as pessoas e as máquinas computacionais com a qual interagem, da forma mais natural e intuitiva possível, evitando esforço físico e psicológico da parte do utilizador. Segundo Alan Dix (2022) da *Interaction design foundation*, o *HCI* contém duas facetas: por um lado é uma disciplina académica que estuda a forma como as pessoas interagem com a tecnologia, em particular a tecnologia computacional, baseando-se em estudos teóricos e empíricos; por outro lado é uma disciplina de design, centrada na criação de intervenções tecnológicas que façam a diferença para as pessoas, e está mais conectada à indústria e à elaboração de produtos e serviços. Estas duas dimensões estão profundamente interligadas: a componente prática fornece dados essenciais à componente teórica sobre os comportamentos dos utilizadores, enquanto a teoria interpreta e responde às questões provenientes da prática. No estudo e na aplicação do *Human-computer interaction*, é necessário ter em conta quatro fatores: os factos, que se centram na natureza do computador e na psicologia e fisiologia humana, durante as interações; as análises, que servem para compreender os contextos, identificar problemas e oportunidades, e, posteriormente, aplicar os factos; o design, que sintetiza os dois fatores anteriores e propõe a resolução de um problema; as atitudes, que se focam nas pessoas, num contexto com problemas reais (Dix, 2022).

Na década de 1980, a ascensão do *Human-computer interaction* deveu-se essencialmente ao surgimento do computador pessoal e do computador portátil (figura 12)<sup>13</sup>, que foi rapidamente disponibilizado para toda a sociedade, o que tornou crucial a criação de uma interação simples e eficiente, capaz de ser compreendida pela população em geral, focando nas questões de usabilidade. Apesar do *HCI* se centrar, inicialmente, nos computadores, ao longo do tempo veio a expandir-se, abrangendo quase todo o tipo de tecnologias de informação e tornando-se uma disciplina multidisciplinar. Ao longo dos anos de estudo e desenvolvimento, a interação humano-computador, tem-se assemelhado, cada vez mais, à interação entre humanos, evidenciando uma aproximação à interação considerada ideal.

---

<sup>13</sup> <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8094436/osborne-1-portable-computer>



**Figura 12** Primeiro computador portátil, Osborne 1 (1981). Fonte: Science Museum Group.

Devido à quantidade de dispositivos digitais que começaram a rodear as pessoas nos meios profissional e pessoal, e com a disseminação do computador, tornou-se essencial a existência de uma boa *human-computer interaction*, que tenha em conta as atividades dos utilizadores, na execução das diversas tarefas necessárias durante a sua utilização. Também decorreu uma proliferação da ciência computacional para os ramos do entretenimento (jogos), da educação, do comércio, da saúde, entre outros, influenciando a importância dada à atividade do utilizador, às suas emoções, aos comportamentos e às suas aspirações. Todas estas condições humanas enumeradas, pressupõem um motor estimulador que, neste caso, é a atividade. David Liddle (1978), durante a elaboração do *Star graphical user interface*, referenciou três estados, no desenvolvimento de tecnologia, que podem ser ligados e equiparados às três dimensões: tecnológica, cultural e comercial. A primeira é chamada fase entusiasta, e pode ser equiparada à dimensão tecnológica. Nesta fase a tecnologia é direcionada e exclusiva aos entendedores e entusiastas daquela determinada tecnologia, colocando a dificuldade de utilização em segundo plano. Numa segunda instância, surge a fase profissional e potencialmente comparada à dimensão cultural, onde há uma expansão da tecnologia para ambientes profissionais, como escritórios e fábricas, em que os compradores não correspondem aos utilizadores, desvalorizando ainda a dificuldade de utilização, mesmo que a tecnologia já contenha uma interface mais fácil de compreender. Na fase de consumo ou terceira fase, que corresponde à dimensão comercial, há uma disseminação da tecnologia, dando prioridade às potencialidades da tecnologia, face à tecnologia em si. É nesta fase que se torna primordial a facilidade de aprendizagem, como fator significativo para a sua

comercialização, ou seja, se a tecnologia for difícil de aprender, o utilizador não terá interesse.

Com a atividade como força motriz da interação, surge com pertinência a metodologia *Activity-centered design (ACD)*, proposta por Donald Norman (2005), o mesmo autor da conhecida metodologia *Human-centered Design (HCD)*. Apesar da *HCD* e a *ACD* terem origem no mesmo autor, a *HCD*, apresenta um pensamento de centralização da figura humana, enquanto que a *ACD*, protagoniza a atividade humana e sugere um foco na atividade praticada pelo utilizador, sem descurar o fator humano, na conceção do produto. Ou seja, o *ACD* não se ergue como substituto do *HCD*, mas como complemento, isto porque, o fator humano não desaparece, no entanto, com o aumento da complexidade e da multifuncionalidade apresentada nos produtos, principalmente, nos produtos digitais, centralizar a atividade na projeção dos produtos, pode ajudar a mitigar essa complexidade sentida pelo ser humano, durante o uso. Com a disseminação das tecnologias digitais e com a sua proliferação na maioria das nossas ações diárias, revela-se o desafio, para a comunidade do design, de projetar para tecnologias cada vez mais poderosas e complexas e, no entanto, torná-las de simples compreensão e que se integrem harmoniosamente na vida das pessoas (Moggridge, 2007, p. ix).

Em 1984, Bill Moggridge, designer industrial e fundador da *IDEO*, no seu livro *Designing interactions* (2007), justifica ter cunhado o ramo do design de interação, pelo facto de ser passível criar:

soluções imaginativas e atrativas num mundo virtual, onde se podiam desenhar comportamentos, animações e sons, para além das formas” [...] “Seria o equivalente ao design industrial, mas em software e não em objectos tridimensionais. Tal como o design industrial, a disciplina partiria das necessidades e desejos das pessoas que utilizam um produto ou serviço e esforçar-se-ia por criar projetos que proporcionassem prazer estético, bem como satisfação e prazer duradouros. (Moggridge, 2007, p. 14)

Com esta citação, Bill Moggridge, afirma a semelhança existente no processo de criação de produtos, nas áreas do design industrial e do design de interação, indo ao encontro da demonstração de semelhança entre as áreas, feita por Frankel (2018), na tabela 1, e também salienta a importância do fator emocional no comportamento humano, quando se relacionam com um objeto. Com o impacto que a tecnologia digital tem no nosso dia a dia, o interesse começa a direcionar-se mais para o significado que os utilizadores retiram das tecnologias, e não tanto para as suas funcionalidades e capacidades. Atualmente, quando adquirimos algum objeto, a escolha é bastante sustentada pelo valor emocional que a

peça tem para nós e para a sociedade, desvalorizando o seu valor funcional, pelo facto de já o considerarmos garantido. Esse valor emocional é fortemente suportado pela interação e pela interface. Assim como para a emoção, é necessária uma ação que estimule um ou mais sentidos, da mesma forma, para cada ação tem de haver uma reação (resposta) “Um sistema bem concebido tem um feedback tranquilizador, para que possamos saber o que fizemos quando o fizemos” (Moggridge, 2007, p. xv).

A justificação de Bill Moggridge ainda permanece atualizada e coincide com as definições de design de interação, de diferentes autores. Alan Cooper et al. (2014) no livro *About face*, definem design de interação como:

A prática de projetar produtos, ambientes, sistemas e serviços digitais interativos. Assim como muitas disciplinas de design, o design de interação preocupa-se com a forma. No entanto, antes de mais, o design de interação em algo que as disciplinas de design tradicionais, por norma, não exploram: o design do comportamento. (Cooper et al., 2014, p. xix)

Helen Sharp et al., mais recentemente, definem design de interação como o ato de “[...] projetar produtos interativos para suportar o modo como as pessoas comunicam e interagem na sua vida quotidiana e profissional.” (2019, p. 9).

Outra característica bastante importante no design de interação é a necessidade de saber onde o utilizador se localiza. Suponhamos um ambiente (físico) desconhecido, a reação normal do ser humano é criar algum tipo de marca ou mapa mental, de modo a não se perder ou então, por outro lado, usar auxiliares como o GPS, a fim de se localizar no espaço. Transpondo para uma realidade digital, também é crucial proporcionar ao utilizador uma noção da sua localização num ambiente ou plataforma. Assim, surgiu a preocupação de oferecer modos rápidos e fáceis do utilizador desfazer alguma ação, ou voltar para trás, daí o surgimento do botão *escape* (*esc*) que ainda permanece no canto superior esquerdo dos teclados atuais, mantendo uma consistência na criação e evolução das interfaces digitais. A *Apple* é um exemplo dessa consistência, sendo possível observar uma constância formal na interface digital dos seus dispositivos, entre os primeiros computadores, já com a implementação de um *graphical user interface*, e os dispositivos mais recentes. A solidez permite que o utilizador não necessite de aprender tudo do zero, seja no lançamento de um produto novo, seja na aquisição de um dispositivo diferente da marca. Ao projetar uma interação intuitiva, sem descurar o fator consistência, todo o fluxo da atividade se torna mais fluído e automatizado, permitindo que o utilizador se concentre nas suas tarefas e nos objetivos que pretende alcançar.

Assim como a localização no espaço virtual, também há outras características importantes que definem o design de interação, tais como: o **foco nos utilizadores** que, segundo Dan Saffer (2009), é da responsabilidade dos designers defender e focar nos utilizadores finais. Os utilizadores não compreendem gestão e estruturação de empresas, assim, o seu interesse cinge-se aos produtos que as empresas fornecem e como estes os podem ajudar a atingir os objetivos que pretendem da forma mais rápida e fácil possível. Assim, é o designer que fica encarregue de mediar os interesses de ambas as partes: da empresa e dos utilizadores.

Para atingir os objetivos dos utilizadores finais, os designers têm de ter em consideração certos processos no desenvolvimento de um produto digital. Para encontrar alternativas, os designers devem focar-se em criar a melhor opção possível para o contexto onde o produto vai ser inserido, em vez de se centrarem em escolher entre várias opções. A utilização da ideação e da prototipagem é um bom modo de chegar à melhor opção. Devido ao facto dos designers, frequentemente, trabalharem em equipa, a realização de *brainstormings* é uma técnica muito comum e eficaz para a criação de soluções, permitindo que se prossiga para a realização de protótipos, que representam uma solução possível. Ao serem postos à prova, vão sendo modificados e melhorados até chegarem à solução final. Contudo, todos estes testes carecem de apoio financeiro e material, daí a necessidade de colaboração na resolução de problemas. Por norma, quem fornece os recursos necessários para a resolução de problemas são as empresas, logo a liberdade dos designers limita-se aos objetivos das empresas.

Para a resolução de problemas, é comum haver inspiração oriunda de outros projetos. Porém e as soluções criadas devem ser adequadas à situação, ao contexto e ao público alvo para o qual se está a projetar. O permite o contacto com diversas áreas do conhecimento, como a engenharia, a psicologia, a filosofia, a ergonomia, a arte, entre outros, podendo tirar proveito de um enorme espectro de contextos e influências, onde pode ir buscar inspiração na criação de soluções. Contudo, o design difere-se de outras áreas, na criação de produtos, devido à primeira característica assinalada, o **foco nos utilizadores**. Assim que os designers tenham em conta a funcionalidade dos seus produtos, assim com os engenheiros, também tem em conta a incorporação de uma componente emocional. Têm por base a interação e a relação que os utilizadores irão criar com os seus produtos.

## 1.3 A interface

A interface refere-se à parte de um sistema ou dispositivo que permite a interação entre os utilizadores e o sistema em questão. É o ponto de contacto onde os utilizadores podem comunicar as suas ações, comandos ou intenções ao sistema e, por outro lado, é onde o sistema também pode responder e informar o utilizador, através de *feedback*. As interfaces são uma parte fundamental de praticamente todos os dispositivos digitais e podem assumir várias formas, mediante o contexto e o meio.

Segundo Donald Norman, a interface refere-se ao ponto de interação entre o utilizador e um sistema, particularmente no design de produtos ou serviços. Norman (2013) destaca que a interface é crucial para facilitar o uso intuitivo e eficiente dos objetos ou dispositivos, seja um computador, um website ou um simples produto físico.

Norman introduz conceitos como a usabilidade e o design centrado no utilizador (*Human-centered Design, HCD*). Estes conceitos visam criar interfaces que permitem que os utilizadores interajam de maneira natural, sem esforço excessivo e entendendo facilmente o funcionamento do produto ou serviço. A interface, segundo o autor, deve comunicar claramente o que o sistema faz e como o utilizador pode interagir com ele.

Por outro lado, Jakob Nielsen, um dos principais especialistas em usabilidade, define a interface como o meio pelo qual os utilizadores interagem com um sistema ou produto, seja ele digital ou físico. Para Nielsen (2024), o foco principal de uma interface é a usabilidade, ou seja, a facilidade com que as pessoas podem aprender a usar um sistema e atingir os seus objetivos de forma eficiente e satisfatória. Nielsen criou uma lista de heurísticas de usabilidade para o design de interfaces.

Os 10 princípios gerais de Jakob Nielsen para o design de interação (consideradas regras gerais, daí serem chamadas de heurísticas) são as seguintes:

**1. A visibilidade do estado do sistemas:** Onde Nielsen considera que o utilizador deve ter sempre ao seu dispor a possibilidade de se manter informado sobre o que acontece no seu sistema, através de *feedbacks* apropriados. Ao cumprir esta regra, o utilizador tem a capacidade de aprender com a sua própria utilização, pelo facto de saber os resultados das suas interações.

**2. Correspondência entre o sistema e o mundo real:** Esta regra aconselha o uso de conceitos, termos e idiomas que sejam familiares ao utilizador. Para tal, Nielsen sugere o

uso de convenções do mundo real, no contexto digital, para que a informação e a interação seja lógica e natural.

**3. Controlo e liberdade do utilizador:** Outro aspeto importante para o design de interação é transmitir uma noção de controlo e liberdade ao utilizador, para que este, em caso de engano ao executar as suas tarefas, tenha uma forma fácil e rápida de voltar atrás ou sair do local onde foi ter por engano, evitando gerar *stress* aos utilizadores.

**4. Consistência e padrões:** Um aspeto extremamente importante no design de interação é a criação de um ambiente de utilização consistente, padronizado e familiar, acompanhando uma característica natural no ser humano, a criação de rotinas e padrões de ação. Assim, “os utilizadores não deveriam ter que se perguntar se palavras, situações ou ações diferentes significam a mesma coisa.” (Nielsen, 2024, para. 11), o ideal é seguir as convenções impostas pela indústria, mesmo em plataformas diferentes. Esta regra é extremamente importante devido ao facto do ser humano atualmente, ter um contacto quase constante com o meio digital e, na maior parte do tempo, esse uso é feito através de produtos que não são seus, mas sim do seu local de trabalho, por exemplo. Ao pôr em causa a consistência de um produto, pode gerar-se um aumento significativo da carga cognitiva.

**5. Prevenção de erros:** Em caso de erro, é importante evidenciar o seu aparecimento e qual é o erro que está a ser cometido. Um exemplo bastante comum no dia a dia é no início de sessão de conta numa plataforma digital que, no caso de se digitar o email ou nome de utilizador, e/ou a palavra passe incorretamente, aparece sempre alguma informação, geralmente a vermelho, a indicar que um dos elementos está incorreto. Deste modo, o utilizador, rapidamente se apercebe do seu engano e prossegue à correção do mesmo.

**6. Reconhecimento em vez de recordação:** Nesta heurística, Nielsen refere que uma interface deve ser usada e seguida pelo utilizador, com base em elementos que o vão guiando a fazer as ações que este pretende. Tal deve-se ao facto do ser humano ter mais capacidade em reconhecer algo que lhe é mostrado, do que de se lembrar dos passos ou tarefas necessárias para executar alguma atividade. Nielsen auxilia-se de uma comparação que ajuda a perceber o presente ponto: “É mais fácil para a maioria das pessoas reconhecer as capitais dos países, do que se lembrar delas. É mais provável as pessoas responderem corretamente à questão <<Lisboa é a capital de Portugal?>>, do que à questão <<Qual é a capital de Portugal?>>” (Nielsen, 2024, para. 17).

**7. Flexibilidade e eficiência de uso:** Possibilitar aos utilizadores capacidade de personalização das suas ações, permite que seja mais inclusivo, abrangendo tanto utilizadores inexperientes assim como utilizadores especialistas. O uso de atalhos é um método eficaz de permitir a personalização de interações.

**8. Design estético e minimalista:** Nielsen refere que as interfaces devem conter apenas camadas de informação que sejam realmente relevantes e necessárias. As interfaces digitais são cada vez mais comuns e, conseqüentemente, mais complexas, justificando a postura do autor enquanto defensor de uma estética minimalista. Ao obter o essencial e não encher as interfaces de informação irrelevante, transmite uma sensação de fácil usabilidade, mesmo em plataformas complexas.

**9. Ajudar os utilizadores a reconhecer, a diagnosticar e a recuperar de erros:** Em caso de erros, é crucial evidenciar o erro e indicar qual é o problema, para que o utilizador possa tentar resolver. Para além disso, Nielsen ainda sugere a adição de uma possível sugestão de solução ao problema.

**10. Ajuda e documentação:** Numa plataforma, o ideal é não haver qualquer necessidade de explicação adicional, no entanto, é preferível haver documentação que guie os utilizadores a exercerem as suas tarefas, do que não haver nada e deixar o utilizador em dúvida ou sem saber usar.

Do mesmo modo que Nielsen, Shneiderman (1985) também agrupou oito regras consideradas cruciais pelo autor no desenvolvimento de interfaces:

**1. Consistência:** onde o autor se refere ao uso de elementos gráficos, como ícones, cores, menús e chamadas para ações, semelhantes, em situações também semelhantes. Ao criar um método similar de interação, o utilizador facilmente executa as tarefas que pretende e, em situações futuras, facilmente prevê o percurso que necessita de realizar para o mesmo tipo de interações.

**2. Atalhos:** Com o aumento do uso de dispositivos, não para contexto de entretenimento, mas também para contextos de produtividade, surgiu a necessidade de se criarem atalhos que permitam que os utilizadores frequentes executem as suas tarefas de forma mais rápida. Por exemplo em *softwares* com muitas funcionalidades, torna-se bastante conveniente uso de atalhos no fluxo de trabalho, principalmente em casos de funcionalidades que não se encontram disponíveis nas barras de tarefas.

- 3. Feedback informativo:** O utilizador deve compreender todo o processo de interação, durante todo o tempo em estiver a interagir com o produto ou dispositivo. Para tal, toda e qualquer ação do utilizador, deve resultar numa reação (*feedback*), por parte do dispositivo.
- 4. Diálogo:** Uma boa interface, segundo Schneiderman, deve dialogar com o utilizador, de modo a que este compreenda que as suas ações estão corretas. Por exemplo, durante o processo de compra *online*, os vários passos que o utilizador deve preencher, se no final de cada passo, a própria interface for comunicando quanto tempo falta para a compra estar efetuada, informa o utilizador que vai no caminho correto e o tempo que terá de despende para efetuar a compra *online*.
- 5. Tratamento de erros:** No caso de erros efetuados pelos utilizadores, como por exemplo num *login* de uma conta, é crucial que a correção do erro seja o mais rápido e simples possível, por isso é preferível que a interface identifique o erro da forma mais precisa, identificando o campo exato onde o utilizador errou, em vez de apenas anunciar um erro num dos campos de preenchimento, sendo necessário que essa identificação seja feita pelo próprio utilizador.
- 6. Reversão de ações:** Tanto a oferta como o modo de reversão de ações devem ser constantes e evidentes. Por exemplo em ocasiões em que o utilizador tenha de preencher dados ou pagar algum serviço, de modo a transmitir confiança e segurança. No caso de utilizadores mais velhos ou inexperientes, evidenciar o retroceder de alguma ação, ajuda a apaziguar o utilizador que, por vezes tem receio de fazer algo errado.
- 7. Apoiar o controlo interno:** Dar ao utilizador a sensação de controlo sobre o espaço digital, faz com que os utilizadores confiem nesse sistema e, enquanto isso, o autor que o sistema seja desenvolvido na direção que os utilizadores esperam.
- 8. Reduzir a sobrecarga de memória a curto prazo:** A memória humana a curto prazo tem limitação e consegue memorizar cerca de cinco elementos ao mesmo tempo, por isso é crucial manter as interfaces o mais simples possível, com elementos de consistência, familiaridade e hierarquias evidentes. Para além disso, é preferível optar pelo reconhecimento, em vez de lembrança, pois é mais fácil um utilizador reconhecer certas pistas e aspeto do observa, do que se lembrar de algo.

O esquemorfismo surge como um elemento facilitador, alinhando-se com as 8 regras de ouro de schneiderman (1985) e as heurísticas de Nielsen (2024), ao proporcionar uma

interface gráfica que explora a familiaridade visual e o reconhecimento intuitivo por parte do utilizador. Esta é uma das técnicas que mais ajuda a resolver certos problemas e a seguir as heurísticas apontadas por Nielsen, entre as quais o reconhecimento em vez de recordação, consistência e padrões, correspondência entre o sistema e o mundo real; e por Shneiderman, tais como a consistência, atalhos, redução da carga de memória a curto prazo.

### 1.3.1. Esqueumorfismo

O termo esqueumorfismo (em inglês *Skeuomorphism*) deriva do grego *skeuos*, que significa ferramenta, e *morphé*, que significa forma. Com o aparecimento dos telemóveis com ecrãs táteis, que se deu com o primeiro *iPhone*, lançado em 2007, o termo ganhou uma grande importância no contexto digital, onde era necessário que os utilizadores, habituados a telemóveis com botões e um pequeno visor, conseguissem interagir sem grandes entraves e com a menor curva de aprendizagem possível, com um telemóvel, com apenas um ecrã e um botão. Para tal, os designers inseriram elementos com as quais os utilizadores já estavam familiarizados, mediante a aplicação: no caso do bloco de notas, simularam folhas amarelas com linhas, como se de um bloco de notas físico se tratasse; no caso do teclado, também se guiaram pelo teclado já usado para interagir nos computadores; na calculadora, todo o grafismo simulava o relevo dos botões. O mesmo aconteceu com os ícones das aplicações, a sua execução foi feita para que as pessoas conseguissem perceber rapidamente a sua funcionalidade.

Com o passar dos anos, e com a ubiquidade dos ecrãs táteis na sociedade, começou-se a optar por iconografias mais simples e minimalistas, devido à aprendizagem pretérita por parte dos utilizadores, contudo cromaticamente vibrantes. Apesar de tudo, os ícones, apesar de simples, mantiveram traços familiares que tornam as aplicações consistentes e igualmente familiares às pessoas. A própria disposição das teclas em qualquer interface que necessite de um teclado para interagir, permanecem com o padrão *QWERTY*, usado desde o século XIX, incorporado pela primeira vez nas máquinas de escrever.

No entanto houve ícones onde não houve qualquer evolução gráfica, como por exemplo do ícone para guardar/salvar, onde a imagem usada é referente a um objeto obsoleto, a disquete, que é desconhecido pela maioria das pessoas que compõem a nova geração de utilizadores e, no entanto, permanece como o símbolo para guardar informação em vários *softwares*. De facto, por um lado, não faz sentido usar-se a imagem de algo obsoleto e, por

muitos, desconhecido, por outro lado, é universalmente conhecido neste contexto, por isso, também pode gerar problemas ao alterar esse ícone (Dantas, 2021), ou seja, pela nova geração o símbolo da disquete significa apenas o ícone para guardar documentos e informação. Em acrescento, com o surgimento de *clouds* e com a utilização constante da internet, já há muitos *softwares* que são usados maioritariamente *online* e que já carecem de uma gravação feita pelo utilizador, antes de o desligar, por isso, eventualmente pode acontecer que esse ícone possa vir a desaparecer por completo do nosso ambiente digital.

Numa realidade cada vez mais digital, as adaptações e associações que fazemos, deixam de provir de objetos, mas sim da experiência (por sinal, cada vez mais digital), ou seja, no panorama atual, um utilizador já não questiona se um botão virtual realmente é um botão (seja ele mais *flat* e minimalista ou texturizado e tridimensional), apenas sabe que pode interagir. Ou seja, “o lado visual do esqueuormorfismo pode já não fazer mais sentido no nosso dia a dia, mas a experiência, sim.” (Dantas, 2021, para. 22).

O design esqueuormórfico foi fulcral para adaptar toda uma geração ao surgimento do digital, com a menor curva de aprendizagem. Contudo, a partir de meados da década de 2000, começou a ser questionada a necessidade de uma metáfora visual, pelo que já havia uma geração inteira a contrastar com a anterior, por nunca ter conhecido um mundo sem computação. “Em 2007, a revista Forbes anunciou a morte do esqueuormorfismo” (IXDF, 2020, para. 8) e mais ou menos na mesma altura empresas como a *Apple* e a *Google*, começaram a seguir uma linha de *flat design* (figura 13)<sup>14</sup>.



**Figura 13** *iOs* 6 e *iOs* 7, respetivamente.  
Fonte: Sush Labs.

<sup>14</sup> <https://www.sushlabs.com/blog/ios-the-ui-design-journey>

Segundo Bert Brautigam (2017, para. 2), “o esqueumorfismo significa usar referências e metáforas do mundo real em interfaces, para melhorar a sua compreensão. Um botão esqueumórfico parece um interruptor físico, um ecrã esqueumórfico pode ter uma textura de madeira”.

Ao contrário de Dantas, Brautigam refere-se a um esqueumorfismo assente em metáforas de experiências e não em metáforas de forma. O autor, neste caso centra-se no esqueumorfismo embutido nos assistentes de voz: Siri, Alexa, Amazon Echo, Google Home e Cortana, referindo-se a eles como “O assistente humano como metáfora” (2017, para. 8). Este assistente tem um género sexual, tem a capacidade de reagir a algo que o utilizador diga, com uma piada, tem uma entoação e som idêntico ao da voz humana e reage com base em emoções expressas pelas pessoas (como no caso de um utilizador dizer ao assistente de voz que se sente triste e para colocar música, nesse caso o assistente vai colocar música com base nas emoções da pessoa). Brautigam usa o termo numa atualidade centrada cada vez mais na usabilidade e não tanto na forma do objeto, devido à forte presença do digital na sociedade. “Assim como os botões se parecem literalmente com um botão na interface visual esqueumórfica, o assistente de voz, que soa literalmente como um humano, é um esqueumorfismo.” (Brautigam, 2017, para. 10).

No caso dos assistentes de voz, a metáfora é o ser humano, apenas por meio da simulação da voz humana. Um utilizador, mesmo estando sozinho em casa, pode sentir companhia ao comunicar com os assistentes de voz, a ausência da forma física é compensada com a presença vocal, que funciona como a interface base, seja no *input*, por parte do utilizador, como no *output*, por parte do assistente (que responde com base num algoritmo e em inteligência artificial). Esta companhia virtual, já possível com o rádio, com a televisão e com os computadores pessoais, permite agora que haja uma conversa entre duas entidades e não apenas uma companhia por parte de uma série, uma novela ou um programa de rádio.

As interfaces gráficas, onde houve o maior foco do esqueumorfismo, atualmente, começam a tornar-se obsoletas e desnecessárias, porque a sociedade compreende e pressupõe a existência, seja de um botão ou de outro elemento gráfico, tanto num domínio físico, como num domínio digital. No entanto, os botões físicos e virtuais, não deixam de ter semelhança entre si, apenas não de uma forma excessivamente literal.

Brautigam (2018) valoriza muito o esqueumorfismo nos assistentes de voz, não pelo nível de realismo na voz em si, mas na qualidade da resposta aos pedidos feitos pela pessoa,.

Contudo, considera que, à semelhança das interfaces visuais, haverá também uma tendente obsolescência do esqueumorfismo neste tipo de interfaces: “Isso acontecerá assim que as pessoas compreenderem a voz como uma maneira natural de interagir com produtos e serviços e desenvolverem a autenticidade comportamental correspondente.” (Brautigam, 2018, para. 15).

Donald Norman (2013) refere-se ao esqueumorfismo num contexto mais próximo do seu significado inicial. Para introduzir o termo, Norman usa o exemplo de uns testes de som feitos num *BMW* elétrico devido ao facto deste tipo de carros serem extremamente silenciosos, fazendo apenas som com as rodas, deslocação do ar ou com um pequeno som agudo emitido pelo motor elétrico. Neste contexto, é preciso ter em conta o agrado de muitos condutores, mas também a preocupação por parte dos peões, não só para pessoas invisuais, mas também para os restantes cidadãos que vivem num ambiente em que a maioria dos carros emite um som que evidencia a sua presença, o que faz com que muitas vezes não olhem para a estrada quando a atravessam, panorama que se altera com o surgimento dos carros elétricos.

Assim, começou a surgir a ideia da adição de sons que avisem os peões da presença do carros, no entanto a adição de um som pode ser deveras desafiante, pelo facto de ser demasiado ensurdecedor, como o caso de uma buzina, ou pode não ser identificador da presença de um veículo. Houve várias sugestões, como adição de pedras para fornecerem som nos momentos em que o carro estivesse a circular mais devagar, que é onde é mais necessário, assim como a utilização de sons artificiais, proporcionando que cada marca tivesse o seu próprio som, mediante a personalidade de cada marca. “A Porsche adicionou altifalantes ao seu carro elétrico para emitir o mesmo “rugido rouco” que os carros a combustível” (Norman, 2013, p. 158).

Donald Norman define o esqueumorfismo como o “termo técnico usado na incorporação de ideias antigas e familiares em novas tecnologias, mesmo que já não desempenhem um papel funcional.” (Norman, 2013, p. 159). O esqueumorfismo é uma técnica muito importante no design, para criar pistas, que proporcionem aos produtos comunicarem com os seus utilizadores o modo como funcionam, sem serem necessárias instruções prévias. Este conceito é mais conhecido por acompanhar contextos digitais, como é o caso do ícone da aplicação das chamadas, que contém a imagem de um telefone fixo, que também corresponde ao gesto usado para representar uma chamada telefónica. No entanto, neste caso em particular, é de notar que as gerações mais recentes, por vezes já usam um gesto diferente para representar a chamada telefónica, o que pode levantar a possibilidade de

ser mudado o ícone da aplicação das chamadas. De qualquer das formas, em caso de alteração, esta será provavelmente feita com base na mesma técnica, o esqueumorfismo.

O esqueumorfismo já é usado há bastante tempo, como no caso dos surgimento dos primeiros automóveis, onde a sua forma se inspirou muito nas pretéritas carroças puxadas a cavalo, ou no caso dos copos de plástico, que tentam simular o vidro, ou, como mencionado acima, no caso do ambiente de trabalho dos primeiros computadores com *GUI*, que se baseou no ambiente de trabalho de um escritório (Norman, 2013), mantendo-se assim até aos dias de hoje.

Atualmente, com o aumento da presença do digital, no dia a dia, alguns elementos identificadores (como ícones ou sons), já têm a potencialidade de serem mais abstratos e ainda assim compreendidos pelos utilizadores. Tal deve-se ao próprio ambiente digital que gradualmente começa a ser o próprio ambiente imitado. Normalmente é feito o lançamento de um design esqueumórfico novo, com nuances do antigo, como meio de transição e, “eventualmente novas formas emergem que não têm qualquer relação com as antigas.” (Norman, 2013, p. 159).

Com o surgimento de ambientes cada vez mais imersos e virtuais, como a realidade virtual e da realidade aumentada, muitas pessoas ainda não estão familiarizadas com essas tecnologias, o que pode gerar algum desconforto e até mesmo receio. Neste sentido a aplicação de aspetos que sejam familiares aos utilizadores, pode fazer com que estes se sintam mais confortáveis a utilizar estes ambientes. No caso da realidade virtual, por exemplo, tendo em conta que a ideia é simular todo um novo ambiente, a adição de sensações táteis, pode tornar esses ambientes mais idênticos ao ambiente real e mais familiares para os utilizadores, que se sentirão mais próximos do seu contexto real. A adição das sensações táteis pode ser um bom modo de tornar os ambientes virtuais mais imersivos pelo facto de, segundo Ellen Lupton e Andrea Lipps (2018), a sensação tátil ser considerada a primeira linguagem humana e o primeiro meio de conhecimento do mundo ao seu redor. Assim como Donald Norman, nos testes para o *BMW* elétrico, teve em consideração aspetos familiares aos utilizadores, principalmente os invisuais, no que toca ao sentido auditivo, no caso do presente documento, o sentido em consideração é o tato. “Uma forma de ultrapassar o medo do novo, é fazê-lo parecer antigo. Essa prática é criticada pelos designers puristas, mas de facto, tem as suas vantagens para facilitar a transição do antigo para o novo” (Norman, 2018, p. 159).

### 1.3.2. Tipologia de interfaces

Existem diversos tipos de interfaces que nos rodeiam e nos possibilitam usufruir do poder das tecnologias facilitando e otimizando as nossas vidas. Neste documento foram abordadas interfaces diferentes que podem ser encontradas em vários dispositivos do dia a dia. Os aparelhos podem ser compostos de uma só interface ou conter várias, tornando-os mais complexos e completos. As interfaces podem ser divididas em três tipos: *hardware interfaces*, *software interfaces* e *user interfaces*.

As *hardware interfaces* servem para conectar diferentes dispositivos entre si, como é o caso das interfaces *USB*, interfaces *PCI* e interfaces paralelas (onde estão incluídos *scanners* e impressoras). No caso das *software interfaces*, são baseadas em linguagem de programação, que permitem várias aplicações comunicarem entre si e com o sistema interno do próprio *hardware*, incluindo o espaço de armazenamento e o CPU (Indeed, 2022).

De seguida vão ser enumeradas as *user interfaces*, seguidas de uma síntese explicativa com os respetivos exemplos de aplicação:

**Interface de linha de comando** (*Command-Line interfaces - CLI*): As primeiras interfaces funcionavam com base em comandos (geralmente abreviaturas), digitadas pelo utilizador, algumas incorporadas no teclado, como o *enter* e o *delete*, ou outras teclas que podem ser programadas como as teclas do F1 ao F12. Atualmente, linhas de comando ainda são frequentemente usadas em casos em que a interação é facilitada ou acelerada (Raskin, 2000), como é o caso das *short keys*. Em casos de entretenimento, como jogos e realidade virtual, linhas de comando também são frequentemente usados para acelerar o processo, sem comprometer a atenção nos objetivos principais do jogo. Noutro contexto, em programas como o *Autocad*, ilustrado na figura 14<sup>15</sup>, também é frequente o uso de comandos para ativar certas ferramentas. Estas interfaces são frequentemente usadas por desenvolvedores de *softwares* e administradores de sistema (Klotz, 2024).

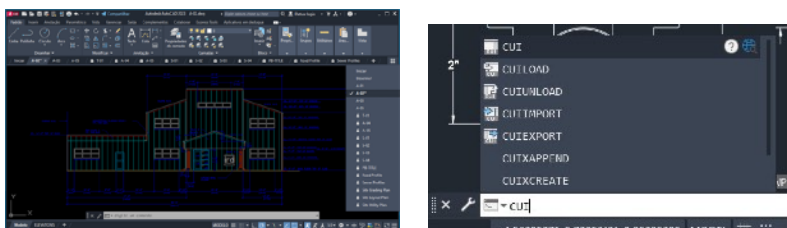
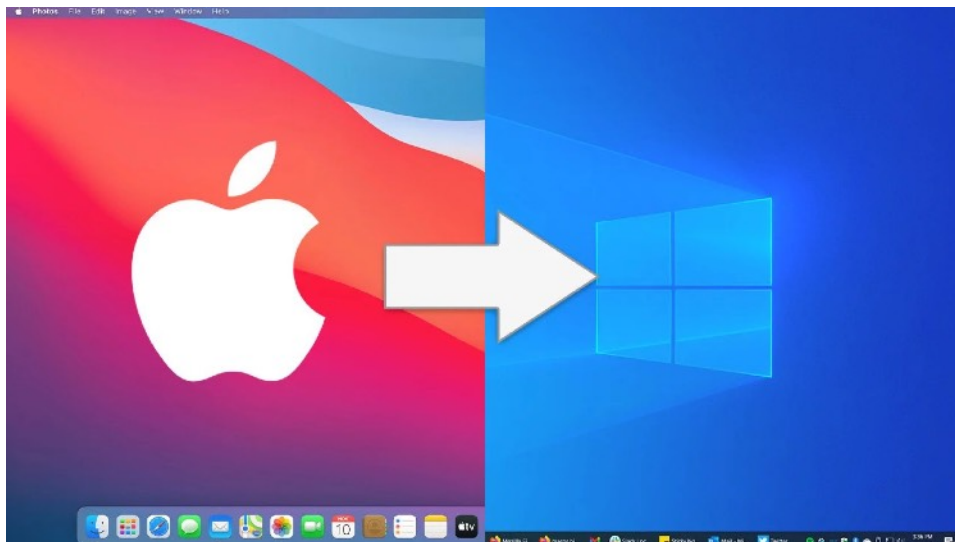


Figura 14 *Command-Line* para controlar o *Autocad*. Fonte: Autodesk.

<sup>15</sup> <https://help.autodesk.com/view/ACD/2024/PTB/?guid=GUID-DF1E3B28-4DE4-4339-AC47-3150DF57FA73>

**Interfaces gráficas de utilizador** (*Graphical user interface - GUI*): Esta interface consiste na possibilidade de interagir com elementos gráficos, como imagens, símbolos e ícones, pressupondo também o uso de cores e tipografia. Foi com a *Xerox Star interface* que surgiram as *GUI*, originalmente chamada de *WIMP* (*Windows, Icons, Menus, Pointer*). Cada elemento tinha o seu propósito: as janelas servem para mostrar informação e possibilitam ações de *scroll* e também podem ser esticadas, encolhidas, abertas, fechadas e movidas pelo ecrã; os ícones são pictogramas de representação de aplicações, ferramentas, objetos, que podem ser abertos ou usados. Pela sua forma comunicam o seu propósito; os menus servem para armazenar e organizar opções e ferramentas, por secções, e podem ser abertas, exploradas por meio de *scroll* e seleccionadas; os dispositivos de apontar, como os cursores, possibilitam aos utilizadores a interação com todos os elementos anteriores. Enquanto que a primeira geração do *WIMP* tinha uma forma quadrada e rígida, segmentada por blocos, atualmente as *GUI* são redimensionáveis, adaptando-se ao tamanho do dispositivo que está a ser utilizado, seja um computador, um *tablet*, um telemóvel ou um *smartwatch*, para além de serem manuseados através do toque. Todavia, apesar da evolução até aos dias de hoje, a base das *GUI* atuais é o *WIMP* (figura 15)<sup>16</sup>, e ainda é notória essa influência nas interfaces gráficas mais recentes. Este tipo de interfaces são extremamente comuns e podem ser encontradas em vários sistemas e aplicações (Klotz, 2024).



**Figura 15** *Graphical User Interface* do Apple MacOS e do Microsoft Windows. Fonte: PCMag.

---

<sup>16</sup> <https://www.pcmag.com/how-to/windows-10-tips-for-mac-users>

**Realidade virtual** (*Virtual reality - VR*): A investigação e a experimentação no ramo da realidade virtual iniciou-se na década de 70 do século XX, com o objetivo de simular ambientes em que o utilizador participava na primeira pessoa. A intenção centrava-se na criação de uma experiência puramente virtual, no entanto com uma interação mais próxima da realidade. As potencialidades vão para além da perceção da presença num mundo virtual, mas também a capacidade de interação com objetos desse ambiente, através de comandos e *joysticks* que permitem ao utilizador levantar e interagir com objetos puramente virtuais. Para além da tridimensionalidade dos objetos, a aplicação de texturas também pode facilmente ajudar a torná-los mais parecidos com os objetos reais, para além de ser também possível programá-los para reagirem segundo as leis da física, tornando a sua interação mais realista. A realidade virtual está muito ligada a meios de entretenimento, mas também é frequentemente usada para situações de simulação e também para modelação 3D, dando a possibilidade ao utilizador de visualizar o objeto com as suas dimensões reais, dando uma maior precisão na escolha das dimensões na fase de prototipagem e modelação, em design de produtos (figura 16)<sup>17</sup>. Outra aplicação da VR também é em contextos de reportagens e documentários, onde a pessoa é colocada no ambiente que está a ser noticiado. Em casos de refugiados e situações de guerra, esta interface consegue espoletar as emoções dos espectadores, ao simular o local documentado.

Por exemplo, a BBC, juntamente com *Aardman Interactive* e investigadoras da *University College of London*, desenvolveram uma experiência de VR chamada “*We wait*”, em que colocaram o espectador num lugar onde poucos jornalistas estrangeiros estiveram, nomeadamente, em barcos com um grupo de refugiados a atravessar o Mar Mediterrâneo. O objetivo era permitir que os jornalistas e outro participantes experimentassem a sensação de estar no barco com os refugiados. [...] As personagens em resposta à interação do olhar. Verificou-se que os avatares geravam uma resposta empática dos participantes.<sup>18</sup> (*Sharp, et al., 2019, p. 213*)

---

<sup>17</sup> <https://3dvm.com/en/substance-3d-modeler-released-in-open-beta-is-this-the-future-of-3d-modeling/>  
<https://program-ace.com/blog/the-reimagined-nature-of-vr-entertainment/>  
<https://smarttek.solutions/blog/7-advantages-of-vr-simulation-labs/>

<sup>18</sup> “For example, the BBC together with *Aardman Interactive* and *University College London* researchers developed a VR experience called “*We Wait*”, where they put the viewer in a place that few foreign reporters have been, namely, on a boat with a group of refugees crossing the Mediterranean Sea (*Steed et al., 2018*). The goal was to let news reporters and other participants experience how it felt to be there on the boat with refugees. [...] The characters had expressive eyes intended to convey human emotion in response to gaze interaction. The avatars were found to generate an empathic response from participants.” (*Sharp, et al., 2019, p. 213*).



**Figura 16** Realidade virtual em contexto de simulação, entretenimento e modelação 3D, respetivamente. Fonte: 3DVF, Program Ace e Smartek.

**Interfaces de voz** (*Voice user interface - VUI*): Esta tecnologia implica um emissor e um recetor, assim como numa conversa entre duas pessoas só que, neste caso, o emissor é um utilizador e o recetor é uma interface inserida numa aplicação ou num dispositivo, como um telemóvel. Esta tecnologia dá-nos a capacidade de interagir com um aparelho eletrónico através da voz, enquanto fazemos outro tipo de atividade. Permite também obter respostas rápidas a questões que tenhamos, como saber a meteorologia, as horas, horários de um transporte ou mudar de canal. Nas primeiras versões de interfaces por voz, havia alguma dificuldade na comunicação, sendo que era limitada a alguns idiomas e todas as palavras tinham de ser ditas devagar e com boa dicção, de modo a diminuir erros de perceção da própria interface, erros esses, frequentemente inevitáveis. Para além disso as vozes usadas como resposta eram vozes artificiais e sintéticas, algo que atualmente tem sido substituído por vozes gravadas por atores que gravam certas respostas e que, agora com a inteligência artificial, já podem ser expandidas para um maior número de



**Figura 17** Assistentes de voz *Alexa*, *Siri*, *Google assistant* e *Cortana*, respetivamente. Fonte: Medium.

possibilidades de resposta sem que sejam necessárias gravações. A interface por voz veio trazer oportunidade às pessoas com problemas visuais de interagirem com dispositivos eletrónicos de uma forma mais fluída e natural, com as evoluções que tem havido. Nesta área os assistentes virtuais como a *Siri*, a *Alexa*, a *Google assistant* e a *Microsoft cortana* (figura 17)<sup>19</sup>, têm-se destacado muito no sentido da interface por voz, de modo a ser o mais

<sup>19</sup> <https://medium.com/techtalkers/google-vs-siri-vs-alexa-vs-cortana-which-reigns-supreme-faf7143ccbca>

útil possível, assim como o mais próximo possível de uma conversa entre pessoas (Klotz, 2024).

**Interfaces gestuais** (*Gesture interface*): Os gestos são um modo de comunicação inerente ao ser humano, desde sempre. Quando duas pessoas não falam a mesma língua, geralmente a forma de mitigarem o seu problema de comunicação verbal apoia-se em gestos e movimentos para se tentarem comunicar uma com a outra. Ao transpor para um contexto digital, fazendo com que os movimentos sejam percecionados e decodificados pela tecnologia, é possível usufruir dessa comunicação humana para comunicar com entidades virtuais. No cinema, é muito comum usar-se esta tecnologia para modelar os movimentos de uma personagem que seja feita em *CGI*, mas protagonizada por um ator, como é o caso da personagem *Gollum*, em *The Lord of the rings*, protagonizada por Andy Serkis. Outro contexto de uso comum destas interfaces são os ambientes hospitalares, particularmente nos blocos operatórios, para que os cirurgiões interajam com a interface, de modo a poderem ver exames como raios X, sem a necessidade de toque, mantendo, assim, as mãos esterilizadas.

Em resposta à necessidade de fornecer aos cirurgiões controlo sobre as imagens médicas, mantendo a esterilidade, estamos a assistir a uma série de iniciativas de investigação que exploram formas de interação com estas tecnologias de imagem sem tocarmos, em particular através de controlos estuais e por voz (O'Hara et al., 2013, p. 1)

Esta interface é um exemplo de adoção de capacidades naturais do ser humano, transpostas e adaptadas à interface e em interações digitais, assim como foi proposto na presente dissertação.

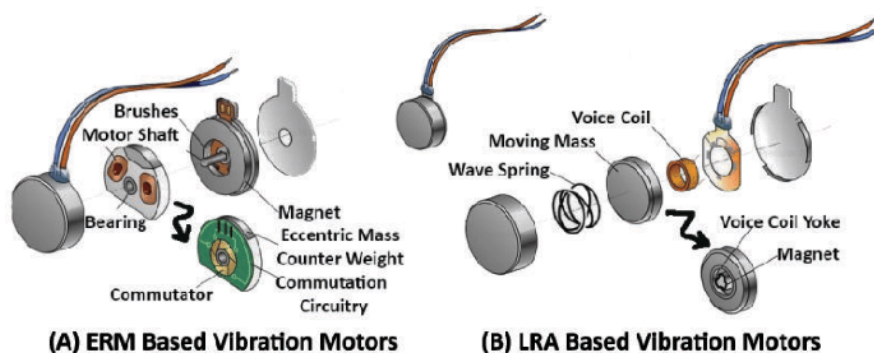


**Figura 18** Kinect (interface gestual) em demonstração na sede da Microsoft. Fonte: Youtube.

**Interfaces hápticas** (*Haptic interfaces*): A interface háptica providencia um *feedback* tátil, por parte da interface, através da aplicação de vibrações, forças e pressão, ao utilizador, através do uso de atuadores aplicados no produto que emite essas forças e vibrações, sejam roupas, telemóveis, *smartwatches*, entre outros tantos dispositivos. Um dos objetos que constitui esta tecnologia incorporada há mais tempo, apesar da confusão geral com simples vibração, são os comandos de consolas (*playstation, Xbox*), que conseguem enriquecer a experiência e imergir o utilizador no ambiente do jogo (figura 19)<sup>20</sup>.

Noutro contexto, os sistemas de simulação também são frequentemente capacitados com estas características, fazendo com que haja maior envio de informação ao utilizador, no momento do uso:

por exemplo, os volantes dos automóveis utilizados com simuladores de condução podem vibrar de várias formas para proporcionar a sensação da estrada. Quando o condutor faz uma curva, o volante pode ser programado para sentir que está a resistir da mesma forma que um volante real. (Sharp et al., 2019, p. 252)

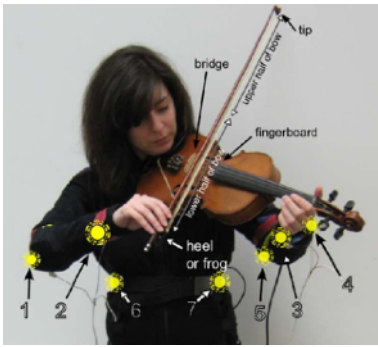


**Figura 19** Dois tipos de motores vibracionais ERM e LRA, respetivamente. Fonte: ResearchGate.

A vibração tátil também permite que duas pessoas possam comunicar remotamente, ao conter atuadores embutidos na roupa. Uma das pessoas pode simular um abraço, fazendo com que a outra pessoa o sinta, aproximando a interação à distância, de uma interação pessoal. Noutro exemplo de aplicação, o *MusicJacket* de Van der Linden et al., (2011) foi desenvolvido para ajudar os violinistas principiantes a aprender a segurar corretamente o seu instrumento e a desenvolver uma boa ação de arco (figura 20)<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> [https://www.researchgate.net/figure/ERM-and-LRA-based-vibration-motors-20\\_fig1\\_342802300](https://www.researchgate.net/figure/ERM-and-LRA-based-vibration-motors-20_fig1_342802300)

<sup>21</sup> <https://www.semanticscholar.org/paper/MusicJacket—Combining-Motion-Capture-and-Feedback-Linden-Schoonderwaldt/46fdc3a0b72c3b1f08ed546cff69161b0f469e1d/figure/1>



**Figura 20** *MusicJacket* by Van der Linden et al. (2011). Fonte: Semantic Scholar.

O *feedback* vibrotátil é fornecido através do colete para dar sinais táteis em locais-chave do braço e do tronco para informar o aluno quando estava a segurar o violino incorretamente ou quando a trajetória do arco se tinha desviado do caminho desejado. Um teste com utilizadores músicos principiantes mostrou que estes eram capazes de reagir ao *feedback* vibrotátil e ajustar o seu arco ou a sua postura em resposta. (Sharp et al., 2019, p. 252)

As interfaces hápticas têm como objetivo comunicar através do tato, ou seja, o cerne do sucesso desta interface é a estimulação do sentido tátil, que se veio a mostrar que não necessita de ser apenas através do contacto físico com objetos. Outra forma de *feedback*, chamado ultraháptica funciona através da emissão de ondas ultrasonoras para criar formas tridimensionais que podem ser sentidas, mas não vistas pelo utilizador, criando a ilusão de toque em pleno ar (figura 21)<sup>22</sup>. Um propósito associado ao estudo da háptica em roupas é a sua incorporação em exoesqueletos que, para além de outras aplicações, pode vir a ser útil para pessoas com dificuldades motoras. As interfaces hápticas e todo o estudo em torno da área é recente e de, certo modo, subexplorado, o que pode significar que ainda há muitas potencialidades desta tecnologia por descobrir.



**Figura 21** Dispositivo háptico ultrassónico. Fonte: Youtube.

<sup>22</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=kaoO5cY1aHk>

**Interfaces multimodais** (*Multimodal interfaces*): As interfaces multimodais são interfaces que usufruem de diferentes sentidos e capacidades humanas, como a fala, a háptica, a visão e o som, apresentando a informação de diferentes formas, enriquecendo a experiência da pessoa. Esta interface, como o próprio nome indica, apresenta-se de vários modos, incluindo fala e gesto, olhar e gesto, háptica e output por áudio, input por caneta e fala. À semelhança da interface háptica, as multimodais, pretendem assemelhar as interações homem-computador, às interações com que o ser humano se depara no dia a dia. A combinação mais frequente nestas interfaces é a voz e a visão, mas também podem conter várias entradas, devido a múltiplos sensores, que detetam expressões faciais e as descodificam em informação sobre a atenção e o comportamento de um determinado utilizador. Com base nessa informação, pode-se personalizar um tipo de interação, dependendo das suas necessidades, desejos e interesses.

Por exemplo, o Kinect foi desenvolvido como um sistema de entrada de dados de jogos com gestos e movimentos corporais para a Xbox. [...] O Kinect procurava o corpo de alguém. Ao encontrá-lo, fixou-se nele e mediu a posição tridimensional das principais articulações do corpo. Esta informação foi convertida num avatar gráfico do utilizador que podia ser programado para se mover tal como ele. (Sharp et al., 2019, pp. 234-235)

O exemplo usado pode ser visualizado na imagem 18.

**Interfaces partilháveis** (*Shareable interfaces*): As interfaces partilháveis, em contraste com as outras, pressupõem um uso coletivo e não individual. As *smartboards* e as mesas interativas, são exemplos de dispositivos que podem conter interfaces partilháveis. A mesa interativa *DiamondTouch* (figura 22)<sup>23</sup> distingue-se pela sua capacidade de suportar e distinguir vários utilizadores que a usam em simultâneo, devido ao facto de existirem várias antenas que transmitem, cada uma, um sinal único, possibilitando a utilização simultânea de várias pessoas, de forma tátil. A capacidade da utilização em simultâneo caracteriza esta interface, por proporcionar o trabalho em grupo. As interfaces partilháveis, não são apenas úteis e encontradas em contexto de trabalho de grupo, também é possível interagir com elas em ambientes museológicos. Apesar dos dispositivos como computadores, não conterem, por base, uma interface partilhável, já existem *softwares* desenvolvidas com essas características, como o *Docs*, o *Sheets* e o *Slides* da *Google* que, por serem *online*,

---

<sup>23</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/DiamondTouch>

permitem que várias utilizadores possam trabalhar no mesmo documento, em simultâneo, sem depender da sua localização geográfica, com a atualização imediata das edições, para todos os utilizadores.



**Figura 22** *DiamondTouch* capacita o trabalho em grupo devido ao facto de ser uma interface partilhável. Fonte: Wikipedia.

**Interfaces tangíveis** (*Tangible interfaces*): As interfaces tangíveis, também conhecidas por *TUI* (*tangible user interface*), como o próprio nome indica, funcionam com base em interação com objetos físicos ligados a sensores que, assim que acionados, transmitem essa informação por um sistema informático e reagem na interface digital, seja através de um som, animação, vibração ou outro tipo de reação. Cada objeto físico está associado a uma representação digital, logo cada objeto gerará uma ação diferente no meio digital. Ou seja, pode-se afirmar que uma interface tangível pressupõe a existência de um elemento físico com a qual ocorrerá a interação, e um meio digital, que reagirá à interação com esse elemento físico. Ao usar uma mesa interativa e dispor um objeto físico, seja um disco, um bloco ou um pedaço de barro, por exemplo, a interação digital da mesa irá reagir à disposição desses objetos físicos. Uma das primeiras interfaces tangíveis, chamada *Urp* (Ishii, 1999), foi projetada para planificar uma urbanização, ou seja, pequenos elementos eram elaborados e dispostos em cima de uma mesa interativa, gerando no sistema digital sombras e variações do fluxo do vento, mediante a disposição dos pequenos modelos dos edifícios que irão constituir a urbanização. Também poderia ser útil para a própria reorganização da urbanização, ao gerar outros elementos urbanos digitalmente, de modo a perspectivar-se e adaptar já a pensar em possíveis adições futuras à urbanização. Uma das tecnologias tangíveis mais usadas e disseminadas na sociedade é o RFID (*Radio Frequency Identificatio*). “Muitos sistemas tangíveis foram construídos com o objetivo de

encorajar a aprendizagem, as actividades de design, a diversão e a colaboração.” (Sharp, et al., 2019, p. 238). Uma característica que distingue esta interface das demais, é o meio usado para o seu manuseamento que, em vez de ser feito através de um rato e teclado, é feito através de vários e diferentes objetos, que também diferem de interface tangível, para interface tangível. Assim como noutras interfaces, há a criação de uma interligação entre elementos físicos e elementos digitais que se complementam e expandem a experiência do utilizador. Também no âmbito da educação, foram desenvolvidos kits tangíveis de ferramentas de incentivo às crianças, à aprendizagem de programação, eletrónica e outras disciplinas *STEM* (*Science, Technology, Engineering and Math*), que oferecem componentes eletrónicas físicas (*LittleBits, MicroBits e MagicCubes*) e sensores, para que resultem em eventos e respostas digitais, às ações praticadas pelas crianças. Outro exemplo, de interfaces tangíveis usadas no contexto educativo, são pequenas placas chamada *Makey Makey* (figura 23)<sup>24</sup>, que podem ser ligadas a botões (feitos manualmente, por exemplo) condutores de corrente e, com auxílio da programação ao acionar cada botão ligado a essas placas, resultará numa ação num ambiente digital, seja um jogo, um programa ou outro tipo de sistema virtual.



**Figura 23** *Makey Makey* é um exemplo de uma interface tangível. Fonte: Kitronik.

**Realidade aumentada** (*Augmented reality - AR*): Esta interface consiste no acrescento de elementos digitais, estrategicamente dispostos no ambiente físico, que só podem ser visualizados através de um dispositivo eletrónico capaz de processar essa tecnologia e cada vez mais usados em contextos como navegação, entretenimento e educação (Klotz, 2024). Os *smartphones* mais recentes já contém essa característica inserida. Apesar de não ser um termo frequentemente usado no quotidiano, é uma tecnologia bastante difundida, desde as redes sociais, que possibilitam o acrescento de filtros e componentes puramente digitais, em fotografias (*selfies*), até casos mais específicos e especulativos, como é o caso

---

<sup>24</sup> <https://kitronik.co.uk/blogs/resources/makey-makey-compilation>

do *Hyper-Reality*, de Keiichi Matsuda, um projeto conceptual, com o objetivo de provocar e dar uma possível visão do futuro, onde as realidades físicas e virtuais se fundem e todo o ambiente real é sobreposto por inúmeras camadas de informação e ruído virtual. A grande expansão desta tecnologia aconteceu com o surgimento do jogo *Pokemon Go* (figura 24)<sup>25</sup>, em 2016, que captou a atenção de milhões de pessoas e proporcionou que amantes da série se pudessem visualizar as diversas criaturas fictícias em jardins, parques ou nas suas casas, ativando a opção RA (Realidade Aumentada).

No início, a realidade aumentada era sobretudo objeto de experiências no âmbito da medicina, em que objectos virtuais, por exemplo, raios X e exames, eram sobrepostos a partes do corpo de um doente para ajudar o médico a compreender o que estava a ser examinado ou operado. (Sharp et al., 2019, p. 241)



**Figura 24** *Pokemon Go* e *Skyview* em Realidade Aumentada. Fonte: Pokémon go hub e Google play.

**Interfaces vestíveis** (*Wearable interfaces*): Este grupo de interfaces, abrange dispositivos passíveis de serem vestidos pelo utilizador, ou seja, usados no corpo. Podem variar entre luvas, focando apenas na interação das mãos do utilizador, coletes, usados no torço, *smartwatches* (provavelmente o dispositivo deste grupo mais disseminado), *smart glasses* (*Google glass*), entre outros (figura 25)<sup>26</sup>. É uma tecnologia recente e emergente, com várias experiências em objetos do quotidiano, como jóias, anéis (como o *smart ring* da *Samsung*), chapéus, óculos, sapatos e casacos, para que haja maior possibilidade de utilização, por parte das pessoas. Algumas destas interfaces vestíveis, também são

<sup>25</sup> <https://pokemongohub.net/post/article/niantic-is-too-focused-on-ar-and-it-is-hurting-pokemon-go/>  
[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.t11.skyviewfree&hl=pt\\_BR](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.t11.skyviewfree&hl=pt_BR)

<sup>26</sup> <https://www.icoverlover.com.au/recent-news/how-to-properly-wear-apple-watch/>  
<https://www.youtube.com/watch?v=4EvNxWhskf8>  
<https://www.maxongroup.com/pt-pt/informacoes-tecnicas-e-apoio/blogue/exoesqueleto-médico-para-reabilitação-36684>

inseridas noutros grupos de interfaces, como no caso dos *Springlets*, projetados por um grupo de cientistas da universidade *RWTH Aachen*, que emite sensações hápticas como alongar, pressionar, puxar, arrastar e expandir. (Hamdan, et al., 2019). Componentes de vestuário, com características tecnológicas, são frequentemente associados a alguns filmes, como é o caso do filme *Back to the Future*, onde apresentam roupas que se ajustam ao tamanho da pessoa e têm a capacidade de se secarem instantaneamente. Outro exemplo mais recente é a nova versão do filme *Dune*, em que é demonstrado um exemplo de ciência ficcional de vestuário específico para uso em ambientes agrestes, que aproveita o suor dos seus utilizadores, filtra-o e transforma-o em água potável. A apresentação destes dois exemplos tem como propósito demonstrar algumas das potencialidades que estas interfaces (já existentes no presente) podem atingir no futuro. "As aplicações mais recentes centraram-se na forma de combinar têxteis, eletrónica e tecnologias hápticas para promover novas formas de comunicação." (Sharp et al., 2019, p. 245). A moda também se tem apoiado nas tecnologias de vestuário exoesqueleto, para uso em contextos de pessoas com incapacidades de locomoção, podendo ser, no futuro um excelente substituto às cadeiras de rodas, mitigando muitas das limitações desse meio, para além de proporcionar que as pessoas consigam andar como se não tivessem qualquer problema motor. Esta tecnologia já foi aplicada, com sucesso, no cenário da indústria da construção, multiplicando a força dos trabalhadores, devido às estruturas metálicas e mecanismo hidráulicos adquiridos com os exoesqueletos.



**Figura 25** Três dispositivos vestíveis: *Smartwatch*, *Google glasses* e exoesqueleto. Fonte: iCoverLover, Youtube e Maxon.

**Robôs e drones** (*Robots and drones*): Os robôs são muitas vezes vistos como um símbolo do futuro (muito devido aos filmes de ficção científica), mas a realidade é que eles são e estão presentes. A sua presença na indústria, na medicina e noutros cenários profissionais, tem vindo a ter maior importância na automação e na otimização das atividades onde são inseridos. Mesmo em outros cenários perigosos para a humanidade, como resgates em catástrofes, desativação de bombas ou manutenção de centrais nucleares, assim como na

investigação espacial, de longas distâncias (como a ida a Marte). No entanto o controle advém sempre de um ser humano, que o controla remotamente ou o programa para exercer uma tarefa específica. Num contexto mais cotidiano, a sua presença, apesar de subtil, já se começa a notar, nas tarefas domésticas como o caso da limpeza doméstica ou da elaboração de refeições. No Japão tem havido um enquadramento de robôs em vários contextos sociais, como no caso de robôs de estimação em substituição dos animais. Por essa razão, diversos criadores, têm adotado abordagens “fofinhas” na construção da interface desses robôs, por serem características apelativas e bem aceites pelo ser humano. “A Mitsubishi desenvolveu o *pinquim Mel*, cuja função era acolher eventos, enquanto que o inventor japonês Takanori Shibata desenvolveu o *Paro* em 2004 (figura 26)<sup>27</sup>, um bebé foca que parece um animal de desenho animado fofo e peludo e cuja função era ser um companheiro.” (Sharp et al., 2019, p. 247). Os seus comportamentos correspondem aos comportamentos humanos, devido aos sensores incorporados, reagindo em conformidade, o que facilita a comunicação e tornando-a mais intuitiva e natural.



**Figura 26** Robô *Paro* de Takanori Shibata. Fonte: Geospatial world.

**Interfaces naturais:** Agrupam todo o tipo de interfaces que forneçam uma experiência e interação intuitiva e natural. Neste grupo entram todo o tipo de interfaces que necessitem de algum dos cinco sentidos inerentes ao ser humano, assim como métodos e interações usados no mundo físico, como os gestos, reconhecimento facial, que está relacionado com as emoções, e mesmo interfaces cerebrais.

---

<sup>27</sup> <https://geospatialworld.net/blogs/robotic-seal-astronauts-tackle-stress/>

Após apresentar as várias interfaces existentes, com ênfase nas interfaces hápticas que estão ser tratadas neste documento, é necessário ter em conta que as interfaces, tanto podem trabalhar singularmente, como em conjunto. A combinação de elementos de diferentes tipos de interfaces é apresentada como interface híbrida. Este tipo de interface é muito mais complexa, por conter várias tecnologias de diferentes tipos de interfaces, mas também se apresenta mais completas, versátil e proporciona uma experiência mais intuitiva, imersiva e eficiente aos utilizadores, dependendo dos contextos de utilização. No caso do entretenimento, a inserção de diferentes tipos de interfaces que estimulem os vários sentidos do utilizador, como a visão e audição (que são os mais comuns), mas também o tato e, por vezes, o olfato, proporciona experiências mais completas e com níveis de imersão únicos, como no caso da realidade virtual, onde pode ser percebido todo um ambiente virtual, mas que cada vez mais é capaz de proporcionar uma experiência mais próxima de uma experiência na realidade. Por outro lado, uma interface híbrida também se apresenta mais versátil às diferentes características de cada utilizador: no caso dos invisuais, uma interface que contenha uma GUI, mas também proporcione ao utilizador usar a voz, a audição e o tato para interagir com ela, torna-se adaptável às características de uma pessoa com incapacidade visual, tornando-se mais abrangente ao nível do público alvo, mas também mais inclusiva. De um modo geral, as interfaces híbridas continuem para uma utilização mais natural, como é o caso dos assistentes de voz, que permitem a pessoas interagirem através da voz com esses dispositivos, sem pôr em causa a execução de outras tarefas do seu dia a dia.

Estas interfaces apresentam-se de tal modo vantajosas, que os principais dispositivos que usamos diariamente, como o telemóvel, computador, *smartwatch* e até mesmo a interface dos carros mais recentes, contêm todas as características de vários tipos de interfaces diferentes, ou seja, assumem-se como uma interface híbrida, permitindo uma interação tátil, visual e auditiva/por voz. Também noutros contextos mais específicos, este tipo de interfaces podem ser encontradas, como é o caso do ambiente médico, onde são usadas interfaces táteis e visuais, para uso em simuladores, por exemplo.

Mais recentemente, com o surgimento e expansão da Inteligência Artificial, torna-se conveniente que os dispositivos que usamos estejam preparados para fornecerem interações e informação de diferentes formas, devido ao facto da IA poder gerar informação de seis diferentes modos: por texto, por áudio, por imagem, por vídeo, por modelos 3D e por código (Rusakov, 2024).

## Capítulo 2. A interface háptica

A háptica é indispensável na interação humana, no mundo real, quer ocorram com objetos do dia a dia, quer ocorram com outros seres humanos ou outros elementos pertencentes à natureza. Todavia, com o surgimento e expansão do mundo digital, o sentido do tato foi perdendo a sua relevância neste novo ambiente, enquanto que os sentidos da visão e da audição foram tidos em conta nesse desenvolvimento. É precisamente a ausência de háptica nas interações homem-máquina, um dos fatores mais preponderantes e diferenciadores entre as interações físicas e as interações digitais (Iwaka, 2008).

Ao contrário de outros tipos de interfaces, as interfaces hápticas, ainda são uma tecnologia recente (Iwaka, 2008). Este problema tem sido identificado desde os anos 60 do século passado, mas só começaram a surgir estudos empíricos, neste âmbito, anos mais tarde. Apesar de ser uma área recente de investigação, já são apresentados diversos modelos e cada vez mais completos, ainda que com diversas limitações e pouca disseminação, restringindo a comercialização e o acesso a esses dispositivos. Por outro lado, é uma tecnologia que tem sido adicionada a inúmeros dispositivos, desde os comandos de aviação, a sistemas de simulação, comandos de consola (com efeitos de imersão), telemóveis, sistemas de realidade virtual, e até mesmo em contexto médicos, como em teleoperações, que auxiliam operações remotas de maior precisão e também em telemóveis e outros dispositivos de uso quotidiano. Deste modo, é indispensável compreender em que consiste a háptica, qual a sua origem, como funciona e como pode beneficiar as várias interfaces existentes.

### 2.1. O sentido do tato

Nas interações físicas, sejam entre seres vivos, sejam com objetos, os vários sentidos são acionados e usados, destacando-se a visão, a audição e o tato. Em contraste, quando nos debruçamos sobre o meio digital, o paradigma altera-se significativamente, pelo facto de acionar maioritariamente os sentidos da visão e da audição. O sentido do tato não exerce o seu papel, sendo que é o sentido que se apresenta no maior órgão do ser humano, a pele. Todos os tipos de sensações sentidas, como a temperatura, toque, pressão, forças, ou seja, noções do espaço envolvente, são percecionadas pelo tato.

A pele é o maior órgão do ser humano, sendo através deste que a informação tátil é transmitida e recebida. A maior ou menor sensibilidade de cada parte corporal, deve-se à quantidade de nervos, por uma mesma área. Em zonas como os lábios e dedos, temos maior sensibilidade, comparativamente a zonas como as costas, em que temos menor sensibilidade (BrainFacts, 2020). No caso da ponta dos nossos dedos, estes são capazes de coletar informação sobre as superfícies que tocamos, com um altíssimo nível de detalhe (Lupton & Lipps, 2018, p. 38).

No livro *The senses: design beyond vision*, Ellen Lupton e Andrea Lipps (2018) efetuam uma exploração isolada e específica para cada sentido. O sentido do tato, segundo as autoras, é visto como o primeiro sentido e a primeira linguagem do ser humano. O tato pode ser considerado como o primeiro modo de comunicação do ser humano, com o ambiente ao seu redor, pelo facto de comunicar emoções, como amor ou confiança, assim como ações diárias, como quando devemos empurrar ou inclinar algo. “O tato é a nossa interface silenciosa com o mundo material.” (Lupton & Lipps, 2018, p. 22). É pertinente ter em consideração que na citação anterior, Lupton e Lipps limitam-se ao mundo material, aquando do uso do tato como uma interface inerente ao ser humano. Assim, é salientada a brecha que a háptica podia preencher, no mundo digital, aproveitando esta interface natural intrínseca ao ser humano.

A interação também é enriquecida pelo tato, já que é um sentido que proporciona uma maior conexão entre os participantes, seja uma interação entre pessoas, ou entre pessoas e objetos. Ao analisarmos interações entre pessoas, quando existe algum toque, por norma, significa um nível de relação mais íntimo, o que pode pressupor uma maior abertura e ligação entre as pessoas (Lupton & Lipps, 2018). Em contraste, é natural na ação humana, manter alguma distância e uma postura mais rígida, quando não conhecem o outro lado.

Iwata (2008) afirma que, comparativamente aos sentidos da visão e da audição, o tato é difícil de sintetizar, pelos aspetos com os quais se relaciona, como a força, a temperatura, entre outros, e pelo facto da sensação tátil ocorrer em qualquer parte do corpo humano, em oposição à visão e à audição, que atuam em órgãos especializados.

Katherine J. Kuchenbecker é diretora do departamento de inteligência háptica no instituto para sistemas de inteligência de Max Planck, em Stuttgart, Alemanha. No seu vastíssimo currículo, destaca-se a sua investigação centrada na háptica. Segundo a investigadora, o sentido do tato é constituído por duas componentes que garantem a sua potencialidade: a

sensação tátil, que remete àquilo que sentimos na nossa pele, e a cinestesia, também conhecido como propriocepção, permite-nos ter noção da posição do nosso corpo, como este se move e as forças aplicadas em si. A cinestesia é composta por recetores mecânicos, por músculos e por três tipos de recetores de posição articular: a terminação nervosa livre, o corpúsculo de Ruffini e o corpúsculo de Pacini (Iwata, 2008), sendo através destes recetores que alcançamos a noção da posição do nosso corpo, a sua orientação e as forças com as quais nos deparamos (Kuchenbecker, 2012). A capacidade de tocarmos em cada parte do corpo que desejamos com tamanha precisão, mesmo quando não conseguimos visualizar, deve-se à propriocepção (cinestesia).

No caso de pessoas surdas-cegas, o único modo de perceberem o mundo e de comunicar, é através do tato, e é nestas situações, que se compreende a importância de todos os fatores que compõem o sentido do tato: localização, cinética, pressão, força, temperatura. Algumas dessas pessoas, adotam a gramática de toque, que pressupõe o uso de todos esses fatores, assim como a forma da mão, que serve de interface de comunicação. “Por exemplo, a pressão de um gesto pode ser firme ou leve, enquanto movimentam a mão em círculos ou tocam” (Lupton & Lipps, 2018, p. 39).

Os recetores de toque, transmitem essa informação através de nervos sensoriais, até chegarem aos neurónios da espinal medula, daí a informação segue pelo tálamo, até chegar ao córtex somatossensorial - que interpreta todas as sensações - onde a informação é traduzida numa percepção tátil e reenviada para o corpo, resultando numa reação física (Blumenrath, 2020). Esses recetores encontram-se nos músculos e na pele e transmitem informação detalhada ao cérebro sobre a sensação sentida, seja por meio de pressão, calor, movimento, dor ou resistência. Assim sendo, justifica-se a sensação tátil não só na pele, mas também nos músculos, quando agarramos algum objeto ou temos qualquer outro tipo de interação de contacto. Pegando no exemplo da pressão, esta não é percebida pela pele, mas sim pela compressão dos músculos usados na área de contacto. Do mesmo modo, o peso de um objeto é percebido, devido à contração muscular necessária para suportar esse mesmo objeto.

À semelhança dos animais que contêm chifres ou antenas que servem de sensores, o ser humano, também conta com inúmeros sensores, não só na pele, mas também em cada cabelo e pelo corporal. Em acrescento, “o Homem também usufrui de utensílios fornecidos pela natureza ou designados por ele, com a intenção de estenderem o alcance sensorial dos seus membros” (Lupton & Lipps, 2018, p. 40), como no caso da bengala usada pelas pessoas invisuais.

Ao clicar num botão, existe um envolvimento de pressão e força, para que este seja pressionado e, conseqüentemente, espoleta a ação esperada. Em contraste, na interação digital, o mais comum é haver uma sustentação com efeitos visuais, como sombras, transparência, para emitir uma resposta à ação do utilizador. Josh Clark admite que a interação atual é efetuada diretamente com a informação, dando-nos a capacidade de moldá-la à nossa conveniência e com base no meio usado na sua obtenção, chegando ao ponto de mimetizarmos para o digital, gestos usados nas interações físicas. Todavia, todas essas interações são dependentes da saúde dos utilizadores, a nível auditivo e visual, desprezando a nossa “primeira linguagem”, o tato (Lupton & Lipps, 2018). Tal desprezo, adicionado à substituição de controlos tangíveis, por controlos táteis, resulta em produtos inúteis, em casos de pessoas com cegueira ou baixa acuidade visual (Lupton & Lipps, 2018, p.41).

## 2.2. Breve história da háptica

### 2.2.1. O que é?

Como indicado, uma das maiores distinções entre as interações físicas e digitais, é a háptica, que pode ser definida como a “ciência que estuda o toque (sobretudo enquanto meio de comunicação não verbal) [...] Do latim tardio *haptice*, <<ciência do toque>>, partir do grego *haptikós*, <<toque>>” (Infopédia, 2023).

Segundo o *Oxford Dictionary & Lexico*, háptica, quando usado como adjetivo, pode ser relacionado ao sentido do toque; por outro lado, em contextos ligados à tecnologia digital, pode ser relacionado à sensação tátil e ao sentido do tato, como meio de interação com computadores e dispositivos eletrónicos (Oxford Learner’s Dictionaries, 2023).

James J. Gibson é um psicólogo americano, dedicado ao estudo da háptica como um sistema inerente ao corpo humano na perceção do mundo. “A sensibilidade de um indivíduo ao mundo adjacente ao seu corpo através do uso do seu corpo será aqui designado por sistema háptico.” (Gibson, 1966, p. 97). Considerando também o mundo dos objetos, é o sistema háptico que nos permite percecionar a *affordance* dos objetos, através do contacto físico direto com eles, resultando numa compreensão de como os usar. Gibson ainda argumenta que a *affordance* é percecionada sem grande esforço cognitivo, mas sim através de uma experimentação mais empírica. No caso dos bebés, eles aprendem a distinguir o que é comestível, o que os magoa, o que é capaz de ser colocado

dentro de outro objeto, entre outras aprendizagens, através do contacto direto com os objetos que os rodeia, enfatizando a natureza intuitiva da sensação tátil na perceção do ambiente que nos envolve. (Gibson, 1966, p. 285).

O exemplo mais recorrente na sociedade é a háptica aplicada no telemóvel. Quando se pressiona durante uns segundos numa aplicação, o motor háptico existente no interior do telemóvel, responde com um pequeno empurrão, sentido no dedo do utilizador, comunicando-lhe através do tato, que pode modificar o estado da aplicação pressionada. Nos *iPhones* (figura 27)<sup>28</sup> que ainda possuem botão central, com tecnologia biométrica de impressão digital, no momento do desbloqueio do telemóvel, é da responsabilidade da háptica, dar resposta positiva ou negativa, à ação de desbloqueio, daí a sensação tátil ser diferente, mediante a resposta. É por este facto que a tecnologia em questão não é designada de vibração. A complexidade e a variação dos padrões e da intensidade da vibração é o que distinguem a háptica e a vibração. Enquanto que a vibração se limita à emissão de um único tipo de onda, com intensidade constante, a háptica tem o propósito de comunicar algum tipo de informação e, para tal, tem a capacidade de emitir diferentes frequências de ondas, com diferentes intensidades, para transmitir essa informação ao utilizador (D-Box, 2023).



**Figura 27** Primeiro iPhone (iPhone 6s) com botão háptico. Fonte: Hardware Zone.

Segundo o departamento de inteligência háptica, da *Max Planck Institute for Intelligent Systems (MPI-IS)* (s.d.) “as interfaces hápticas são sistemas mecatrónicos que modelam a interação física entre o ser humano e o seu ambiente tangível, de modo a que o ser humano possa agir e sentir um ambiente virtual e/ou remoto” (para. 1). Ao ter uma definição

<sup>28</sup> <https://www.hardwarezone.com.sg/feature-ultimate-guide-your-new-apple-iphone-6s-and-6s-plus>

para interfaces hápticas pode-se idealizar as possibilidades e contextos onde estas podem intervir e fazer a diferença. No início da década de 1990, observou-se um aumento exponencial nos estudos no âmbito da háptica, havendo uma segmentação destas interfaces em três categorias: as interfaces hápticas cinestésicas ancoradas, as interfaces hápticas não ancoradas (*ungrounded haptic interfaces*) e as interfaces hápticas de superfície (Spiers et al.,s.d.). A segunda e a terceira são as mais recentes, com investimento na invenção, refinamento e avaliação de novos dispositivos, através do desenvolvimento de novos *hardwares*, seleção de atuadores e melhores sensores, calibração com maior precisão, otimização de controlos e investimento em aplicações, sempre acompanhado de testes com utilizadores.

A mecânica, a eletrónica e a computação destes dispositivos trabalham em simultâneo, em prol de monitorizarem e modificarem a interação física entre o utilizador e o seu ambiente tangível. De um modo geral o seu funcionamento e o seu propósito são semelhantes, apesar de diferirem em aspetos fundamentais. Para tal, é relevante compreender como cada uma delas funciona, não só para entender a sua categorização, como também para identificar o porquê de serem considerados pelo *MPI-IS*, os três arquétipos das interfaces hápticas.

As interfaces hápticas cinestésicas ancoradas, como o próprio nome indica, são interfaces estáticas, por norma, fixas ao chão. Estas podem emitir um *feedback* tátil, através do uso de ondas vibracionais de diferentes intensidades, que podem variar com base na textura, no impacto ou nouro tipo de interação. Podem também emitir um *feedback* por forças, que atuem diretamente no corpo da pessoa que, por exemplo, no caso de pegar um objeto pode simular essa interação de forma bastante precisa, seja por meio de simulação da textura, da forma ou mesmo da massa do objeto. Outra forma é pela emissão de um *feedback* de posição, com o uso de sensores de deteção do corpo do utilizador que, com atuadores, respondem com uma sensação, com base no seu posicionamento.

As interfaces hápticas cinestésicas ancoradas permitem que o utilizador percecione o que está a sentir ou a segurar num objeto virtual, aplicando forças diretamente no corpo da pessoa. Por estarem assentes ou presas ao chão, em circunstâncias como a navegação em realidade virtual, há a impossibilidade do utilizador se movimentar fisicamente. No entanto, para segurança dos próprios utilizadores, aquando do uso da realidade virtual, há uma limitação do espaço onde a pessoa se pode mover, por isso, neste tipo de contextos, o uso destes dispositivos hápticos pode ser vantajoso, devido à quantidade de força e

torque que conseguem atingir e, por conseguinte, o nível de imersão que conseguem proporcionar (Nisar et al., 2019).

Para superar esta limitação pode ser usada uma interface háptica portátil, que no entanto, permaneça presa, neste caso, às costas do utilizador, permanecendo um dispositivo háptico cinestésico, mas portátil. Com base no exemplo de Calvo, em contexto de realidade virtual, “o dispositivo háptico consiste num braço robótico que é montado nas costas de um utilizador [...] ligado a um controlador *HTC Vive*, permitindo a utilização com realidade virtual” (2017, p. 3).

É nestes moldes que surgem as interfaces hápticas não ancoradas (*ungrounded haptic interfaces*) que, em contraste às anteriores, não pressupõem qualquer ligação a superfícies, em vez disso, fixam o dispositivo ao próprio utilizador, que pode ser vestível (como luvas) ou portátil, sem comprometer o movimento (figura 29). Por um lado, a liberdade de movimento pode aumentar a imersão, por outro lado, ao ser um dispositivo mais pequeno e portátil, não emitirá a mesma força e torque de um dispositivo cinestésico ancorado. As interfaces hápticas portáteis, por enquanto, apresentam apenas potência para emitir pequenas vibrações ou deformações na pele, o que pode ser viável em casos de contacto com zonas com muitas terminações nervosas (como é o caso da ponta dos dedos), mas pode não ser suficiente em zonas com menos terminações nervosas. Ou seja, o uso de luvas ou dedais pode ser viável e fornecer boa sensação háptica. Por vezes, mesmo em contacto com zonas com muitas terminações nervosas, como é no caso de cirurgias remotas, em que é crucial um nível de precisão elevado, as interfaces hápticas não ancoradas, ainda se demonstram pouco viáveis (Nisar et al. 2019).

Esta categoria de interfaces, normalmente, são encontradas em forma de fatos vibracionais, que contêm pequenos motores que, ao vibrarem, fornecem uma variedade de *feedbacks* táteis. No caso de se apresentarem como luvas táteis, são constituídas de atuadores que emitem pressão nas mãos do utilizador, de modo a simularem texturas e materiais. Também podem ser encontrados em forma de coletes que reagem através de força, com pequenas câmaras de ar que, ao insuflarem, criam pressão no torso da pessoa, simulando a resistência ou o peso dos objetos que rodeiam o utilizador. Uma das melhores características das interfaces hápticas não ancoradas é a garantia de uma usabilidade com liberdade de movimento e ergonomia, o que na categoria anterior (interfaces hápticas cinestésicas ancoradas) é mais complexo de fornecer.

Por fim, as interfaces hápticas de superfície, são provavelmente a categoria mais disseminadas pelos produtos do dia a dia, sejam telemóveis, computadores, *tablets* ou mesas interativas. Estas interfaces providenciam um *feedback* tátil diretamente com os dedos do utilizador, sempre que este interage com a superfície. À semelhança das categorias anteriores, estas interfaces também são usadas para simular sensações variadas, desde texturas de objetos, resistência de uma superfície, simulação de materiais ou apenas a presença de um objeto. Para criar um dispositivo com estas características podem ser usadas diferentes tecnologias, desde *feedback* vibrotátil, que consiste em pequenos atuadores que emitem diferentes tipos de ondas vibracionais. Outra opção que surgiu mais recentemente e tem vindo a ser desenvolvida, é o *air-jet feedback*, que consiste em tecnologia de emissão de jatos de ar contra a mão do utilizador e, controlando a emissão de ar, é capaz de criar a sensação de formas de objetos na mão da pessoa, como é ilustrado na figura 28<sup>29</sup>.



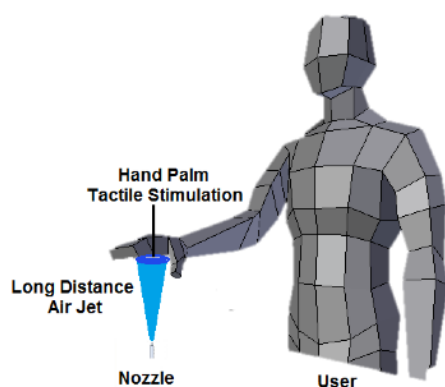
**Figura 28** Interfaces hápticas vestíveis: Luvas e colete háptico sem fios **Fonte** PC Componentes.

Outra forma de *feedback* háptico, à semelhança dos jatos de ar (figura 29)<sup>30</sup>, é através da projeção de força, mas neste caso por meio da emissão ondas ultrassónicas enviadas para a mão ou partes do corpo humano, que consegue simular as formas de objetos simples, como cubos ou cones. Segundo Castro e Lee, fundadores da *Emerge* e criadores do

<sup>29</sup> [https://www.pccomponentes.pt/acessorios-gaming/bhaptics?srsId=AfmBOoaluO2nekOxingUGfM4291h6YcGhnm\\_kDIBd2CtYeQmh05vj2m](https://www.pccomponentes.pt/acessorios-gaming/bhaptics?srsId=AfmBOoaluO2nekOxingUGfM4291h6YcGhnm_kDIBd2CtYeQmh05vj2m)

<sup>30</sup> [https://www.researchgate.net/figure/Long-distance-10-cm-air-jet-tactile-stimulation\\_fig1\\_261234748](https://www.researchgate.net/figure/Long-distance-10-cm-air-jet-tactile-stimulation_fig1_261234748)

dispositivo *Emerge -wave 1*, o princípio que os levou a desenvolver este dispositivo assemelha-se à sensação que se tem num concerto com a batida da música, no entanto, com melhor resolução, com altifalantes ultrassónicos e concebido para emitir essa sensação tátil, através da navegação das ondas sonoras pelo ar. Apesar de ser uma tecnologia promissora, ainda tem um grande percurso à sua frente, em aspetos como a potência e precisão, que varia com o diâmetro dos orifícios que emitem os ultrassons. Para além disso, a intenção é torná-la portátil, recarregável e, ainda, no futuro, considera-se a implementação desta tecnologia em dispositivos do dia a dia, como *smartphones*, computadores, sistemas de realidade virtual e automóveis, onde já se fazem testes de usabilidade.



**Figura 29** Interface háptica com jato de ar. **Fonte** Research Gate.

Por fim, as interfaces hápticas de superfície também podem emitir *feedbacks* por força, com atuadores que aplicam uma pequena força no dedo do utilizador, quando este interage com a superfície da interface, podendo, por exemplo, simular a interação de um botão a ser pressionado. Este tipo de *feedback* por força já pode ser encontrado em *smartphones*, em portáteis e em *tablets*. Por exemplo, os iPhones 8 e SE de 2ª e 3ª geração, que ainda contêm o botão central, usam esta interface háptica, que simula de forma bastante precisa, o clicar de um botão. Na realidade, trata-se de uma superfície de vidro, inscrita numa circunferência com rebordo que delimita a zona onde o utilizador deve pressionar o vidro, ativando uma resposta vibrotátil, através de um pequeno *hardware* chamado *taptic engine (tactile + haptics)*.

As interfaces hápticas de superfície podem ser encontradas noutros contextos, como jogos e realidade virtual, formação médica, em que há a prática de cirurgias em pacientes virtuais, e ainda em tecnologia de assistência, para casos de pessoas com incapacidades

motoras (por exemplo, a criação de dispositivos táteis que simulam o relevo da linguagem *braille*).

Neste domínio existem inúmeros projetos a serem desenvolvidos por empresas e *startups*, assim como em centros de investigação universitários. O centro de investigação *Haptic Intelligence* da *Max Planck Institute for Intelligent Systems*, contém um grupo de investigadores dedicados exclusivamente ao estudo da háptica e de fatores que podem influenciar o conhecimento sobre essa tecnologia. A pertencer a esta equipa, podemos encontrar uma das autoras mais conhecidas no estudo da háptica, a Dr. Katherine J. Kuchenbecker, com um extenso e rico portfólio repleto de projetos, artigos científicos e palestras em eventos dedicados ao estudo do funcionamento da háptica no corpo humano e ao desenvolvimento de interfaces e tecnologias de simulação da sensação háptica. No instituto em questão, Kuchenbecker é diretora e, devido a tal, tem sempre um papel nas publicações e projetos efetuados no âmbito da tecnologia háptica.

### 2.2.2. Onde surgiu?

De acordo com Martin Grunwald, a década de 1990 ficou marcada pela háptica, devido ao facto das primeiras investigações que constituem a base das interfaces hápticas terem sido publicadas em 1990 (Grunwald, 2008). No entanto, o primeiro sistema de háptica, o *GROPE-1*, começou a ser desenvolvido em 1967, por Brooks. Inicialmente o sistema continha um pequeno visor de duas polegadas, mas com o desenvolvimento da versão *GROPE-III*, foi integrado um ecrã estereoscópico de grandes dimensões (Iwaka, 2008).

Todavia, antes do aparecimento do primeiro sistema háptico, é importante creditar o cientista computacional *Ivan Sutherland*, pela reflexão pioneira sobre interações hápticas simuladas. Em 1965, por meio do seu artigo "*The Ultimate Display*", sentiu as forças de objetos visionados em ecrãs, através de dispositivos mecânicos de *feedback*, comparando que, com o uso de sistemas de háptica, podíamos criar um mundo digital equiparável ao país das maravilhas. Deste modo, Sutherland afirma que

o ecrã definitivo seria, evidentemente, uma sala na qual o computador pudesse controlar a existência da matéria. Uma cadeira apresentada numa tal sala seria suficientemente boa para nos sentarmos nela. As algemas apresentadas numa sala dessas seriam confinantes e uma bala apresentada numa sala dessas seria fatal. Com uma programação adequada,

esse ecrã poderia ser literalmente o País das Maravilhas em que Alice entrou. (Sutherland, 1965, p. 1)

Após 58 anos, podemos comparar a descrição do ecrã ideal, de Sutherland, com a tecnologia de realidade virtual, onde a essência é um ecrã que nos permite entrar num “país das maravilhas” e, com o auxílio de equipamento complementar, como comandos e coletes, é possível submeter os utilizadores a sensações táteis simuladas, imergindo-os ainda mais nesse “país” virtual. No seguimento do pensamento teórico de Sutherland, surge Minsky, com um sistema háptico, denominado *Sanderpaper*, projetado para experimentar texturas táteis, capaz de criar texturas que poderiam ser viscosidades, molas, entre outros. Esta investigação impulsionou a teoria da renderização háptica (Iwaka, 2008).

Segundo o artigo “*haptic rendering: introductory concepts*”, os algoritmos da renderização háptica, com base nos objetos inseridos no ambiente virtual, aplicam as forças corretas para que seja possível sentirmos o peso dos objetos inseridos (Salisbury et al., 2004). “A renderização háptica permite que os utilizadores “sintam” objetos virtuais num ambiente simulado.” (Salisbury et al., 2004, p. 24).

### 2.2.3. Como funciona?

Ao compreender o que é a háptica e como se distingue de uma simples vibração, é pertinente perceber melhor como todo este mecanismo eletromecânico funciona. Com a interação da pessoa, ao pressionar o ecrã, a tecnologia da háptica cria um *feedback*, por meio da aplicação de força, vibração, cinética e até mesmo temperatura e, a partir destas quatro características, uma tecnologia háptica é capaz de simular inúmeras perceções táteis, desde pressão, texturas, cócegas, belisques, entre outros.

Estas forças podem ser criadas de diferentes formas: através de um motor de massa rotativa excêntrica (ERM), que é a mais simples e mais comum; através de motores ressonantes lineares (LRA), que são mais compactos e melhores opções para objetos mais pequenos, para além de capacitar o mecanismo com um leque maior de diferentes ondas. No entanto, estas duas formas são apenas com base em atuadores vibrotáteis, que são dispositivos eletromecânicos. Para além dessa opção também é possível emitir *feedbacks* táteis através de dispositivos eletrotáteis, que não possuem nenhuma componente mecânica e emitem sensações inteiramente através de impulsos elétricos, possibilitando um leque ainda maior de sensações, tais como texturas.

O que é comum entre todas as possibilidades, é a intenção por detrás desta tecnologia, que se baseia num *feedback* háptico causado por um dispositivo que aplica uma força, pressão ou resistência, através de atuadores, a fim de criar (ou simular) as sensações desejadas (D-Box, s.d.).

Segundo Ashtari (2022) sensação háptica pode funcionar de três modos distintos:

- **Com base no uso** estão incluídos os dispositivos agarráveis como joysticks e comandos (figura 30)<sup>31</sup> de consolas; os dispositivos táteis, tais como *smartphones* e *smartwatches*; os dispositivos passíveis de serem vestidos, tais como luvas e coletes (que são mais usados em ambientes de realidade virtual e em contextos de simulação). (Ashtari, 2022).



**Figura 30** Exemplo de *joysticks* a serem usados, com a capacidade de emitir háptica. Fonte: Medium.

- **Com base no *feedback***, onde a resposta por força foi dos primeiros tipos de *feedback* a aparecer, no final dos anos 60. Estes podem ser biomiméticos, como no caso dos exoesqueletos, ou não biomiméticos, que são externos ao corpo humano. No caso dos dispositivos vibrotáteis, a sua maior vantagem são a sua simplicidade e baixo custo e, devido às suas características, é frequentemente encontrado em produtos de consumo, tais como telemóveis, comandos de consolas, *smartwatches*, entre outros. Todavia, é limitado apenas à emissão de vibrações de diferentes frequências. Em contraste, os atuadores eletrotáteis não possuem nenhuma componente mecânica e aplicam impulsos elétricos que afetam os recetores e as terminações nervosas do ser humano, e são capazes de emitir diversas sensações, variando a frequência e a intensidade dos estímulos. As sensações táteis podem ocorrer com base na tensão, na corrente, na forma de onda, no material, na força de contacto, pelo tamanho do eletrodo, devido ao tipo de pele e à sua hidratação. Devido ao seu funcionamento puramente elétrico, é capaz de simular sensações

---

<sup>31</sup> <https://medium.com/@gameaccesory/should-i-play-with-motion-controls-720fddea4d94>

reais, como é o caso da simulação de texturas. Outro modo de emissão de sensações hápticas é através do ultrassom, uma tecnologia recente e ainda com um grande caminho pela frente, mas que apresenta ter um enorme potencial, pois permite que formas sejam sentidas no ar, por meio da emissão de ondas sonoras que, em contacto com a pele, conseguem desenhar formas tridimensionais, como é no caso da apresentação de Danielle George na conferência de Natal da *Royal Institution*, em 2014 (The Royal Institution, 2014). Por fim, o menos comum e mais complexo de desenvolver, devido aos níveis de energia necessários é um atuador térmico, que consiste em grades de atuadores à base de diodos termoelétricos em contacto com o corpo humano. Apesar do posicionamento desses atuadores não necessitar de ser muito preciso para provocar o estímulo desejado, a gestão da temperatura pode ser complexa, uma vez que as sensações de calor e frio dependem sempre das transferências de energia entre superfícies, segundo a lei da conservação de energia (Ashtari, 2022).

- **Com base no modo**, pode ser por meio de vibração, que é talvez o modo mais comum para uma interação háptica. Seja através da ERM (*Eccentric Rotating Mass*) ou da LRA (*Linear Resonant Actuators*), que são as duas tecnologias mais comuns e usadas nos produtos de uso diário. Também pode ocorrer de um modo cinestésico, onde são simuladas características que pressupõem ações cinestésicas, como movimento, massa e forma. Os botões são outro modo de emissão de *feedback* háptico, que são usados em ecrãs e outros aparelhos que carecem de botões mecânicos e que, como substituição, usam o som e a háptica para interagir com o utilizador, colocando-o num ambiente de interação familiar, através da mimetização tátil (Ashtari, 2022).

#### 2.2.4. Exemplos de interfaces hápticas

Existem inúmeros dispositivos de uso comum que já contêm tecnologia háptica, com a qual interagimos diariamente, muitas vezes sem darmos conta. No entanto, se retirarmos essa funcionalidade, rapidamente a experiência de utilização desses dispositivos vai decair. Os comandos de consola da *playstation*, contêm atuadores desde a primeira geração, são capazes de emitir vibrações de diferentes intensidades, mediante os acontecimentos num jogo, proporcionando altos níveis de imersão. Assim como nos comandos, os *smartphones* e computadores que usamos diariamente também já contêm

tecnologia háptica que nos permite interagir com uma interface tátil e sentir *feedbacks* táteis, quando tocamos no ecrã. Um dos exemplos mais conhecidos no mercado pelo desenvolvimento háptico, é a *Apple*, por ter sido uma das empresas pioneira a acrescentar a sensação tátil nos seus dispositivos, começando pelo *Macbook* e pela primeira versão do *Applewatch*, e prosseguindo um ano depois, com esse acrescento nos *iPhones*, com as tecnologias *taptic engine* e o *3D touch*. Desde então, todos estes produtos, incluindo o *Apple Pencil*, contêm esta tecnologia, pelo facto de considerarem que os *feedbacks* visual, auditivo e tátil em harmonia, proporcionam uma experiência do utilizador mais coerente e mais natural (Apple Developer, 2023).

Contudo as sensações táteis, atualmente, não existem apenas num contexto digital. Num contexto de condução automóvel, principalmente em ambiente urbano, ainda são usadas linhas de tinta perpendiculares à faixa de rodagem, que emitem um *feedback* háptico, quando nos aproximamos de um semáforo ou de uma passadeira, indicando ao condutor a necessidade de abrandar com antecedência. Mesmo as linhas sonoras existentes nas autoestradas, emitem som através da vibração, indicando ao condutor que está a sair da faixa de rodagem, através do som, mas também através de vibração. Estes são exemplos de panoramas onde nos deparamos com interações hápticas que facilmente passam despercebidas e, no entanto, são de extrema importância para a nossa segurança.

A possibilidade de se fazerem compras *online* que tem sido cada vez mais procurada a nível mundial, e o recente paradigma de pandemia que vivemos veio exponenciar essa procura e torná-la num hábito, criando uma nova oportunidade de investigação e mercado. Uma das autoras a enveredar por esse ramo é Cynthia Hipwell, que demonstra a abrangência e o potencial da háptica, com exemplos no campo da realidade virtual, na experiência do utilizador e, em particular, em compras online de roupa, possibilitando que o utilizador sinta a textura do material, antes de efetuar a compra, através de ecrãs táteis que permitam que as pessoas sintam objetos físicos, como por exemplo texturas de tecidos de roupas, enquanto fazem compras online (Universidade A&M do Texas, 2021). Cynthia Hipwell é professora no departamento de engenharia da universidade A&M do Texas e, neste momento, lidera uma equipa que tem vindo a tentar compreender a interação dos nossos dedos com diversos dispositivos. O objetivo é elevar a *human-machine interface* ao ponto de proporcionar aos utilizadores dispositivos táteis com a capacidade de simular a sensação do toque em objetos físicos (Universidade A&M do Texas, 2021).

Para a população com incapacidade visual, a háptica tem-se vindo a apresentar como uma solução viável, onde se insere a *Perkins School for the blind*, que partilhou um artigo escrito por Diane Brauner, uma consultora de acessibilidade educacional. Em colaboração com vários criadores e agências de aplicações educacionais, expande as potencialidades da compreensão da sensação tátil e da utilização das tecnologias hápticas, para a área educacional para estudantes invisuais. A empresa *Tanvas* é um exemplo que já começa a demonstrar evoluções e testes hápticos em ecrãs táteis, com adultos e crianças (Brauner, 2022). A *Tanvas* (figura 31)<sup>32</sup> é uma empresa que já criou um produto, que partilha o mesmo nome da marca, com ecrã tátil e tecnologia capaz de simular a textura de certos materiais, como relva, pele de rinoceronte, tijolos, madeira, entre outros. O seu protótipo ainda não foi lançado para o mercado, mas já foi exibido na *CES 2017 (Consumer Electronics Show)*, em Las Vegas e está a ser submetidos a testes com utilizadores de diferentes faixas etárias.



**Figura 31** *TanvasTouch* da marca *Tanvas*. Fonte: *Tanvas*.

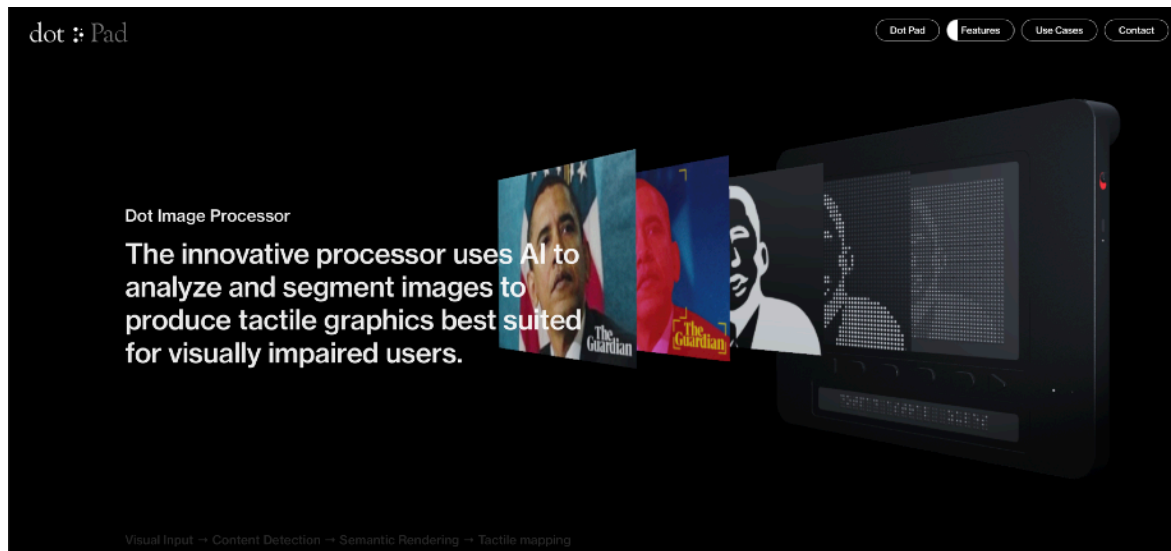
À semelhança da *Tanvas*, a *Dot Incorp*, fundada em 2015, é uma empresa que tem como missão providenciar acessibilidade a todos. Em 2022 ganhou o *Korea Universal Design Prize*, com o *Dot Kiosk*, um quiosque interativo que proporciona que pessoas com incapacidades consigam interagir com o dispositivo. Este tem a capacidade de se posicionar à altura do utilizador, esteja este de cadeira de rodas ou não. Para além disso, ainda proporciona *feedback* háptico, para o caso de utilizadores invisuais e, no entanto, não compromete o seu uso por pessoas sem quaisquer tipo de incapacidades, tornando-o realmente inclusivo. Na mesma direção, em 2023, lançaram o *Dot Pad* (figura 32)<sup>33</sup>, um

---

<sup>32</sup> <https://tanvas.co/>

<sup>33</sup> <https://pad.dotincorp.com>

tablet projetado para invisuais, capaz de desconstruir imagens complexas, com o auxílio de inteligência artificial, e apresentá-las graficamente e hapticamente, para que possam ser percebidas por pessoas invisuais.



**Figura 32** *DotPad*, o primeiro ecrã tátil para invisuais, capaz de reduzir uma imagem ao essencial para ser percebido. Fonte: DotPad.

Num âmbito de entretenimento, a *Tacticalhaptics* apresenta-se como uma empresa emergente na área da interação tátil que tem como objetivo quebrar as barreiras das interfaces humano-máquina através da criação do *Reactive Grip* (figura 33)<sup>34</sup>, um novo tipo de *feedback* tátil que contraria o convencional *feedback* vibracional. “O *feedback* tátil, *Reactive Grip*, cria uma interação física envolvente, num ambiente virtual, melhorando significativamente o realismo da interação, comparativamente ao simples *feedback* vibracional.” (Tacticalhaptics, s.d., para. 1)



**Figura 33** *Reactive Grip*, controlador de movimento capaz de emitir *feedback* háptico, através de força e movimento. Fonte: Tactical haptics.

### 2.2.5. Áreas de aplicação

São cada vez mais as áreas de aplicação de interfaces hápticas, desde pequenos dispositivos usados para entretenimento, como comandos de consolas e comandos de realidade virtual, passando por dispositivos de uso diário, como telemóveis e computadores, abrangendo também áreas com altos níveis de importância, como simulação de cirurgias, robótica, acessibilidade e inclusividade social e até mesmo condução e aviação.

Uma área com muito desenvolvimento é a realidade virtual e a realidade aumentada (VR e AR) e a área do entretenimento, com especial destaque nos jogos que usam comandos diferentes dos comuns, como conjuntos de volante, mudanças e pedais, armas ou interfaces vestíveis, como luvas e coletes. Também nos dispositivos móveis, como os *smartphones*, que são usados diariamente pela maioria da população e que exigem cada vez maiores níveis de interação com os utilizadores, ou seja, altos níveis de precisão no tipo e na intensidade das sensações hápticas que emitem, evitando que entrem em desuso e melhorando a experiência que os utilizadores têm com estes dispositivos, já que se apresenta como um mercado muito competitivo.

Para além das áreas referidas acima, existem outras áreas onde há uma emergência da tecnologia háptica, em simuladores, que tem uma abrangência desde as áreas de viação, até a treinos cirúrgicos, na área da medicina (figura 34)<sup>35</sup>. No primeiro caso, tem havido a aplicação de interfaces hápticas em diferentes zonas do carro, com o qual o condutor tem, inevitavelmente, contacto direto, criando-se um ambiente ideal para a implementação de interfaces hápticas. Ainda no caso da condução, a háptica tem demonstrado resultados promissores na segurança, no conforto e na navegação dos automóveis (Gaffary & Lécuyer, 2018). Por outro lado, no caso das simulações cirúrgicas, também têm sido bastante benéficos para uma prática detalhada e minuciosa, por parte de estudantes de medicina, sem pôr em risco a vida de pacientes (Jie & Yap, 2024). Ao criar um ambiente onde é possível detetar tatilmente todas zonas com a qual o médico tem contacto durante o ato cirúrgico, permite a disponibilização de uma mimetização do ambiente de um bloco operatório (Sharp et al., 2019, p. 230).

---

<sup>35</sup> [https://www.medica-tradefair.com/en/digital-health/Hip\\_replacement\\_virtual\\_surgical\\_training\\_with\\_haptic\\_technology](https://www.medica-tradefair.com/en/digital-health/Hip_replacement_virtual_surgical_training_with_haptic_technology)



**Figura 34** Interface háptica auxiliar a simuladores cirúrgico. Háptica no contexto hospitalar Fonte: Media Tradefair.

Uma das áreas onde as interfaces hápticas têm tido uma intervenção notória é na aviação, devido à sobrecarga de informação visual, principalmente por parte dos pilotos. Em casos normais pode não ser problemática, no entanto em casos de emergência, a sobrecarga visual pode comprometer a reação dos pilotos na resolução dos problemas, assim como no caso dos passageiros na tomada de medidas de segurança. Segundo Zikmund et al. (2024), o *AoA (Angle of Attack)* e o *AoS (Angle of Sideslip)* são comunicados através de uma interface háptica artificial, que permite ao piloto, através do manípulo, ter uma noção de uma posição zero e do movimento feito pelo avião. No caso dos pedais, quanto maior for o *AoS*, maior vai ser a frequência da vibração sentida nos pés do piloto. De um modo geral, com a implementação de *feedback* háptico no sistema de aviação nos pedais e no manípulo, o piloto consegue sentir a posição do avião no espaço.

Na indústria dos videojogos, a primeira implementação de *feedback* háptico feita foi na *Nintendo 64*, em 1997. Desde então, os comandos da maioria das consolas começaram a conter motores vibracionais embutidos, principalmente a partir de 2000, capacitando as consolas para emitir frequências vibracionais diferentes e criar mais imersividade no jogos. Atualmente o *feedback* háptico está mais aprimorado e realista, o que faz com que muitos jogos antigos e famosos no mundo dos videojogos mereçam uma atualização, onde fornecem uma fidelidade gráfica aprimorada, assim como a inclusão de respostas hápticas

na nova versão, imergindo ainda mais o jogador, através do fornecimento de informação multissensorial (Söderström et al., 2022). No caso dos jogos de *shooting*, estes têm cada vez mais vindo a ser auxiliados por interfaces vestíveis, como coletes ou luvas (Söderström et al., 2022), e ainda complementados com acessórios que não só detetam o movimento dos jogadores, como também emite reações hápticas, onde são exemplos os comandos da *Wii* e do *PlayStation Move* (que surgiu com o lançamento da *PlayStation 3* (Figura 35)<sup>36</sup>. No caso do segundo exemplo, o comando ainda podia ser anexado a uma arma feita em plástico, proporcionando um ambiente ainda mais próximo do ambiente do jogo. A mesma situação acontece com os jogos de corridas de carros, os jogadores têm a possibilidade de adquirir um *kit* de volante, mudanças, pedais e banco de modo a terem uma experiência simuladas de corrida, onde sentem vibrações no volante (com mais ou menos intensidade) caso roçassem ou batessem em algum obstáculo.



**Figura 35** Comandos de *Wii* e *Playstation Move*. Fonte: iFixit.

A realidade virtual e a realidade aumentada, tornaram o ambiente virtual e o ambiente real mais similar. O lançamento dos *Vision Pro* da *Apple* (figura 36)<sup>37</sup>, veio confundir a comunidade, levantando questões sobre se o que realmente o utilizador vê é a realidade aumentada com os elementos digitais ou se era uma representação da realidade com o acrescento dos elementos virtuais, à qual a marca respondeu que o que era visualizado era uma representação da realidade, à qual deram o nome de *Spatial Computing*. No fundo significa uma representação da realidade, a partir de câmaras que captam o ambiente no qual o utilizador se insere, e acrescenta todo o ambiente virtual processado pelos óculos, ou seja, pode ser considerado Realidade Virtual.

---

<sup>36</sup> <https://pt.ifixit.com/Teardown/PlayStation+Move+Teardown/3594>

<sup>37</sup> <https://www.apple.com/apple-vision-pro/>



**Figura 36** Apple Vision Pro com tecnologia *spatial computing*. Fonte: Apple.

A realidade virtual veio potenciar a transmissão de informação visual, auditiva, olfativa, háptica (tátil) e gustativa (Shi & Shen 2024). No caso da háptica, esta tem um papel importantíssimo na imersão da pessoa no ambiente virtual, principalmente na interação com objetos virtuais, podendo preencher a falta de contacto tátil existente nas interações físicas e que, até à poucos anos atrás, era inexistente nas interações digitais. A implementação da háptica em ambientes de VR e AR pode permitir um avanço tremendo em várias aplicações, desde teleoperações (cirurgias à distância), sensação da textura, forma, suavidade ou dureza de um material, no caso da projeção de objetos em 3D ou até mesmo em contextos de entretenimento, em casos de simulação de cirurgias médicas, em treinos de simulação militares de manuseamento de armamento militar ou nas simulações de meios de transporte, como no caso da aviação, entre muitos outros modos de aplicação.

A indústria de *smartphones* é, provavelmente, aquela onde a háptica mais se disseminou de forma mais consciente para os utilizadores, por ser uma tecnologia que não só marca presença, como também é mencionada e usada como elemento distintivo entre as diferentes marcas. Um dos casos onde essa menção é relevante é no lançamento do *AppleWatch* e, seguidamente, dos *iPhones 6S* e *6S Plus*, onde a própria empresa data esse acontecimento como uma revolução nos *smartphones*, pois foi a partir desse momento que houve um desenvolvimento significativo no *feedback* tátil nos *smartphones*, e eventual proliferação para outros dispositivos móveis, como os computadores portáteis e *tablets*.

## Capítulo 3. Estado da arte

Desde a introdução do ecrã tátil nos *smartphones* tem havido um estudo sobre qual seria o principal e o melhor modo de aquisição de dados (*input*) nos dispositivos. O utilizador, ao interagir com o dispositivo, executa as ações gerais (zoom, toque único, toque prolongado (pressionar) e arrastar/deslizar) e o dispositivo recebe a informação individual da localização de cada dedo, através de coordenadas X e Y. A partir dos três dedos em simultâneo no ecrã, a interface necessita da tecnologia de multitoque, para que possa reconhecer e reagir aos diferentes gestos efetuados pela pessoa.

Atualmente, a *Apple* é uma das empresas com maior investimento na tecnologia do *feedback* háptico, mas antes de 2015, apenas tinham envergado por esse ramo com a implementação de vibração no toque de chamada telefónica e nas notificações. Em 2015 implementaram a tecnologia patenteada *taptic engine* no primeiro *apple watch* lançado, capaz de produzir sensações vibrotáteis com várias intensidades e frequências, tanto no pulso, em modo de notificações, como no dedo, durante a sua utilização. O termo *Taptic engine* surge na junção dos termos *Tactile* e *Haptic*, dando origem a *Taptic*. Assim como a forma dos ícones das aplicações iniciou com o esquemorfismo, que pretende simular e se baseia em formas de objetos físicos (como o telefone fixo, como ícone para as aplicações de chamadas), a háptica surge com o propósito de fornecer *feedback* tátil aos utilizadores, simulando a interação com objetos físicos.

No mesmo ano de lançamento do *Apple Watch* (2015), com o lançamento do *iPhone 6S* e *6S Plus*, os ecrãs táteis sofreram uma revolução com o surgimento de uma tecnologia háptica, denominada *3D-Touch*. Os *iPhones*, para além das coordenadas X e Y, também processavam a localização dos dedos no eixo Z, podendo assim interagir com pressão sobre o ecrã que, neste caso continha sensores que mediam a distância entre o ecrã e a retroiluminação (*backlight*).

Todavia, a tecnologia *3D-touch* ficou descontinuada com o lançamento do *iPhone XR*, que serviu de teste para o modelo 11, onde houve a substituição do *3D-touch* pelo *Haptic touch*, conhecido e usado por todos os utilizadores atuais de *iphones*. Esta alteração libertou espaço para o aumento das baterias dos dispositivos, por já não serem necessários sensores entre o ecrã e a retroiluminação. Neste caso, o *Haptic touch* funciona não por *hardware*, mas por *software* que, à semelhança do *3D touch*, aciona o *Taptic Engine* quando algum tipo de ação pressupõe uma reação háptica, por parte do

*smartphone*, no entanto o *3D Touch* funciona com base na pressão aplicada no ecrã e o *haptic touch* funciona pelo tempo de contacto com o ecrã.

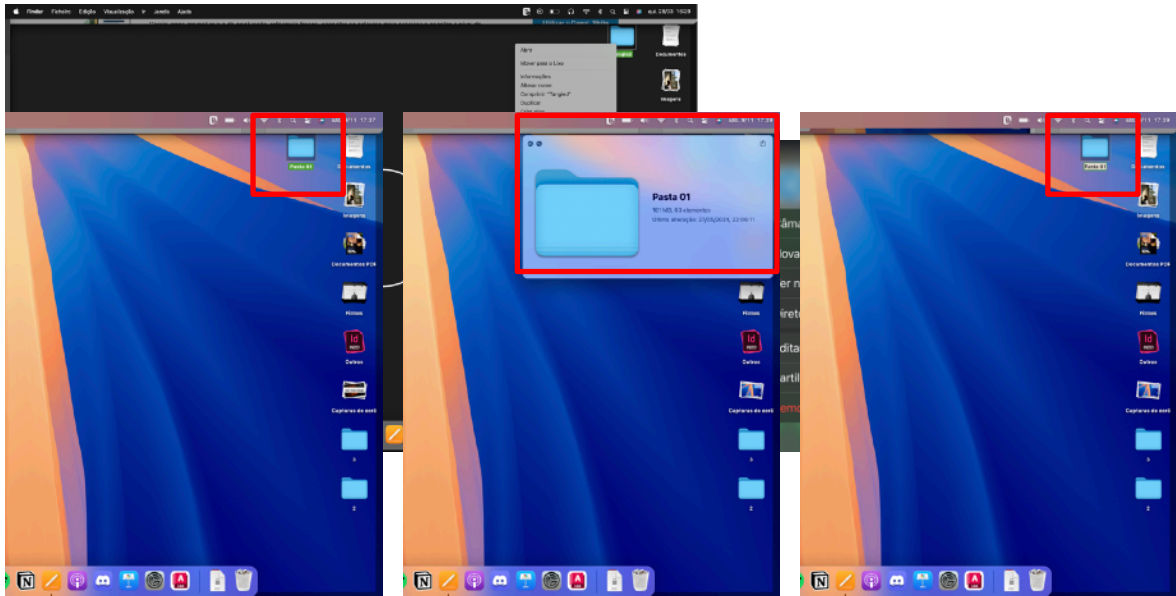
Nam e Shin (2018), no seu projeto de desenvolvimento de uma capa de telemóvel que proporcionasse um *feedback* háptico tridimensional a dispositivos sem esta característica, referenciaram o *force-touch* e o *3D touch* como se tratassem de duas nomenclaturas para a mesma tecnologia. No entanto, são duas tecnologias com o mesmo fim, proporcionar ao utilizador a execução de mais funcionalidades através da aplicação de mais pressão no ecrã, mas que funcionam de forma diferente. Enquanto que o *force-touch* é capaz de detetar apenas a aplicação de uma quantidade de força e atua apenas quando o utilizador pressiona o suficiente para atingir essa pressão específica (como acontece nos *trackpads* dos *macbooks*), o *3D touch*, por outro lado, deteta várias quantidades de força e reage logo que sente algum tipo de força superior à força normal aplicada no toque.

Para distinguir o gesto de pressionar o *input* de toque forçado (*force-touch*) deve incluir mais passos do que apenas a deteção e localização do toque do utilizador, para não se confundir com o toque normal. As interfaces que suportam o *force-touch* devem conter tecnologia que distinga o toque forçado do toque normal, ou seja, para além da posição do dedo, ainda deteta e mede a pressão exercida no dispositivo.

A interface de toque foçado é composta basicamente pelos dois processos seguintes: o processo de tocar com um dedo no ecrã e o processo de aplicar uma pressão constante no ecrã, após o toque [...] A interface de toque foçado é melhor do que a existente interface tátil, porque fornece uma forma de controlar vários movimentos. (Nam & Shin, 2018, pp. 2-3)

Todavia, o *force touch* é uma tecnologia encontrada nos *trackpads* dos *MacBooks* e, tendo em conta que a proposta da gramática háptica vai ser aplicada exclusivamente em contextos de interações táteis, considera-se necessário que as duas ações (toque foçado e toque normal) contenham *feedbacks* diferentes que identifiquem qual das ações o utilizador está a aplicar no ecrã.

As funcionalidades que o gesto de pressionar, seja por *force-touch* ou por *3D Touch*, proporcionam à interação surgem de opções ou funcionalidades secundárias, à semelhança das opções que surgem quando se clica com o botão direito do rato, no ambiente de trabalho de um computador (figura 37).



**Figura 38** Seleção da pasta, aplicação do *force-touch* na pasta e aplicação do *force-touch* no nome da pasta, respetivamente. Fonte: Autoria própria.

Para consolidar melhor todas estas tecnologias e alterações, é necessário definir e saber o que distingue o *haptic touch*, o *3D touch* e o *force-touch*, que atuam de forma tão semelhante. Na tabela 2 é possível comparar as características de cada um.

**Tabela 2** Comparação entre o *Multi-touch*, *force-touch*, *3D Touch* e *haptic touch*. Fonte: Autoria própria

Type	Force Touch (2014)	3D Touch (2015)	Multi-Touch (2017)	Haptic Touch (2018)
Tap, Swipe, Pinch	✓	✓	✓	✓
Soft Press, Soft Tap	✓	✓	✗	✓
Hard Press	✗	✓	✗	✗

## Force-Touch

O *force-touch* foi a primeira tecnologia a surgir com o lançamento do primeiro Apple Watch, em 2014. Esta tecnologia teve um grande impacto na usabilidade, expandindo-se posteriormente para os *TrackPads* dos *Macbooks*, a partir de 2015. Esta tecnologia baseia-se na pressão exercida pelo utilizador que é detetada por eléctrodos posicionados no ecrã. A informação detetada ativa o *Taptic Engine*, que reage com uma vibração como resposta. Esta nova forma de interagir com dispositivos táteis foi extremamente benéfica, principalmente, num ecrã tão pequeno como o de um *smartwatch*.

Nos *trackpads*, ao pressionar com alguma força, é emitida uma segunda vibração e apresenta mais opções no ecrã. Por exemplo, ao clicar normalmente numa pasta, esta é apenas seleccionada (figura 38), no entanto, usando o *force-touch*, ao clicar na mesma pasta, é exibida uma pré-visualização da mesma, mas caso o *force-touch* seja aplicado no nome da pasta, a interação permite a edição do nome da mesma (figura 38).

### **3D Touch**

O *3D touch* surgiu no ano seguinte ao *force-touch*, com o lançamento do *iPhone 6S* e foi anunciado pela *Apple* como uma tecnologia tão revolucionária como o *multitouch*, apesar de não ter tido o mesmo impacto. É comumente referenciada como uma melhoria do *force-touch*, por ter a mesma funcionalidade. Todavia o *3D touch* apresenta duas respostas diferentes, o *Peek* e o *Pop*.

Tanto o clicar normal, como o pressionar, respondem da mesma forma no *3D touch* e no *force-touch*. Porém, no *3D touch* na ação de pressionar, ao aplicar mais força na pressão, a resposta do dispositivo é quase instantânea, pela evidência da ação do utilizador. No caso do *force-touch* e no *haptic touch* é necessário atingir uma força de pressão fixa.

A nível de *hardware*, o *3D touch* funciona com base em sensores que captam a distância microscópica entre a retroiluminação (*backlight*) e o vidro do ecrã. Quando o ecrã é pressionado, faz variar a distância entre as duas componentes e, em conjunto com um acelerómetro, detetam a ação do utilizador, fazendo com que a ação no ecrã seja executada mais rapidamente.

### **Haptic Touch**

Com o lançamento do iPhone XR, a tecnologia do 3D Touch que funciona com base em *hardware*, foi substituída por uma solução com base em *software*, o *Haptic touch*. Neste caso, a nova solução não é ativada devido a uma força aplicada pelo utilizador, mas sim pelo tempo que mantém o dedo premido.

A partir de 2018, o *feedback* passou a ter por base uma questão de programação, ou seja, uma pessoa, ao interagir de uma determinada forma reconhecida pelo *software* (como por exemplo manter o dedo em contacto com o ecrã durante um intervalo de tempo definido), há um impulso elétrico emitido ao *Taptic Engine* (o único pedaço de *hardware* que se mantém para o funcionamento do *feedback* tátil), que vibra de uma determinada forma e emite uma resposta háptica.

Apesar de não haver uma noção tridimensional com o *haptic touch* devido à dimensão dos *smartphones*, ao retirar o *hardware* necessário para o funcionamento do *3D touch*, houve um aumento de espaço, que possibilitou o aumento do tamanho da bateria e, conseqüentemente, da sua autonomia (Apple Explained, 2019).

Segundo vários críticos e *reviewers* de tecnologia, como John Ee (2021) e iClassic (2021), há uma certa concordância em relação à substituição do *3D touch*, pelo *haptic touch*, apesar das capacidades superiores do primeiro, face ao segundo.

Phil Schiller, o executivo de marketing da *Apple*, numa entrevista feita para a *Bloomberg*, esclarece que

Em termos de engenharia, o hardware para criar um ecrã que faça o que o 3D Touch faz é incrivelmente difícil. E vamos desperdiçar um ano inteiro de engenharia — realmente, dois — com uma quantidade enorme de custo e investimento na fabricação, se não fizer algo que as pessoas usarão. Se é apenas um recurso de demonstração e um mês depois ninguém o está realmente a usar, isso é um enorme desperdício de talento em engenharia (Tyranziel, 2015, para. 1)

A postura de Phill Schiller e, conseqüentemente de toda a marca, foi de concordância na substituição do *3D touch* pelo *Haptic touch*, pela exigência de construção do primeiro, face ao fraco impacto e conhecimento, por parte dos utilizadores. Porém, toda a polémica nesta alteração, pode demonstrar algum potencial desperdiçado, talvez por não ter sido aplicada da forma mais correta ou nos contextos mais adequados.

Como já mencionado acima, a essência do *3D touch* é a capacidade de ser ativado em ações bidimensionais (eixos X e Y), mas também em ações tridimensionais (eixo Z),

proporcionando uma interação em profundidade, num *display* plano. Com o aumento das funcionalidades inseridas nos dispositivos móveis, poderia ser benéfico e útil o reaproveitamento desta tecnologia, em diferentes contextos de utilização, como modelação 3D, a realidade virtual e a realidade aumentada.

De forma análoga, o *Apple Pencil*, nos *iPads*, também é o dispositivo detetor da força aplicada contra o ecrã, por meio de ligação por *bluetooth* ao dispositivo, reage com uma linha mais ou menos intensa (Apple developer, 2021).

A área automóvel tem tido um grande desenvolvimento no âmbito da háptica, e por essa razão apresenta-se como fundamental para discutir casos de estudo neste capítulo. Devido ao aumento da inserção de características digitais, o setor automóvel utiliza a háptica para tornar os veículos mais cómodos e confortáveis. Não obstante, a incorporação destas novas tecnologias podem ser motivo de maior distração para o condutor, em acréscimo às inúmeras distrações já existentes, tais como o ambiente, os reflexos da luz, a música e as conversas no interior do automóvel, entre outras. É neste contexto que a háptica entra como mais um meio de comunicação com o ser humano, de modo a aliviar a sobrecarga dos sentidos da visão e da audição e, conseqüentemente, sem comprometer a segurança do condutor e dos passageiros.

Para haver uma interação háptica com o utilizador, na maioria das tecnologias hápticas existentes, é necessário contacto físico entre o utilizador e a interface. No caso do automóvel, esse contacto é constante e já existe com diferentes partes do veículos, como o volante, o assento, os pedais e o cinto de segurança. Há outras partes com a qual existe contacto, embora não constante, como o painel de instrumentos e a caixa de velocidades

Desde o final do século XX e o início do presente século, tem havido um forte investimento e desenvolvimento na sensação tátil, sendo algo presente nas nossas interações homem-computador, no quotidiano, desde os comandos de consolas, à maioria dos telemóveis. Ambos os dispositivos contêm atuadores LRA ou ERM, que comunicam quando recebemos uma chamada ou uma mensagem, distinguindo cada notificação através do tipo de vibração, da sua frequência e intensidade.

Van Erp e Van Veen, em 2011 repartiram em quatro áreas, a informação que poderia ser apresentada nos automóveis por meio da háptica: segurança, assistência, diversão e eficiência. A nível háptico, os mesmos autores fizeram uma subdivisão de 5 classes de informação que podem ser dispostas e que podem comunicar com o condutor através de estímulos táteis: informação espacial, que remete ao ambiente em redor do veículo; sinais

de aviso, que informem perigos iminentes; comunicação silenciosa e privativa, exclusiva para o condutor e sem incomodar os restantes passageiros; informação codificada que comunique informação sobre especificações do carro (ex. temperatura); informação geral sobre botões e interruptores, pontos de preferência, entre outros.

Em contraste, Petermeijer et al. (2015) apenas subdividem a utilização da háptica em duas grandes categorias: os sistemas de orientação, que apoiam o condutor sempre que são ativados por ele, e os sistemas de aviso, que se ativam automaticamente quando um limite é ultrapassado (ex. velocidade, aproximação a outro carro, etc.). Os sistemas de orientação são os sistemas de bordo criados para assistir o condutor através de comunicação tátil, ou seja, à medida que o condutor exerce uma operação, o sistema vai assistindo com respostas hápticas. As operações incluem orientação e manobras de controlo das funcionalidades do painel de instrumentos. Estes sistemas podem ser divididos em 3 tipos de orientação/assistência háptica: controlo de diferentes funções do automóvel; apoio às manobras; orientação do condutor (navegação). No caso do apoio às manobras, há o apoio das câmaras e de sensores que, quando estão demasiado próximos de um obstáculo, emitem um *feedback* sonoro de aviso. No entanto, há certas ocasiões em que a câmara pode ficar inoperacional. No caso de um veículo conter um atrelado, a câmara fica obstruída, não podendo auxiliar o condutor em manobras de estacionamento. Para além disso, o *feedback* sonoro, por vezes também pode ser incomodativo e favorece o aumento de *stress* causado no condutor.

Na categoria de controlo das funções do carro, estão incluídos todos os tipos de tecnologias existentes que tendem a surgir. Essa quantidade crescente de tecnologias incorporadas no habitáculo, são fatores que, por um lado podem resolver certos problemas, mas por outro lado, podem comprometer a atenção dos condutores. Todas essas tecnologias circundam o condutor, desde a porta, o painel de instrumentos e a zona central do carro (onde se encontra o travão de mão e o manípulo das mudanças, tornando todo o ambiente complexo e difícil de controlar sem retirar os olhos da estrada).

Pitts et al. (2012), demonstra que uma vibração, em resposta a uma ação, no painel de instrumentos, reflete uma diminuição do tempo do olhar fora da estrada, de 2,94 segundos, para 2,40 segundos. Este tipo de aplicações é cada vez mais pertinente, devido à incorporação dos ecrãs táteis para dentro dos habitáculos dos veículos. A aplicação de elementos que interagem com o condutor pelo tato, seja por atuadores vibrotáteis ou eletrotáteis é cada vez mais viável, tendo em conta toda uma componente elétrica cada vez mais presente e complexa na construção dos automóveis. Existem diversos locais nos

carros onde podem ser inseridas as interfaces hápticas, sem ser necessário o acrescento de elementos para o condutor manusear: desde o volante, o cinto de segurança, banco (assento e encosto), painel de instrumentos e pedais. No caso do volante e dos pedais, há várias nuances a considerar, como a dificuldade de distinguir as vibrações oriundas de feedbacks hápticos e vibrações oriundas da trepidação da estrada.

Por fim, no caso da navegação, a háptica também pode potenciar um alívio na visão, na audição e também na cognição do próprio condutor, principalmente em ambientes citadinos, onde é necessária atenção redobrada na navegação, pela quantidade de cortadas, pelo trânsito e peões, e pela confusão sonora.

Assim, Ege et al., em 2011, propuseram a adição de dois motores vibracionais em cada um dos lados do volante que, com base em testes efetuados em simuladores de condução, demonstraram reduções significativas nos erros de navegação, especialmente em ambientes ruidosos.

À semelhança, Hwang et al. (2010), propuseram uma distribuição de 32 atuadores vibrotáteis por todo volante, que se acionavam na direção para onde o condutor tinha de virar. No mesmo âmbito, Asif et al. (2012), sugeriram a aplicação de 8 atuadores distribuídos pela parte de baixo do cinto. Hogema et al., em 2009, com a intenção de auxiliar na navegação, decidiram escolher o assento como guia de orientação do condutor, vibrando o lado esquerdo ou direito, mediante para onde o condutor tinha de virar. Já Hwang et al. (2012), seguiu a mesma linha de pensamento, mas com um estímulo dinâmico, em vez de estático, ou seja, se o GPS indicasse que o trajeto era para a esquerda, o estímulo vibracional iniciava no centro e seguia até ao lado esquerdo, como se de uma seta (háptica) se tratasse.

No projeto de Hwang et al. (2012) foi implementada uma matriz de 25 tractores (pequenos motores vibracionais), perfazendo uma forma quadrangular de 5 por 5 factores. O sistema foi subdividido em três partes: o computador anfitrião, o microcontrolador e a matriz háptica. Sendo assim, o procedimento deste sistema iniciava no computador anfitrião, que corria o *software* e codificava a informação do padrão háptico correspondente a uma ação, e transmitia ao microcontrolador. Seguidamente, o microcontrolador tratava de receber e descodificar a informação, acionando os padrões hápticos na matriz. A matriz háptica, que foi aplicada no encosto de uma cadeira, era constituída pelos tais 25 factores, isolados entre si por látex, de modo a concentrar a vibração nos locais onde se encontravam. Ao estarem no encosto, a vibração era emitida para a região das costas. Segundo Jones et al.

(2004), num projeto no *MIT*, ao fazerem uma comparação entre o tronco e os dedos das mãos, concluíram que o tronco era capaz de transmitir o dobro da informação dos dedos. Ou seja, ao serem as costas a receber a informação, era possível emitir um maior número de diferentes estímulos. Para além disso, ao ser um projeto na área da condução, as costas são uma zona inerte e em constante contacto com o encosto, estando sempre disponíveis para receber estímulos vibracionais.

Os 25 tactores do projeto de Hwang et al. (2012) produziram diversos padrões hápticos, a fim de gerarem representações espaciais. Esses padrões são fluxos de vibração usados para representações, ou seja, os tactores vibram uns a seguir aos outros, numa determinada direção, representando espacialmente uma seta que indica a direção para onde os condutores devem virar. Neste projeto foram feitos testes onde participaram 16 estudantes universitários, 7 do sexo feminino e 9 do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 19 e os 25 anos, sem quaisquer limitações motoras nem cognitivas.

O'Malley e Grupta (2008), também desenvolveram um projeto no âmbito da navegação háptica, no entanto, referem-se a auxiliares de orientação para utilizadores invisuais. Os autores mencionam que os auxiliares auditivos, com o complemento de auxiliares táteis, são mais eficientes e facilitam a sua utilização. O complemento háptico ajuda a evitar que os auxiliares auditivos, sozinhos, não sejam confundidos com sons do ambiente. Neste mesmo sentido, em 1998 Ertan et al. desenvolveram um sistema háptico vestível, constituído por 44 tactores posicionados nas costas do utilizador (à semelhança da prospecta de Hwang et al. em 2012 e um ecrã tátil à sua frente, que servia para a criação do percurso a ser feito pela pessoa. Para além disso, a interface ainda era constituída por um sistema de infravermelhos que mapeava o ambiente em torno do utilizador.

Na mesma área, mas com uma aplicação e abordagem diferentes, Tang et al., em 2006, propuseram um sistema de navegação tátil oral para cegos, através da projeção, execução e implementação de uma boquilha de silicone, com um ecrã eletrotátil para fornecer *feedback* tátil no céu da boca, à semelhança do o neurocientista Paul Bach-y-Rita fez em 1968, que apresentou e testou um dispositivo que proporcionava a pessoas invisuais que conseguissem ver objetos com altos níveis de contraste, através do tato da sua língua, com base na teoria da plasticidade do cérebro, ou seja, “a ideia de que o cérebro é capaz de mudar e, por isso, esta capacidade podia ser usada para fazer com que um sentido substituísse outro.” (Rutkin, 2013, p. 1).

Outra tecnologia háptica relevante para este estudo é o *feedback* eletrotátil. Este tipo de estímulo tátil, é uma tecnologia mais recente capaz de emitir inúmeros e variados estímulos ao ser humano, através do toque. Em contraste com os motores vibracionais, os elétrodos, são mais pequenos, flexíveis, não contêm nenhum componente mecânico e funcionam puramente com impulsos elétricos, o que lhes proporciona um espectro muito além de simples ondas vibracionais com diferentes ritmos e intensidades.

Um *feedback* eletrotátil é capaz de transmitir imensos tipos de sensações táteis, desde vibração, formigueiro, pressão, textura, movimento (cinética), variações de temperatura e até mesmo dor. As sensações vibratórias podem ser induzidas, por meio da variação da frequência e da intensidade da corrente elétrica, podendo alternar entre vibrações suaves ou intensas. Os formigueiros são sensações comuns causadas pela estimulação elétrica e a sensação assemelha-se a um membro do corpo dormente. Para se simular pressão já é necessário uma variação da amplitude da corrente, dando a ideia de que algo está a ser pressionado contra a pele do utilizador. No caso das texturas, é das capacidades mais inovadoras e aliciantes dos dispositivos eletrotáteis. Ao alternar rapidamente os padrões de estimulação, os elétrodos podem simular diferentes texturas, como áspero, suave ou irregularidades. Na háptica, como também está associada a estimulações cinestésicas, os elétrodos, também conseguem simular movimento ou deslize, que podem ser criados, ativando sequencialmente diferentes áreas dos eletrodos, dando a impressão de algo a mover-se sobre a pele. O calor e o frio também são percepções que o ser humano é capaz de distinguir e decifrar, devido às capacidades hápticas que temos. Apesar de ser uma tecnologia mais desafiadora de simular, algumas pesquisas tentam usar eletroestimulação para criar sensações térmicas, embora ainda seja uma área em desenvolvimento. Por fim, a dor ou pequenos desconfortos táteis são usados em contextos médicos ou terapêuticos, por exemplo. Neste caso os eletrodos são usados para induzir dor controlada, embora seja evitado em aplicações de interfaces táteis, devido ao desconforto causado. Alguns dos *feedbacks* que podem ser sentidos pelos atuadores eletrotáteis, podem ser notados no experimento de Diente et al. (2023), durante a elaboração de uma pulseira com *feedback* eletrátil para *smartwatches*.

Como já referido ao longo do documento, as interfaces hápticas podem ser encontradas com diversos formatos e em variados contextos. No entanto, por definição, todas se baseiam em sistemas mecatrónicos, com foco na sensação tátil (Oxford Learner's Dictionaries, 2023) e que proporcionam ao ser humano sentir o ambiente virtual.

As investigações com ligação à tecnologia háptica, englobam temas como a háptica na ponta do dedos (Nam et al. 2022), tecnologias das interfaces hápticas (Vardar et al., 2021), interfaces de teleoperação (Krauthausen et al., s.d.), interações físicas humano-robô (Mohan et al., 2021) e deteção de toque (Block et al., 2021), no entanto na presente dissertação, o foco centra-se nas interfaces hápticas.

No que respeita a projetos, Vardar et al. (2021), efetuaram um projeto que trabalha com um método de renderização háptica chamada eletrovibração. O seu modo de funcionamento passa pela alteração da voltagem que é aplicada na camada de um ecrã condutor de energia, gerando forças atrativas entre a superfície tátil e os dedos do utilizador, fazendo com que o segundo detete essa força. O projeto visa esclarecer o modo como o movimento dos dedos, a força aplicada e o multitoque afetam a perceção da eletrovibração e que mecanismos são necessários para atingir essas percepções. O propósito deste projeto é tentar atingir sensações táteis cada vez mais convincentes e próximas das sensações táteis existentes nas interações físicas.

Gertler et al em 2021, desenvolveram outro projeto, centrado na exploração e compreensão das características das pontas dos dedos do ser humano, a fim de desenvolverem engenhos hápticos que possam ser aplicados nas mãos e que providenciem *feedbacks* vibracionais de alta fidelidade. A regularidade com que o ser humano usa os dedos, para explorar e entender o ambiente físico à sua volta foi o que levou à elaboração deste projeto. O foco nos dedos deve-se à sensibilidade que as suas pontas têm, deve-se à densidade de terminações nervosas nessas zonas. A compreensão desta capacidade humana pode ter enormes influências em variados contextos, como por exemplo na melhoria das vidas das pessoas invisuais. Do mesmo modo que na animação *Avatar, the last airbender* (Figura 39)<sup>38</sup>, em que a personagem Toph Beifong, que é invisual, usa a háptica detetada pelos seus pés, para “ver” e perceber o mundo, podia ser bastante pertinente pegar nesse princípio para o mesmo contexto de pessoas com incapacidade visual e desenvolver um dispositivo, vestível pelo ser humano, habilitando-o com capacidades hápticas mais eficazes e precisas.

---

<sup>38</sup> <https://www.deviantart.com/basinfante/art/Toph-Avatar-the-Last-Airbender-628286620>



Outro projeto criado para

**Figura 39** Uso do sentido háptico para perceber o ambiente **Fonte** Deviant Art.

compreender a dinâmica na ponta do dedo humano, é o *DigiTip*, um modelo 3D para visualizar as respostas de vibração livre e forçada da deformação da ponta do dedo, durante interações hápticas. Ao compreender essa deformação, o departamento de inteligência háptica do *MPI-IS*, conseguiu criar um novo tipo de dispositivo vibrotátil vestível: uma bainha elástica que cobre apenas a ponta do dedo, que contém um ímã e uma bobina. Ao variar um campo magnético do ímã, o *Digitip* gera corrente elétrica e, conseqüentemente, emite vibrações na ponta do dedo, que demonstrou resultados surpreendentes em testes de usabilidade. "As experiências com participantes humanos confirmaram que este projeto consegue uma transmissão excepcional de sinais vibratórios expressivos, uma que vez que estimula habilmente o quarto modo de vibração da ponta do dedo humano." (Gertler et al., 2021, para. 4).

As pontas dos dedos são uma das parcelas do corpo humano mais estudadas, no domínio da háptica, por ser a parte do corpo que mais interage com o mundo, como consequência da quantidade de terminações nervosas existentes na ponta de cada dedo, por unidade de área, dando-lhes a capacidade de serem "maravilhosamente sensíveis" (Kuchenbecker, s.d., para. 1).

Como foi mencionado no projeto de Gertler *et al.* (2021), existem modos de vibração da ponta dos dedos e, devido a essa capacidade, o ser humano consegue sentir objetos, formas, texturas, pressões e materiais. Esses modos de vibração podem ser subdivididos em modos de flexão e modos de torção, onde os modos de flexão se referem à curvatura da ponta do dedo, longitudinalmente, e são encarregados de perceber texturas, pressões e vibrações. O quarto modo de vibração da ponta dos dedos, supracitado, faz parte dos modos de flexão, com uma frequência natural de 140Hz e é responsável pela captação de texturas, vibrações e pressões. No ramo da háptica é um modo importante por identificar objetos pela forma e textura. Para além disso, também é particularmente sensível a variações de frequência e amplitude, podendo capacitar a emissão de um amplo leque de sensações subtilmente diferentes, potenciando a experiência de utilizador em interações com interfaces hápticas.

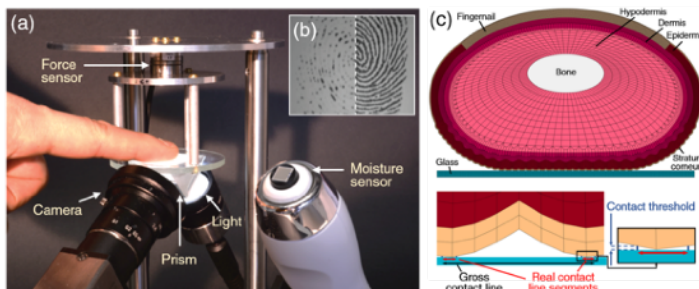
Apesar da parcela corporal em estudo (a ponta dos dedos) ter uma área pequena, a sua compreensão e mecanismo de perceção, ação e aprendizagem háptica, ainda estão muito aquém do desejado. O seu estudo centra-se muito em conhecer o material que compõe as pontas dos dedos, assim como as suas propriedades geométricas, tanto no contacto com superfícies físicas, como na interação com interfaces hápticas. A sua investigação visa descobrir o modo como a interação dedo-superfície funciona, assim como novos mecanismos de criação de háptica artificial, a fim de melhorar o seu desempenho e precisão. Geralmente são usados sensores externos, cada vez mais fidedignos, que detetam qualquer tipo de forças/torque e aceleração, respondendo com uma ação háptica.

Neste domínio, o instituto de Max Planck desenvolveu ainda o projeto *Finger-Surface Contact Mechanics in Diverse Mixture Conditions* (Nam et al. 2022) (figura 40)<sup>39</sup>. Este projeto demonstra a alteração das propriedades da pele, da superfície de contacto e da fricção criada devido à humidade existente numa interação tátil, influenciando consideravelmente a perceção da interação. Para tal, primeiramente foi necessário construir uma série de mecanismos para a medição tridimensional das forças de contacto dos dedos, a captação de imagens do contacto e os níveis de humidade criados pelos dedos, a fim de investigar a influência da humidade no contacto, através da criação de diferentes condições de humidade. Um exemplo comum no quotidiano que pode demonstrar a pertinência do projeto, é no caso de uma interação com o telemóvel, após o utilizador lavar as mãos que, mesmo depois de as secar, permanecem com alguma humidade, o que pode comprometer essa interação.

---

<sup>39</sup> [https://hi.is.mpg.de/research\\_projects/understanding-fingerpad-moisture-and-friction](https://hi.is.mpg.de/research_projects/understanding-fingerpad-moisture-and-friction)

As medições foram obtidas pela construção de uma interface de contacto que continha sensores externos para captar a força e a cinética, uma câmara de captação de imagens, uma base de vidro, uma luz para a obtenção de impressões digitais e, por fim, um sensor de humidade para, posteriormente, medir os níveis de humidade nas várias interações. As medições derivaram de um participante que pressionou a base de vidro, uma primeira vez com os dedos pouco húmidos, na segunda vez com níveis naturais de humidade e por fim, com níveis de humidade acentuados. A investigação direccionou-se para a relação entre o contacto e a perceção dos utilizadores, de modo a descobrir o porquê das pessoas terem a sensação de aderência, quando afastam os dedos da superfície de contacto. O estudo foi efetuado com nove participantes e o resultado demonstra que essa perceção está diretamente relacionada com o tempo de pressão, ou seja, quanto maior o tempo de pressão do dedo sobre a superfície, maior será a sensação de aderência, no momento de retirada do dedo.



**Figura 40** Teste da perceção de aderência no contacto com uma superfície **Fonte** Instituto de Max Planck.

# Capítulo 4. Gramática háptica, uma proposta exploratória para o design de interfaces táteis

## 4.1. Conceito

Após a investigação feita no âmbito das interfaces hápticas, foi notório um défice de intervenção do design no estudo destas interfaces. Por essa razão surgiu a proposta de criar uma linguagem capaz de uniformizar as interações hápticas, assim como foi efetuado com as interações gestuais. Para diminuir a curva de aprendizagem dos utilizadores, aquando da utilização de um dispositivo tátil novo, sentiu-se a necessidade de criar uma gramática gestual transversal a todos os ecrãs táteis, de modo a criar consistência e familiaridade entre eles. Do mesmo modo, foi conceptualizada e proposta uma gramática háptica, com a intenção de uniformizar o *feedback* háptico em ecrãs táteis, para cada ação gestual. Esta gramática foi dedicada à comunidade de desenvolvedores de produtos digitais, em especial aos designers, por serem os profissionais indicados para traduzir a linguagem das tecnologias, para uma linguagem compreendida por todos, tal como aconteceu com o computador.

## 4.2. Metodologia e objetivos, passos para a proposta exploratória

Esta investigação iniciou-se com um estudo bibliográfico focado na relação entre o design industrial e o design de interação e como o primeiro influenciou o segundo. Após se evidenciar essa influência detetaram-se diferenças entre as duas áreas, entre as quais, a falta de uma interação tátil no paradigma digital e, por isso, um forte foco apenas nos sentidos da visão e da audição.

No entanto, ao notar-se essa falta de uma componente tátil no ambiente digital, descobriu-se uma nova área de estudo que se foca em cobrir a lacuna encontrada, com um significativo crescimento desde os anos 90 do século passado: a tecnologia háptica. Ao prosseguir o caminho das interfaces hápticas, foi notada uma falta de intervenção, por parte do design e, em contraste um forte domínio e particular interesse da engenharia. Contudo, assim como no caso do rádio e dos computadores, houve um tempo em que essas tecnologias eram dominadas e usadas por engenheiros e especialistas na área, mas com a disseminação das tecnologias para a sociedade, surge a necessidade de haver uma intervenção por parte do design na disponibilização das tecnologias, de modo que seja

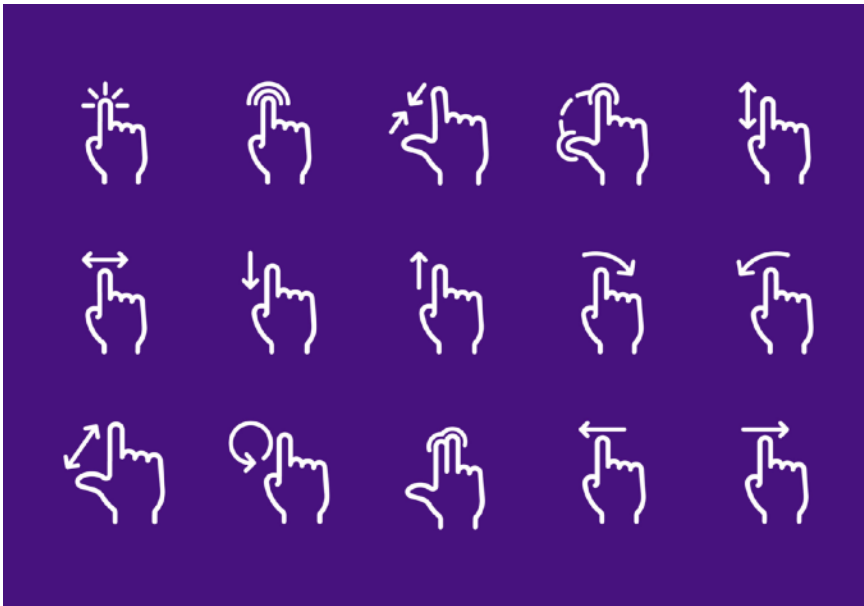
passível para a população em geral usufruir delas, sem que tenham qualquer tipo de conhecimento técnico prévio. Assim, numa segunda fase da investigação, procurou-se analisar o estado da arte, com o objetivo de compreender os projetos e tecnologias que estão a ser investigados e desenvolvidos, bem como as potencialidades do design para contribuir neste campo. Essa análise revelou o potencial do design para agregar valor à evolução das interfaces hápticas, especialmente na criação de experiências mais intuitivas e acessíveis.

Num terceiro momento de investigação, foi formulada uma proposta exploratória direcionada à comunidade do design, que se prende com a conceção de uma gramática háptica para dispositivos táteis com um particular enfoque nos *smartphones*, *tablets* e *smartwatches*. Esta proposta tem como objetivo marcar a presença do *feedback* háptico nestes dispositivos, como mais um meio de comunicação entre o utilizador e o computador, fortalecendo a sua experiência de utilização. Para além disso, surge do facto das sensações táteis criadas pelas tecnologias hápticas ainda se encontrarem muito aquém das sensações sentidas no mundo real. Usando como exemplo a ação de clicar, seja no botão central, no caso dos *iphones* mais antigos, seja no *trackpad*, a simulação tem uma precisão extremamente realista. Todavia, essa aproximação à realidade é menor no caso de outras ações, demonstrando fragilidade, monotonia e irrelevância ao uso da háptica.

A proposta tem como base e inspiração a gramática gestual já existente e amplamente utilizada em todos os dispositivos em questão. Essa gramática inclui os seguintes gestos: **clicar**, **deslizar** (*scroll*), **pressionar**, **duplo clique**, **ampliar** (*zoom*), **rodar** e **arrastar** (figura 41)<sup>40</sup>. A proposta associa a cada um dos gestos uma resposta háptica. Em alguns casos o *feedback* é igual nos três dispositivos, enquanto que noutros, o *feedback* varia mediante o tipo de dispositivo.

---

<sup>40</sup> <https://boldist.co/design/gesture-based-interfaces/>



**Figura 41** Gramática gestual usado na interação com ecrãs táteis. Fonte: Boldist.

No desenvolvimento da gramática háptica, primeiramente foi feito um registo dos gestos e da respetiva resposta háptica, caso este já contivesse algum *feedback*, assim como o modo como era emitido, organizando toda a informação numa tabela. De seguida, foi feito um levantamento sobre as tecnologias hápticas existentes e usadas em inúmeros contextos e os modos de emissão do *feedback* (vibrotáteis, eletrotáteis, entre outros). Após esse levantamento, foram recolhidos os diferentes tipos de sensações táteis que cada tecnologia háptica tem capacidade de emitir (desde vibrações, pressão, texturas, cinética, entre outros) e, com base em toda a informação coletada, foi então elaborada uma proposta de *feedback* para cada um dos gestos enumerados acima. Por fim, propôs-se completar a gramática gestual já tabelada e conhecida, acrescentando os *feedbacks* hápticos considerados mais apropriados para cada um dos gestos efetuados pelo utilizador, de modo a criar uma uniformização na interação com os diferentes *smartphones*, *tablets* e *smartwatches*. Deste modo, não só a elaboração de produtos digitais e dispositivos táteis será otimizada, por parte dos seus desenvolvedores, como também haverá uma inerente aprendizagem, por parte dos utilizadores, ao começarem a associar uma ação a uma determinada reação háptica.

Com base na explicação descrita, o método usado para atingir o resultado, pode ser integrado numa metodologia conhecida e muito usada na comunidade do design, o *Double Diamond* (figura 42)<sup>41</sup>.

<sup>41</sup> <https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/the-double-diamond/>



**Figura 42** As quatro fases da metodologia *Double Diamond*. Fonte: Design Council.

Na primeira fase houve uma exploração alargada das áreas do design industrial e do design de interação. Após essa exploração, foi feita uma comparação entre as duas áreas e assinaladas as suas semelhanças e diferenças, entre as quais, se destacou a interação tátil, como uma diferença entre as duas áreas, levando a um afunilamento para a área das interfaces háptica. Na fase três, houve uma nova abertura e exploração sobre as interfaces e às várias formas de aplicação do *feedback* háptico, no contexto digital, o que finalizou numa quarta e última fase, com a elaboração da gramática háptica apresentada restrita a ecrãs táteis.

### 4.3. Dispositivos usados

A conceção desta proposta exploratória, foi pensada para ser compatível com todo tipo *smartphones*, *tablets* e *smartwatches*, independentemente da marca e do sistema operativo, contudo, devido à falta de recursos de apoio à investigação feita, houve três dispositivos que auxiliaram a investigação de uma forma empírica: o *iPhone SE*, o *iPad pro 15* (de 2015) acompanhado do *apple Pencil* de 1ª geração e o *applewatch SE*. Devido aos dispositivos usados serem da mesma marca, *Apple*, faz com que a gramática esteja pensada com base nos dispositivos, como é o caso do uso do *3D touch*, que outrora foi uma tecnologia usada exclusivamente pelos produtos da *Apple*. Tanto na fase de tabulação das ações que já continham háptica, como na fase da exploração, o contacto foi

sempre com dispositivos da *Apple*, e apenas em certas ocasiões com outros modelos, para além dos mencionados acima.

Apesar existirem várias marcas e diferentes sistemas operativos, atualmente, todas elas demonstram uma tendência de se assemelharem entre si no modo de utilização, tornando-as fáceis de usar por qualquer pessoa, esteja esta afiliada a uma marca ou variando entre as várias existentes. No mesmo sentido, a gramática háptica proposta pretende uma interação háptica uniformizada nos diferentes dispositivos das diversas marcas existentes. Idealmente, o pretendido é que todas as marcas adotem a mesma gramática para os seus *smartphones*, *tablets* e *smartwatches*, criando um ambiente familiar de utilização, independentemente, da marca escolhida pelo utilizador.

#### **4.4. Público alvo**

No que diz respeito ao público alvo, a sugestão apresentada direciona-se a diferentes grupos de pessoas em diferentes fases da proposta. Numa primeira instância, a gramática háptica desenvolvida pretende alcançar os desenvolvedores, sejam estes designers ou engenheiros, que desenvolvem aplicações e outro tipo de produtos digitais para os dispositivos em questão (*smartphones*, *tablets* e *smartwatches*). Tal deve-se ao facto de serem estes profissionais a determinar as funcionalidades dos produtos que desenvolvem e, conseqüentemente, as tarefas e as interações que os utilizadores terão de operar para usarem esses produtos. Logo, com base nas interações necessárias para usar uma qualquer aplicação, os desenvolvedores terão de ter em conta os respetivos *feedbacks* hápticos da gramática apresentada. Numa segunda fase, após a implementação da gramática háptica nos produtos que irão ser usados pelo consumidor comum, de um ponto de vista holístico, o público alvo abrangerá todos os utilizadores comuns de *smartphones*, *tablets* e *smartwatches*, pois o objetivo final desta gramática é tornar a interação com dispositivos táteis, efetivamente, mais tátil e mais uniforme.

#### **4.5. Proposta final, gramática háptica**

Antes de apresentar a sugestão háptica, é necessário mencionar que todos os *feedbacks* hápticos desenvolvidos, têm por base os gestos gerais usados numa interação com ecrãs táteis, como ilustrado na figura 42. A compilação desses gestos formam uma gramática

gestual usada e tida em conta no desenvolvimento de aplicações e outros produtos digitais usados em interfaces táteis.

As interações com ecrãs táteis são constituídos de sete gestos base usados para interagir com qualquer interface tátil: **Clicar (Tap)**, **Deslizar (Swipe/Scroll)**, **Arrastar (Drag)**, **Pressionar (Tap & Hold)**, **Duplo clique (Double Click)**, **Ampliar (Zoom)** e **Rodar (Rotate)**. Atualmente a alguns destes gestos já vêm associados algum tipo de *feedback* háptico que, complementando com outras respostas auditivas e visuais, criam uma redundância e garantem ao utilizador que a sua ação foi bem sucedida. Essa redundância pode ser crucial para a rapidez de percepção dos utilizadores e, com base em Pits et al. (2012) , no âmbito automóvel, registou-se um aumento de percepção e resposta, por parte dos utilizadores, quando usada a háptica para notificar. “Fornecer um *feedback* vibrotátil durante o toque do utilizador no painel de instrumentos, tende a reduzir a duração do olhar no ecrã do painel, de 2,96 segundos, para 2,40 segundos.” (Gaffary e Lécuyer, 2018, p. 2).

Devido à impossibilidade de desenvolver um dispositivo háptico e, eventualmente, realizar testes, a gramática háptica que vai ser apresentada permanecerá como uma sugestão para incentivar futuramente a sua implementação prática, assim como experiências e testes para comprovar ou reprová-la a sua viabilidade. No entanto todas as sugestões hápticas, para cada interação gestual, são suportadas por tecnologias existentes e aplicações testadas, seja no âmbito dos ecrãs táteis, seja em outros âmbitos de aplicação. Também é de referir que todas as sugestões efetuadas remetem para uma possível aplicação presente, com base nas tecnologias e descobertas feitas até aos dias de hoje.

Começando com o gesto mais básico e mais comum numa interação tátil, o **clicar ou tap**, atualmente, apenas contém *feedback* háptico, caso o utilizador ative nas funcionalidades de resposta háptica no teclado, simulando a ação de clicar num teclado (“definições” → “sons e háptica” → “resposta do teclado” → “háptica”), e quando está a tirar fotografias ou a filmar, ao clicar no botão de captura, é perceptível um pequeno toque vibracional na mão, comunicando que está a filmar ou que a fotografia foi tirada. Contudo, não há outro tipo de situação em que o clicar contenha um *feedback* háptico. A realidade é que o clique é a ação mais frequente numa interação tátil, ou seja, caso houvesse um *feedback* háptico sempre que o utilizador clicasse no ecrã, poderia resultar numa sobre-estimulação da pessoa e, conseqüentemente, numa confusão cognitiva da mesma. Assim, neste presente documento sugere-se uma permanência de um *feedback* vibracional nas ações onde este já foi implementado, com uma adição na ativação das aplicações do dispositivo. Este

acrescento carece de eventuais testes de usabilidade para avaliar a sua aplicação, todavia facultar-se a possibilidade do *feedback* vibracional variar consoante o tipo de aplicação, e mediante a secção na qual está inserido, como é o caso do *iphone* que apresenta de forma seccionada todas as aplicações existentes (“social”, “entretenimento”, “utilitários”, entre outras secções), exemplificando, a aplicação da calculadora está inserida na secção “utilitários”, como se pode ver na figura 43. Assim cada secção conteria o seu *feedback* háptico, diferenciando as aplicações umas das outras, não só pela forma, mas também pelo tato. Porém, esta proposta carece de testes de usabilidade para ser aprovada, para além de que o *feedback* para cada secção teria de ser corretamente aplicado para não comprometer a experiência do utilizador e para que continuasse a haver uma interação intuitiva. Para concluir, a nível tátil a ideia seria conter uma vibração única (como acontece quando se clica apenas numa tecla de um teclado com a resposta háptica ativada).



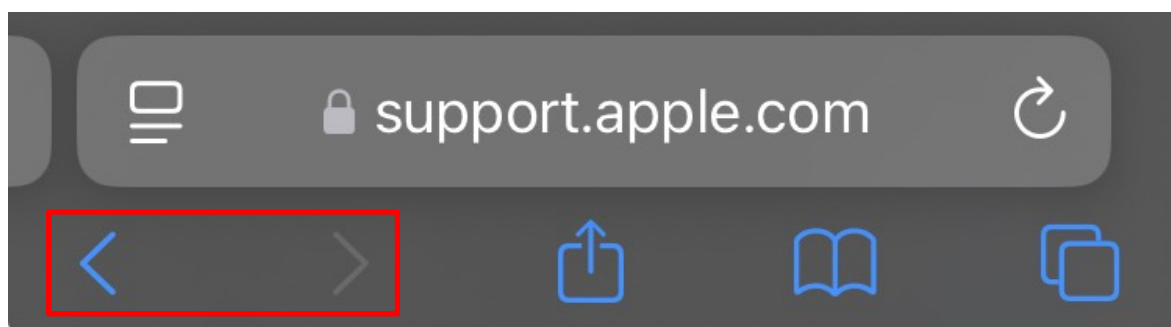
**Figura 43** Aplicações organizadas em Secções: Ex.: *App* calculadora na secção “utilitários” **Fonte** Autoria própria.

Na mesma linha de pensamento, o **duplo clique ou double click**, acompanharia o clicar, no *feedback*, no entanto, em vez de se sentir apenas uma vibração, sentir-se-iam duas vibrações seguidas, cada uma correspondente a cada um dos dois cliques efetuados, evidenciando a ação do duplo clique. Neste caso, o duplo clique é uma das ações menos executadas na interação com interfaces táteis. No caso do *iPhone* (neste caso o *iPhone 12*), um dos dispositivos que foi usado para pequenos testes, as únicas ações que são ativadas com duplo clique são: a ação para ativar o pagamento por *contactless* no telemóvel, que é

ativada clicando duas vezes no botão lateral, mas que não contém qualquer *feedback* quando é usado; a ação de dar *like* na aplicação *instagram*, onde é usado o duplo clique para gostar de alguma publicação e que, neste caso, já advém um *feedback* háptico de vibração única e com pouca intensidade.

O gesto ***deslizar ou swipe/scroll***, pode ocorrer num sentido vertical ou num sentido horizontal. O sentido vertical é o mais comum e o que ocorre mais frequentemente, seja durante a navegação numa aplicação ou no *browser*. É o gesto deslizar para cima e para baixo que nos permite navegar e explorar o conteúdo no dispositivo tátil. No caso do *scroll* horizontal, este já ocorre mais raramente, mas mesmo assim não deixa de ser cada vez mais comum, seja em casos de aplicações ou *website* mais experimentais, que proporcionam também *scroll* horizontal para acompanhar um determinado tema ou conteúdo apresentado ou, por outro lado, para nos permitir voltar a páginas anteriores, tanto em aplicações, como no *browser*. Posto isto, para complementar este gesto, é proposto que estas ações sejam acompanhadas de uma pequena vibração única, que transmita a sensação de batente. Ou seja, no caso do *scroll* vertical, de um *website*, por exemplo, quando se atingisse o fundo da página, assim como acontece um pequeno ressalto da página, graficamente, este seria acompanhado de uma pequena vibração que iria evidenciar o final da página e, por conseguinte, do conteúdo disponibilizado. Assim, no caso de um utilizador não estar a olhar para o dispositivo quando chegasse ao fim da página, sabê-lo-ia na mesma por lhe ser transmitida essa informação hapticamente.

Da mesma forma, no caso do *scroll* horizontal, a sensação tátil seria a mesma, no entanto, esta só iria ser sentida quando o utilizador chegasse à página inicial, onde começou a navegar no *browser* ou na aplicação. Da mesma forma sentiria uma vibração única a informar que já não seria possível retroceder mais. No caso do *browser*, o único *feedback* gráfico que indica o retrocesso até à primeira página é uma pequena seta no canto superior esquerdo ou no canto inferior esquerdo, que muda da cor azul, para a cor cinzenta, como demonstrado na figura 44.



**Figura 44** Ícone que comunica as ações de retroceder a página. **Fonte** Autoria própria.

No caso do gesto **arrastar ou drag**, com base na teoria da háptica cinética de Gaffary e Lécuyer (2018) usada nos projetos ligados aos automóveis, este gesto podia simular-se e transmitir-se tatilmente a sensação de arrastar o objeto gráfico, como se de um objeto físico se tratasse. Assim, enquanto o elemento gráfico (aplicação, *widget*, etc.) estivesse a ser arrastado pelo ecrã tátil, o movimento seria acompanhado por um *feedback* háptico cinético que também acompanhava o movimento, localizando-o. No momento em que fosse posicionado no local pretendido, seria emitida uma vibração única forte, como se tivesse sido pousado. Idealmente, este *feedback* pode ser benéfico, tanto em *tablets*, como em *smartphones* e *smartwatches*, todavia, pelas dimensões dos dois últimos formatos, demonstra-se mais fácil a aplicação em *tablets*, por serem necessários vários atuadores espalhados por toda a área do ecrã. Deste modo, para ser viável e possível a aplicação desse *feedback* háptico no telemóvel, foi pensado que tal tecnologia pode ser aplicada na capa do telemóvel, ao invés de no próprio telemóvel. A aplicação de uma tecnologia háptica no próprio telemóvel foi descartada, devido à necessidade de ser acrescentado *hardware*. Tendo em conta que a tecnologia de *3D touch* foi descontinuada pelo mesmo motivo e pelo facto da maioria dos utilizadores usar capa nos seus telemóveis. Assim, propunha-se o uso de atuadores eletrotáteis, em substituição aos atuadores vibrotáteis. Nam e Shin (2018), desenvolveram uma capa de telemóvel para proporcionar *feedback* háptico aos telemóveis que não suportavam essa capacidade. Enquanto que os autores mencionados desenvolveram uma capa com atuadores vibrotáteis, no caso do presente documento, a proposta assentaria numa capa que contivesse atuadores eletrotáteis Estes iriam proporcionar uma resposta háptica dinâmica, que acompanharia o movimento efetuado pelo dedo da pessoa.

O *feedback* eletrotátil envolve a produção de sensações hápticas através da estimulação elétrica dos nervos da pele, via elétrodos em contacto com a pele. Inicialmente foi desenvolvido para fornecer uma substituição da perceção visual aos cegos, mas mais recentemente, o *feedback* eletrotátil tem vindo a ser reconhecido por alguns investidores como mais simples e mais versátil, do que sistemas de *feedback* eletromecânico, como é o caso dos sistemas vibrotáteis. Em acrescento, são muito menos dispendiosos, não contêm partes mecânicas nem partes móveis e, por fim, pode fornecer um leque de sensações, ao variar o sinal elétrico enviado aos elétrodos, ao invés de apenas variar a intensidade e frequência, mas permanecendo uma vibração, como é o caso dos motores vibrotáteis (Pamungkas & Caesarendra, 2018).

O uso de atuadores eletrotáteis, deve-se à sua espessura ínfima e à flexibilidade que esses elétrodos podem atingir. Ao usar elétrodos no interior da capa, poder-se-ia usufruir da

capacidade de carregamento dos telemóveis, via *wireless*, para emitir energia aos aturadores eletrotáteis, de modo a que estes pudessem emitir o suposto *feedback*. Neste caso o telemóvel serviria de emissor de energia e não de recetor, capacitando que os elétrodos da capa pudessem fornecer o *feedback* háptico pretendido. Esta passagem de energia poderia ser feita por indução eletromagnética, utilizando a bobina que os telemóveis já contém e, aplicando, igualmente, uma bobina de cobre na capa.

Esta proposta, contudo, pode levantar algumas dúvidas em relação à sua utilização, por parte dos utilizadores, devido ao facto de terem de depender de energia da bateria do telemóvel, e providenciá-la à capa. Não obstante, assim como os *smartphones* com háptica incluída, proporcionam ao utilizador escolher a sua ativação ou desativação, neste caso em particular, essa opção de escolha permanecia do lado do utilizador final do dispositivo. No caso do *Applewatch* a proposta é semelhante à do *iPhone*, mas neste caso a aplicação do *feedback* eletrotáteis seria na bracelete, atribuindo sensação tátil em torno de todo o pulso do utilizador, à semelhança do projeto de Duent et al. (2023). Nesta proposta, para além do gesto de Arrastar (*drag*), também se propõe a aplicação da vibração na ação de *scroll*, quando este é feito no ecrã, sendo que já existe esse *feedback*, mas apenas durante a interação com o botão lateral, completando a interação de *scroll*, quando se interage no ecrã.

Seguindo para o gesto de **pressionar**, já foram desenvolvidos pelo menos três métodos de aplicação de *feedback* háptico: o *3D touch*, o *force touch* e o *haptic touch*, mas apenas o *3D touch* e o *haptic touch* foram usados no âmbito dos ecrãs táteis. Atualmente, em ecrãs táteis, apenas prevalece o *haptic touch* como opção ideal, contudo cada um deles tem as suas características e vantagens perante os outros. O *haptic touch* permite que o utilizador tenha opções de funcionalidade quando pressiona o ecrã durante um tempo pré-determinado, enquanto que o *3D touch* permite ao utilizador que obtenhas as mesma opções de funcionalidade, mas com base na pressão aplicada por ele no ecrã e, quanto maior a pressão, mais rápido o utilizador executa a ação que pretende. O *3D touch* apresenta um espectro de forças que podem ser aplicadas entre a ação clicar e a ação de pressionar. No caso do *iPad*, o que permite ao utilizador controlar a grossura e a intensidade de uma linha, quando está a desenhar, por exemplo, é a caneta e não o próprio dispositivo, ou seja, usufruindo das características do descontinuado *3D touch*. No caso do *iPad*, o *3D touch* podia ter uma funcionalidade crucial, por proporcionar que, ao desenhar, o utilizador pudessem controlar a grossura e a intensidade da linha, mediante a pressão que aplicasse no ecrã e, caso não detivesse o *apple pencil*, também o conseguiria executar, fosse com uma caneta compatível de outra marca, com o seu próprio dedo ou

até mesmo com o modelo *apple pencil* com carregamento por USB-c (que não contém esta funcionalidade).

Nos restantes dispositivos (*smartphone* e *smartwatch*), para a ação de **pressionar**, propõe-se um *feedback* háptico igual ao *input* gestual, por outras palavras, sugere-se um *output* igual ao *input*. Tal é possível de ser executado, devido à capacidade do *feedback* eletrotátil de potenciar a criação de sensações de pressão. Deste modo, quando o utilizador pressionar o ecrã (neste caso um gesto de pressão à base de tempo), terá uma sensação de pressão como resposta (com o ajuste da amplitude de corrente) na sua mão.








Os *feedbacks* hápticos para os gestos **ampliar (zoom)** e **rodar (rotate)**, foram idealizados em conjunto, devido à semelhança entre os gestos em questão.

Neste caso, ambos os gestos são os únicos onde é necessário o uso de dois dedos para a sua execução. No caso do *zoom*, também é possível praticá-lo com um dedo em certos casos, no entanto, segundo a gramática gestual, tanto a descrição, como o ícone para ilustrar o gesto, sugerem o uso de dois dedos.








Em ambos os casos, o proposto para o *feedback* háptico, são níveis de vibração de intensidade constante, mas com diferenças entre os dois gestos: no caso do *zoom*, tanto no processo de fotografia, como na gravação de vídeo, à medida que a imagem fotografada ou gravada é ampliada, sugere-se a adição de uma vibração única (como já existe atualmente, mas com maior intensidade e evidência) em determinados níveis de *zoom*. Nos níveis mais usados para fotografia, como aos 24mm, 35mm (comumente usado para *portrait*) e 48mm, a vibração única seria sentida no momento em que se atingissem esses níveis de ampliação. No entanto, para os níveis de 77mm e 120mm, à medida que o *zoom* fosse aumentando, também a frequência da vibração iria aumentar, com a adição de níveis intermédios entre eles, de modo a transmitir mais consciência ao utilizador sobre o *zoom* efetuado, facilitando a manutenção da estabilização da imagem cada vez mais ampliada e que, com uma sensação tátil, poderia auxiliar nessa estabilização. Considera-se viável o auxílio na estabilização, ao disponibilizar uma sensação tátil, devido a uma técnica usada e aconselhada por fotógrafos profissionais, na estabilização da imagem, sem recurso a tripés. Neste tipo de casos, os fotógrafos tendem a encostar-se ou a entrar em contacto com algo (como uma parede, um poste, uma árvore ou até mesmo uma pessoa) para estabilizarem a imagem e conseguirem focar a longas distâncias.

No caso da rotação, é sugerida também uma vibração única, quando é efetuada uma rotação de 45°, ou seja, de 45° em 45°, será emitida uma vibração que avise o utilizador

**Tabela 3** Organização da gramática gestual por ícones, descrição dos gestos e a ação feita pelo utilizador, acompanhado pela existência ou não existência de *feedback* háptico, para cada gesto, com o respetivo contexto onde existe *feedback* háptico. **Fonte** Autoria própria.

Ícones	Gestos	Ação	Háptica	reutilizado/modificado	Tipo de háptica
	Tocar com 1 dedo no ecrã	Clicar Tap	Sim, a teclar	✓	Vibração única por cada tecla clicada (não funciona com o swipe write)
	Colocar um dedo no ecrã e deslizar horizontalmente ou verticalmente	Deslizar Swipe/Scroll	Sim, a editar imagens	✗	Variação quantitativa, vibração por cada número que passa
	Mover um elemento (widget, aplicação, etc)	Arrastar Drag	Sim, ver lista de aplicações abertas	✓	Vibração única
	Mais opções de controlo e função	Pressionar Tap & hold	Sim		vibração única
	Zoom in/out; dar like; ligar ecrã	Duplo clique Double tap	Sim, a dar like insta	✗	Vibração única
	Afastar/aproximar 2 dedos no ecrã	Ampliar Zoom	Sim, na câmara		Variação numérica, vibração por cada número de zoom in/out
	Arrastar 2 dedos perfazendo secção circular no ecrã	Rodar Rotate	Não		Não

**Tabela 4** Gramática háptica proposta e respetiva descrição do *feedback* háptico, dependendo do gesto e do dispositivo usado. **Fonte** Autoria própria.

Ícones	Gestos	Ação	Feedback háptico proposto
	Tocar com 1 dedo no ecrã	Clicar Tap	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Vibração única ao abrir cada aplicação; fazer uma segmentação entre as aplicações (ex.: finanças, saúde, entretenimento, etc) e cada grupo conter uma vibração própria que conseguisse identificar o utilizador o tipo de aplicação que ia usar. No caso do teclado, permanecer com está atualmente, por cada tecla sentir-se também uma vibração única, como se de um teclado físico se tratasse.
	Colocar um dedo no ecrã e deslizar horizontalmente ou verticalmente	Deslizar Swipe/Scroll	<b>Smartphones, tablets:</b> Vibração única, como se estivéssemos a bater em algo que nos impede de prosseguir na direção em estamos a fazer o scroll (seja no horizontal ou vertical). No caso do scroll vertical, quando deslizamos deslizamos para cima, para fazer reload da página, várias pequenas vibrações a acompanhar o movimento do ícone gráfico que aparece. <b>Smartwatches:</b> Vibração dinâmica, através da bracelete, em torno do pulso, acompanhando o movimento do scroll e harmonizando com o efeito gráfico, de afunilamento da lista de aplicações.
	Mover um elemento (widget, aplicação, etc)	Arrastar Drag	<b>Tablets:</b> Uso do 3D touch, permitindo fazer traços com diferentes espessuras e intensidades ao deslizar. <b>Smartphones:</b> Adição de eletrodos na capa, proporcionando uma experiência háptica que, no caso deste gesto seria cinético, dando noção da localização do objeto digital a ser arrastado (ex.: organização das aplicações). <b>Smartwatches:</b> Sensação háptica cinética na bracelete, mas para cima ou para baixo do pulso, dependendo da posição do elemento digital arrastado.
	Mais opções de controlo e função	Pressionar Tap & hold	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Ao pressionar o ecrã, devido ao atuadores eletrotáteis, emitir uma sensação de pressão no dedo do utilizador.
	Zoom in/out; dar like; ligar ecrã	Duplo clique Double tap	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Acompanhar o feedback da ação "clicar", no entanto, sentir-se duas vibrações seguidas de forma a diferenciar o clicar simples.
	Afastar/aproximar 2 dedos no ecrã	Ampliar Zoom	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Sensação vibracional por cada nível de ampliação atingido, quanto maior a ampliação, maior a frequência de vibrações emitidas.
	Arrastar 2 dedos perfazendo secção circular no ecrã	Rodar Rotate	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Sensação vibracional e cada 45° de rotação, com intensidade constante nas vibrações.

que ocorreu uma rotação de 45°. Assim, no caso da edição de uma image, por exemplo, os ângulos de referência seriam aos 45°, aos 90°, aos 135°, aos 180°, aos 225°, aos 270°, aos 315° e aos 360°, perfazendo uma rotação completa do elemento rodado.

Toda a descrição de cada gesto pode ser encontrado de forma esquematizada, nas tabelas 3 e 4 que se seguem. Na tabela 3 há uma organização da gramática gestual e apontamento das ações que já continham *feedback* háptico. Na tabela 4, pode-se encontrar a gramática gestual, acompanhada da gramática háptica proposta.

## 4.6. Guias de utilização da gramática háptica

Como mencionado no subcapítulo referente ao público alvo, primeiramente, a presente dissertação é direcionada a desenvolvedores de sistemas digitais, em particular aos profissionais dedicados ao estudo e desenvolvimento da usabilidade e interação Humano-Computador: os designers. Por esse motivo, durante a execução de qualquer sistema digital é aconselhável, não só, um desenvolvimento simultâneo do sistema a nível informático, ao nível do design, ao nível da usabilidade, mas também deve ter-se em conta a interação e os gestos usados na utilização do sistema. Consequentemente, também devem ser tidos em consideração os *feedbacks* referentes a cada gesto usado, de modo a proporcionar uma experiência mais intuitiva e imersiva. Do ponto de vista do utilizador final, para que este tenha acesso à experiência total da sensação háptica, no caso do *smartphone*, o utilizador carece de uma capa protetora do seu telemóvel, prática que a maioria das pessoas tem. No caso dos *smartwatches*, apenas necessitam da bracelete que já vem com o relógio em si. Por fim, as funcionalidades hápticas precisam de estar ativas nas definições do sistema, em qualquer um dos três dispositivos.

## Conclusão

A Revolução Industrial marcou o início da relevância do design industrial nos modelos de produção em massa, estabelecendo as bases para o surgimento do design de interação (IxD), cunhado por Bill Moggridge em 1984. Este autor destacou que o design não se deveria limitar ao mundo físico, mas também devia expandir-se para o digital. Essa visão resultou na integração de conceitos de design físico no desenvolvimento de soluções digitais, evidenciando a conexão entre esses domínios.

Verificou-se que a relação entre o físico e o digital é clara em interfaces digitais que replicam elementos do mundo real, como botões e teclados, criando familiaridade através do esqueuomorfismo. Contudo, o ambiente digital apresenta uma lacuna significativa no que diz respeito ao contacto tátil, uma experiência sensorial que, de acordo com Ellen Lupton (2018), é essencial para a compreensão espacial e a experiência humana. A autora considera o tato como a primeira linguagem do ser humano, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento cognitivo e emocional desde a infância.

Nesta dissertação investigaram-se e analisaram-se as tecnologias hápticas, que são baseadas na capacidade humana de perceber texturas, pressão e movimento e permitem aproximar as experiências digitais das físicas. Exemplos disso são as vibrações ao pressionar teclas virtuais em smartphones ou feedbacks hápticos em notificações, ambos possibilitados por atuadores vibrotáteis ou eletrotáteis. Estes últimos oferecem maior versatilidade, simulando uma ampla gama de sensações. A investigação confirmou a necessidade de desenvolver interfaces hápticas que possibilitem interações táteis simuladas em diversos contextos digitais.

A dissertação desenvolvida visou responder à questão: **“Em que medida uma gramática háptica pode contribuir para uma interação digital mais próxima da experiência física?”**

Para responder a esta questão, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, complementada pela análise de diversos estudos e projetos relevantes. A revisão bibliográfica permitiu concluir que a háptica possui um grande potencial para aproximar as interações digitais das experiências físicas. Embora se observe um crescimento contínuo nas investigações sobre o tema, trata-se ainda de um campo de estudo recente, com um vasto caminho a percorrer e muitas possibilidades por explorar.

A análise do estado da arte revelou uma predominância de exemplos ligados à componente eletrónica, onde se nota um desenvolvimento mais avançado e uma crescente integração no quotidiano. Destacou-se, igualmente, o setor automóvel, em que o aumento de componentes eletrónicos nos veículos evidencia o potencial da háptica como um meio de comunicação mais instantâneo e seguro, particularmente no contexto da condução.

Adicionalmente, foram examinados dispositivos como *smartphones*, *smartwatches* e *tablets*, com especial foco nos produtos da *Apple*, devido à sua acessibilidade e à ampla implementação de gestos e *feedbacks* hápticos, que os tornam referências significativas na área.

Com base nestas análises, foi criada uma tabela, organizando os gestos existentes, as suas funcionalidades e os *feedbacks* hápticos associados, culminando na proposta exploratória de uma gramática háptica.

A gramática háptica proposta visa uniformizar o *feedback* sentido pelos utilizadores, durante a interação com *smartphones*, *tablet* e *smartwatches*, com o objetivo futuro de se tornarem familiares e compreensíveis pelo ser humano. Para tal, a gramática háptica apresentada foi criada para que seja usada de forma responsável pelos desenvolvedores de sistemas e aplicações digitais e, conseqüentemente usada pelo consumidor final desses dispositivos.

As limitações do presente trabalho estão relacionadas com a falta de acesso a dispositivos hápticos avançados e a limitações na realização de testes empíricos. Assim, é incentivado que em estudos futuros, a gramática proposta, possa ser exposta a testes empíricos e ajustada com base nos resultados desses testes.

Este estudo apresenta uma sugestão fundamentada e exploratória de gramática háptica, baseada em referências teóricas e práticas deste campo de investigação. A implementação desta gramática tem o potencial de aproximar ainda mais a interação digital da experiência física, promovendo interações mais intuitivas e imersivas, com impacto significativo em áreas como entretenimento, educação e simulações de alta precisão.

## Referências bibliográficas

Adam savage's tested (2022). *Hands-on: VR haptics with ultrasonic speakers*. [Vídeo] <https://www.youtube.com/watch?v=CIFUlyfyiYg> (acedido a 20 de setembro de 2024).

Apple Developer (s.d.). *Tracking the force of 3D Touch events*. Disponível em [https://developer.apple.com/documentation/uikit/touches\\_presses\\_and\\_gestures/tracking\\_the\\_force\\_of\\_3d\\_touch\\_events](https://developer.apple.com/documentation/uikit/touches_presses_and_gestures/tracking_the_force_of_3d_touch_events) (acedido a 30 de outubro de 2024).

Apple Explained (2019). *Why Apple killed 3D Touch* [Vídeo] <https://www.youtube.com/watch?v=ECYGi3kEG1Yaaafiabsifjbasçfjbi> (acedido a 27 de outubro de 2024).

Ashtari, H. (2022). *What are haptics? Meaning, types and importance*. Disponível em <https://www.spiceworks.com/tech/tech-general/articles/what-are-haptics/> (acedido a 20 de setembro de 2024).

Asif, A. Boll, S & Heuten, W. (2012) *Right or Left: Tactile display for route guidance of drivers*. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/231556672\\_Right\\_or\\_Left\\_Tactile\\_Display\\_for\\_Route\\_Guidance\\_of\\_Drivers](https://www.researchgate.net/publication/231556672_Right_or_Left_Tactile_Display_for_Route_Guidance_of_Drivers) (acedido a 2 de Janeiro de 2025).

Block, A., Seifi, H., Sitaram, M., Kuchenbecker, K., Christen, S., Kuchenbecker, S., Gassert, R. & Hillige, O. (2021) *HuggieBot: Evolution of an interactive hugging robot with visual and haptic perception*. Disponível em [https://hi.is.mpg.de/research\\_projects/huggiebot-evolution-of-an-interactive-hugging-robot-with-visual-and-haptic-perception](https://hi.is.mpg.de/research_projects/huggiebot-evolution-of-an-interactive-hugging-robot-with-visual-and-haptic-perception) (acedido a 20 de setembro de 2024).

Blumenrath, S. (2020). *The Neuroscience of Touch and Pain*. BrainFacts.org. Disponível em <https://www.brainfacts.org/thinking-sensing-and-behaving/touch/2020/the-neuroscience-of-touch-and-pain-013020> (acedido a 30 de maio de 2023).

Brauner, D. (2022). *Tanvas: feel textures on a touch screen*. Perkins: school for the blind. Disponível em <https://www.perkins.org/resource/tanvas-feel-textures-touch-screen/> (acedido a 30 de maio de 2023).

Brautigam, B. (2017). *The new skeuomorphism is in your voice assistant*. Disponível em <https://uxdesign.cc/the-new-skeuomorphism-is-in-your-voice-assistant-3b14a6553a0e> (acedido a 01 de novembro de 2024).

Calvo, A. (2017). *A body-grounded kinesthetic haptic device for virtual reality*. Disponível em <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/112394> (acedido a 20 de setembro de 2024).

Cooper, A., Reimann, R., Cronin, D. & Nessel, C. (2014) *About Face: The essentials of interaction Design*. Wiley.

Dantas, G. (2021). *Esqueuomorfismo em design e o futuro das interfaces*. Disponível em <https://brasil.uxdesign.cc/esqueuomorfismo-em-design-e-o-futuro-das-interfaces-22b028094a34> (acedido a 01 de novembro de 2024).

D-Box. (s.d.). *Everything you need to know about haptic technology*. D-box: feel it all. <https://www.d-box.com/en/haptic-technology> (acedido a 30 de maio de 2023).

Dix, A. (2022). *Human-computer interaction (HCI)*. Interaction Design Foundation. Disponível em: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/human-computer-interaction> (acedido a 23 de agosto de 2023).

Duente, T. Lucius, M. Schulte, J. & Rohs, M. (2023). *Colorful Electrotactile feedback on the wrist*. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/376185039\\_Colorful\\_Electrotactile\\_Feedback\\_on\\_the\\_Wrist](https://www.researchgate.net/publication/376185039_Colorful_Electrotactile_Feedback_on_the_Wrist) (acedido a 2 de Janeiro de 2025).

Ege, E. Cetin, F. & Basdogan, C. (2011) *Vibrotactile feedback in steering wheels reduces navigation errors during GPS-Guided Car Driving*. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5945510> (acedido a 2 de janeiro de 2025).

Ertan, S. Lee, C. Willets, A. Tan, H. & Pentland, A. (1998) *A wearable haptic navigation guidance system*. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/document/729547> (acedido a 2 de janeiro de 2025).

Forty, A. (2002). *Objects of Desire: design and society since 1750*. Thames & Hudson.

Gaffary, Y. & Lécuyer, A. (2018). *The use of haptic and tactile information in the car to improve driving safety: A review of current technologies*. Disponível em <https://www.frontiersin.org/journals/ict/articles/10.3389/fict.2018.00005/full> (acedido a 23 de agosto de 2024)

Gertler, I., Serhat, G., Ballardini, G. & Kuchenbecker, K. (2021). *Dynamic models and wearable tactile devices for the fingertips*. Disponível em [https://hi.is.mpg.de/research\\_projects/dynamic-models-and-wearable-tactile-devices](https://hi.is.mpg.de/research_projects/dynamic-models-and-wearable-tactile-devices) (acedido a 18 de Janeiro de 2024).

Gibson, J. (s.d.). *The sense considered as perceptual systems*. Disponível em [https://monoskop.org/images/d/df/Gibson\\_James\\_J\\_The\\_Sense\\_Considered\\_as\\_Perceptual\\_Systems\\_1966.pdf](https://monoskop.org/images/d/df/Gibson_James_J_The_Sense_Considered_as_Perceptual_Systems_1966.pdf) (acedido a 27 de outubro de 2024).

Grcic, K. (2013). *On design: Konstantin Grcic*. Disponível em <https://www.nowness.com/series/on-design/on-design-konstantin-grcic> (acedido a 30 de maio de 2023).

Hamdan, A., Wagner, A., Voelker, S., Steimle, J. & Borchers, J. (2019). *Springlets: Expressive, flexible and silent on-skin tactile interfaces*. Disponível em <https://hci.rwth-aachen.de/springlets> (acedido a 10 de setembro de 2024).

Hogema, J. De vries, S. Van Erp, J & Kiefer, R. (2009) *A Tactile seat for direction coding in car driving: filed evaluation*. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/document/5196671> (acedido a 2 de janeiro de 2025).

Hunter, C. (2020). *The history of apple's haptics*. Disponível em <https://medium.com/macoclock/the-history-of-apples-haptics-3fe1ef64b0fc> (acedido a 30 de outubro de 2024).

Hwang, S. Ryu, J. (2010). *The Haptic steering wheel: Vibro-tactile based navigation for the driving environment*. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5470517> (acedido a 2 de Janeiro de 2025).

iClassic (2022). *Dear apple, we miss 3D Touch!* [Vídeo] <https://www.youtube.com/watch?v=2G-MPgRGObM> (acedido a 30 de outubro de 2024).

Indeed Editorial Team (2024). *What are interfaces? (With definition and examples)*. Disponível em <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/what-are-interfaces> (Acedido a 01 de novembro de 2024).

Infopédia. (s.d.). Háptica. Infopédia: dicionários porto editora. Disponível em <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/h%C3%A1ptica> (acedido a 30 de maio de 2023).

Interaction Design Foundation (2020). *Skeuomorphism is dead, long live skeuomorphism*. Disponível em <https://www.interaction-design.org/literature/article/skeuomorphism-is-dead-long-live-skeuomorphism> (acedido a 01 de novembro de 2024).

Iwaka, H. (2008). Haptic interfaces and devices: History of haptic interface. In Grunwald, M. (Ed.), *Human haptic perception: Basics and applications*. Birkhäuser Verlag.

Jie, L. & Yap, K. (2024) *Haptic VR simulation for surgery procedures in medical training*. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/385700950\\_Haptic\\_VR\\_Simulation\\_for\\_Surgery\\_Procedures\\_in\\_Medical\\_Training](https://www.researchgate.net/publication/385700950_Haptic_VR_Simulation_for_Surgery_Procedures_in_Medical_Training) (acedido a 23 de setembro de 2024).

John Ee (2021). *Real benefits of 3D Touch vs haptic touch in iOS 17! Downsides of new iPhones* [Vídeo] <https://www.youtube.com/watch?v=T3JT-SJ6xec> (acedido a 30 de outubro de 2024).

Juiz, C., Gomez, M., Hyuk, J., Kim, J., Zou, D. & Lee, Y. (2012). *Information technology convergence, secure and trust computing and Data Management*. Springer.

King, S. & Chang, K. (2016). *Understanding industrial design: Principles for UX and interaction design*. O'reilly.

Klotz, A. (2024). What is a user interface (UI): Types and examples. Disponível em <https://daphn.com/insights/user-interface-ui> (acedido a 2 de agosto de 2024).

Krauthausen, F., Kuchenbecker, K., Forte, M., Mathusin, H., Brown, J., Machaca, S., Cao, E., Carlson, J., Oquendo, Y., Lee, D., Blinman, T. & Gomez, E. (s.d.) *Minimally Invasive training with multimodal feedback and automatic skill evaluation*. Disponível em [https://hi.is.mpg.de/research\\_projects/minimally-invasive-surgical-training](https://hi.is.mpg.de/research_projects/minimally-invasive-surgical-training) (acedido a 20 de setembro de 2024)

Kuchenbecker, K. (2012). *Technology of touch*. Disponível em [https://www.ted.com/talks/katherine\\_kuchenbecker\\_the\\_technology\\_of\\_touch?subtitle=pt](https://www.ted.com/talks/katherine_kuchenbecker_the_technology_of_touch?subtitle=pt) (acedido a 30 de maio de 2023).

Lupton, E & Lipps, A. (2018). *The senses: Design beyond vision*. Princeton architectural press.

Matsuda, K. (s.d.). *Hyper Reality*. Disponível em <http://hyper-reality.co> (acedido a 27 de outubro de 2024).

Mchugh, M. (2015). *Yes, there is a difference between 3D touch and force touch*. Disponível em <https://www.wired.com/2015/09/what-is-the-difference-between-apple-iphone-3d-touch-and-force-touch/> (acedido 30 de outubro de 2024).

McLaughlin, M., Espanha, J. & Sukhatme, G. (2002). *Touch in virtual environments: haptics and the design of interactive systems*. IMSC Press.

Mohan, M. & Kuchenbecker, K. (2021). *Teleoperating Max's head and arms*. Disponível em [https://hi.is.mpg.de/research\\_projects/teleoperating-maxs-head-and-arms](https://hi.is.mpg.de/research_projects/teleoperating-maxs-head-and-arms) (acedido a 20 de setembro de 2024).

Moggridge, B. (2006). *Designing interaction*. Mit press LTD

Morrison, J. & Fukasawa, N. (2007). *Super normal: Sensations of the ordinary*. Lars muller publishers.

Nam, S., Serhat, G., Vardar, Y., Gueorguiev, D. & Kuchenbecker, K. (2022). *Finger-surface contact mechanics in device moisture conditions*. Disponível em [https://hi.is.mpg.de/research\\_projects/understanding-fingerpad-moisture-and-friction](https://hi.is.mpg.de/research_projects/understanding-fingerpad-moisture-and-friction) (acedido a 20 de setembro de 2024).

Nam, C. & Shin, D. (2018) *Force-Touch measurement methodology based on user experience*. International Journal of Distributed.

Nielsen, J. (2024). *10 Heuristics for user interface design*. Disponível em <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/> (acedido a 01 de novembro de 2024).

Nisar, S., Martinez, M., Endo, T., Matsuno, F. & Okamura, A. (2019). *Effects of Different Hand-Grounding Locations on Haptic Performance with a Wearable Kinesthetic Haptic Device*. Disponível em: <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10100520> (acedido a 16 de janeiro de 2024).

Noman, D. (2013). *Design of everyday things*. Basic Books, 157-161.

Norman, D. (2005). *Human-centered design considered harmful*. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/200086092\\_Human-centered\\_design\\_considered\\_harmful](https://www.researchgate.net/publication/200086092_Human-centered_design_considered_harmful) (acedido a 15 de setembro de 2023).

Norman, D. (1999). *The Invisible Computer*. The MIT Press.

O'Hara, K., Gonzalez, G., Sellen, A. & Penney, G. (2013) *Touchless interaction in surgery*.

Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/](https://www.researchgate.net/publication/262219695_Touchless_Interaction_in_Surgery)

[262219695\\_Touchless\\_Interaction\\_in\\_Surgery](https://www.researchgate.net/publication/262219695_Touchless_Interaction_in_Surgery) (acedido a 2 de setembro de 2024).

O'Maley, M. & Grupta, A. (2008) *Haptic Interface* Disponível em [https://](https://www.researchgate.net/publication/279616558_Haptic_Interfaces)

[www.researchgate.net/publication/279616558\\_Haptic\\_Interfaces](https://www.researchgate.net/publication/279616558_Haptic_Interfaces) (acedido a 2 de janeiro de 2025).

Oxford Dictionary. (s.d.) Haptic. Oxford. Disponível em [https://](https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/haptic?q=haptic)

[www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/haptic?q=haptic](https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/haptic?q=haptic) (acedido a 30 de maio de 2023).

Pamungkas, D & Caesarendra, W. (2018). *Overview Electrotactile feedback for enhancing human computer interface*. Disponível em [https://iopscience.iop.org/article/](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1007/1/012001)

[10.1088/1742-6596/1007/1/012001](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1007/1/012001) (acedido a 2 de janeiro de 2025).

Petermeijer, SM. Abbink, DA. Mulder, m. & Winter, jCF (2015) *The effect of haptic support systems on driver performance: A literature survey*. Disponível em [https://pure.tudelft.nl/ws/](https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/94282296/07113879.pdf)

[portalfiles/portal/94282296/07113879.pdf](https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/94282296/07113879.pdf) (acedido a 2 de janeiro de 2025).

Pitts, M. Burnett, G. Skrypchuk, L. Wellings, T. Attridge, A. & Williams, M. (2012) *Visual-haptic feedback interaction in automotive touchscreens*. Disponível em [https://](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141938211000874)

[www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141938211000874](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141938211000874) (acedido a 2 de janeiro de 2025).

Rawsthorn, A. (2013). *Hello world: Where design meets life*. Penguin books LTD.

Rusakov, A. (2024). *Hybrid intent-based interfaces: Typical interaction an UI patterns*.

Disponível em <https://medium.com/softserve-do/hybrid-intent-based-interfaces-typical-interactions-and-ui-patterns-a8dd103a8c9b> (acedido a 01 de novembro de 2024).

Rutnik, A. (2013). *Champagne for the blind: Paul Bach-y-Rita, neuroscience's forgotten genius*. Disponível em <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/106742> (acedido a 30 de outubro de 2024).

Saffer, D. (2009) *Designing for interaction: Creating innovative applications and devices*.

New Riders.

Salisbury, K., Conti, F. & Barbagli, F. (2004) *Haptic rendering: Introductory concepts*. 24-32.

Serhat, G., Ballardini, G. & Kuchenbecker, K. (s.d.) *Dynamic models and wearable tactile devices for the fingertips*. Disponível em [https://hi.is.mpg.de/research\\_projects/dynamic-models-and-wearable-tactile-devices](https://hi.is.mpg.de/research_projects/dynamic-models-and-wearable-tactile-devices) (acedido a 20 de setembro de 2024).

Sharp, H., Rogers, Y. & Preece, J. (2017). *Interaction Design: Beyond Human-computer interaction*. John Wiley & Sons, Inc.

Shneiderman, B. (s.d.) *The Eight Golden Rules of Interface Design*. Disponível em <https://www.cs.umd.edu/users/ben/goldenrules.html> (acedido a 2 de janeiro de 2025)

Shi, Y. & Shen, G. (2024) *Haptic Sensing and Feedback Techniques toward Virtual Reality*. Disponível em <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10964227/> (acedido a 2 de janeiro de 2025)

Spiers, A., Tashiro, N., Hu, S., Rokmanova, N., Seifi, H., Fazlollahi, F., Javot, B., Gourishetti, R., Young, E., Vardar, Y., Faulkner, R., Ballardini, G., Schulz, A., Park, G., Nguyen, V., Hughes, A., Serhat, G., Li, Z., Kuchenbecker, K., Wu, S. & Knoedler, L. (s.d.) *Haptic Interface Technology*. Disponível em [https://hi.is.mpg.de/research\\_fields/haptic-interface-technology](https://hi.is.mpg.de/research_fields/haptic-interface-technology) (acedido a 04 de abril de 2024)

Sullivan, L. (1896). *The tall office building artistically considered*. *Lippincott's*, 403-409.

Sutherland, I. (1965). *The ultimate display*.








Tan, D. & Patel, S. (s.d.). *AirWave: Non-contact haptic feedback Using air vortex rings*. Disponível em <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/airwave-non-contact-haptic-feedback-using-air-vortex-rings/> (acedido a 20 de setembro 2024).

Tang, H. & Beebe, D. (2006) *An oral tactile interface for blind navigation*. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/document/1605271> (acedido a 04 de julho de 2024).

Texas A&M university (2021, October 21). *Better touch screens could let you feel stuff before you buy it*. *Futurity*. Disponível em <https://www.futurity.org/touch-screens-mimic-feeling-objects-2645982-2/> (acedido a 30 de maio de 2023).

The Royal Institution (2018). *Haptic Technology Demonstration - with Danielle George* [Vídeo] <https://youtu.be/uPnHzQ7qJ2Y?si=UbEe3UZ7E9COGrkz> (acedido a 27 de outubro de 2024).

Tung, F. & Deng, Y. (2003). *A Study on Integrating Interaction Design into Industrial Design Processes*. Disponível em <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?>

Ícones	Gestos	Ação	Feedback háptico proposto
	Tocar com 1 dedo no ecrã	Clicar Tap	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Vibração única ao abrir cada aplicação; fazer uma segmentação entre as aplicações (ex: finanças, saúde, entretenimento, etc) e cada grupo conter uma vibração própria que conseguisse identificar o utilizador o tipo de aplicação que ia usar. No caso do teclado, permanecer com está atualmente, por cada tecla sentir-se também uma vibração única, como se de um teclado físico se tratasse.
	Colocar um dedo no ecrã e deslizar horizontalmente ou verticalmente	Deslizar Swipe/Scroll	<b>Smartphones, tablets:</b> Vibração única, como se estivéssemos a bater em algo que nos impede de prosseguir na direção em estamos a fazer o scroll (seja no horizontal ou vertical). No caso do scroll vertical, quando deslizamos deslizamos para cima, para fazer rebolar a página, várias pequenas vibrações a acompanhar o movimento do ícone gráfico que aparece. <b>Smartwatches:</b> Vibração dinâmica, através da bracelete, em torno do pulso, acompanhando o movimento do scroll e harmonizando com o efeito gráfico, de atenuamento da lista de aplicações.
	Mover um elemento (widget, aplicação, etc	Arrastar Drag	<b>Tablets:</b> Uso do 3D touch, permitindo fazer traços com diferentes espessuras e intensidades ao desenhar. <b>Smartphones:</b> Adição de eletrodos na capa, proporcionando uma experiência háptica que, no caso deste gesto seria cinético, dando noção da localização do objeto digital a ser arrastado (ex.: organização das aplicações) <b>Smartwatches:</b> Sensação háptica cinética na bracelete, mas para cima ou para baixo do pulso, dependendo da posição do elemento digital arrastado.
	Mais opções de controlo e função	Pressionar Tap & hold	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Ao pressionar o ecrã, devido ao atuadores eletrotáteis, emitir uma sensação de pressão no dedo do utilizador.
	Zoom in/out; dar like; ligar ecrã	Duplo clique Double tap	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Acompanhar o feedback da ação "clique", no entanto, sentir-se duas vibrações seguidas de forma a diferenciar do clique simples.
	Afastar/aproximar 2 dedos no ecrã	Ampliar Zoom	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Sensação vibracional por cada nível de ampliação atingido, quanto maior a ampliação, maior a frequência de vibrações emitidas.
	Arrastar 2 dedos perfazendo secção circular no ecrã	Rodar Rotate	<b>Smartphones, tablets, smartwatches:</b> Sensação vibracional a cada 45° de rotação, com intensidade constante nas vibrações.

[repid=rep1&type=pdf&doi=84544298a6283e229bd4b7de21d89819c47f163e](#) (acedido a 30 de maio de 2023).

Tyrangiel, J. (2015). *How Apple built 3D Touch: The grinding work behind a single iPhone feature*. Disponível em <https://www.bloomberg.com/features/2015-how-apple-built-3d-touch-iphone-6s/?terminal=1> (acedido a 30 de outubro de 2024).

Van Erp, J. & Van Veen, H. (2001). *Vibro-tactile information presentation in automobiles*.

Vardar, Y., Li, Z., Wu, S., Knoedel, L. & Kuchenbecker, K. (2021). *Understanding the perception of electrovibration*. Disponível em [https://hi.is.mpg.de/research\\_projects/understanding-the-physics-behind-electroadhesion](https://hi.is.mpg.de/research_projects/understanding-the-physics-behind-electroadhesion) (acedido a 18 de Janeiro de 2024).

Winograd, T. (1996). *Bringing Design to Software*. Disponível em <https://hci.stanford.edu/publications/bds/2-liddle.html> (acedido a 15 de setembro de 2023).

## Anexos