

Biometria Comportamental em Dispositivos
Móveis
Rodrigo Monteiro da Rocha

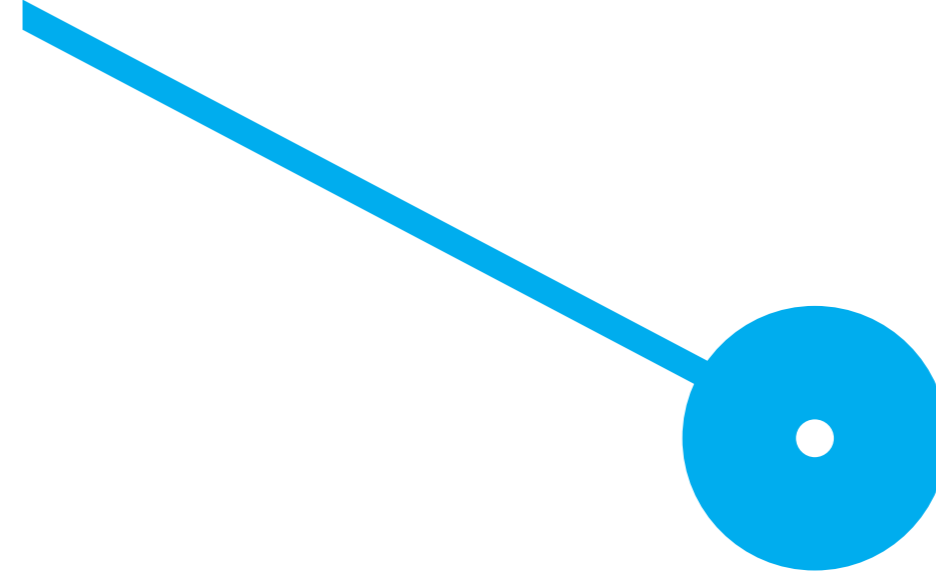
11/2019

Rodrigo Monteiro da Rocha. Biometria Comportamental em Dispositivos Móveis

Biometria Comportamental em Dispositivos Móveis

Rodrigo Monteiro da Rocha

11/2019



Biometria Comportamental em Dispositivos Móveis

RODRIGO ROCHA

Mestrado em Engenharia Informática

Escola Superior de Tecnologia e Gestão / Politécnico do Porto

email: 8140411@estg.ipp.pt

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Davide Carneiro, pela sua compreensão, disponibilidade, aconselhamento contínuo e, principalmente, pela elevada motivação que sempre me transmitiu, ao longo de todo o período de execução desta dissertação. Gostaria de agradecer à Ana Pinheiro, ao Paulo Novais, ao César Analide e ao Ricardo Costa pela colaboração e ajuda no desenvolvimento desta dissertação e nos artigos resultantes da mesma.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer à família Loqr por ter criado condições para que esta dissertação fosse concluída em conjunto com a minha ingressão no mercado trabalho. Queria também agradecer a toda a gente que participou e contribuiu para a minha amostra de dados.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de expressar a minha gratidão a toda a minha família e amigos pelo apoio e a motivação certa, sempre que necessitei. O meu muito obrigado, estarei eternamente grato.

Resumo

Com o avanço da tecnologia, os dispositivos móveis de ecrã tátil tornaram-se uma das principais interfaces de interação entre humanos e tecnologia. A sua utilização abrange todos os estratos da sociedade, o que faz com que os ecrãs táteis sejam um instrumento relevante para estudar os mecanismos que influenciam a nossa forma de interagir com dispositivos móveis. Esta interação associada à utilização massiva destes dispositivos, permite a recolha de uma grande variedade de dados de interação dos utilizadores. Esta dissertação apresenta uma abordagem para formalizar padrões de interação baseados em dados biométricos comportamentais, que são recolhidos através dos ecrãs táteis, e permitem estudar diferentes fatores humanos. São apresentados dois casos de estudo em que esta abordagem foi aplicada, demonstrando a sua elevada versatilidade. O primeiro caso de estudo está relacionado com a estimulação da memória e como a idade e género influenciam a forma de interagir com dispositivos móveis. Este estudo é relevante na medida em que pode permitir o desenvolvimento de aplicações móveis que se adaptam aos utilizadores e às suas características. O segundo caso de estudo está relacionado com a autenticação contínua, sendo propostas duas abordagens diferentes para criar um sistema de autenticação que valida a identidade do utilizador. Este sistema irá permitir aumentar a segurança e a eficácia da autenticação, através da garantia de que as aplicações do *smartphone* só são acedidas por quem tem autorização para tal.

Palavras-chave: Dispositivos Móveis, Estimulação da memória, Autenticação Contínua, Ecrã Tátil, Segurança, Dados Biométricos.

Abstract

With the advancement of technology, the touch screens of mobile devices have become one of the main interfaces for human-technology interaction. Its use covers all strata of society, making touch screens an important tool for studying the mechanisms that influence the way we interact with mobile devices. This interaction, associated with the massive use of these devices, allows the collection of a wide variety of biometric data. This dissertation presents a strategy to formalize patterns of interaction based on biometric data, which are collected through touch screens. Two case studies in which this approach is used are presented, demonstrating its high versatility. The first case study is related to memory stimulation and how age and gender influence the way we interact with mobile devices. This study is relevant as the development of mobile applications that adapt to users and their characteristics is becoming increasingly important. The second case study is related to continuous authentication, and two different approaches are proposed to create an authentication system that validates the identity of the user. This will increase the security and effectiveness of authentication by ensuring that mobile phone applications are only accessed by those authorized to do so.

Keywords: Mobile Devices, Memory Stimulation, Continuous Authentication, Touch Screen, Security, Biometric Data.

Conteúdo

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Conteúdo	v
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	viii
Lista de Acrónimos	ix
1 Introdução	1
1.1 Inteligência Ambiente	2
1.2 Computação Consciente do Contexto	5
1.3 Interação Homem-Máquina	7
1.4 Objetivos	8
1.5 Trabalho anterior	9
1.6 Casos de estudo	11
2 Estado da arte	12
3 Análise crítica	18
4 Proposta de solução	22
4.1 Arquitetura	22
4.2 Aquisição de dados e Geração de Variáveis	23
4.3 Influência da idade e género na interação com dispositivos móveis	26
4.3.1 Servidor	27
4.3.2 Aplicação móvel	28
4.3.3 Aplicação Web	29
4.3.4 Psicólogo	29
4.3.5 Paciente	31
4.4 Autenticação contínua em dispositivos móveis	33
4.4.1 Abordagem Estatística	34
4.4.1.1 Aplicação móvel	35
4.4.1.2 Servidor	37
4.4.2 Abordagem com aprendizagem	40

4.4.2.1	Aplicação móvel	41
4.4.2.2	Servidor	41
5	Validação	45
5.1	Influência da idade e género na interação com dispositivos móveis	45
5.1.1	Descrição	45
5.1.2	Resultados	46
5.2	Autenticação contínua em dispositivos móveis	54
5.2.1	Abordagem Estatística	54
5.2.1.1	Resultados	57
5.2.2	Abordagem com aprendizagem	59
5.2.2.1	Resultados	61
6	Conclusões	67
6.1	Resultados Científicos	69
6.2	Trabalho Futuro	72
7	Bibliografia	73

Lista de Figuras

1	As três camadas da Inteligência Ambiente.	3
2	Objetivos a alcançar.	8
3	Exemplo de cenários.	10
4	Exemplo de tarefas de recordação.	10
5	(a) uma imagem capturada, (b) resultado depois de remover o fundo, (c) conversão em binário e criação do molde, e (d) detecção do contorno (Fonte: [20]).	13
6	Autenticação com técnica de padrão 3D (Fonte: [29]).	14
7	Um exemplo de três tipos de estado emocional em IAPS (Fonte: [11]).	15
8	Arquitetura genérica.	23
9	Intensidade de um toque ao longo do tempo (linha vermelha) e função quadrática que modela este toque (linha preta).	24
10	Função quadrática de intensidade de toque ao longo do tempo para 4 utilizadores.	25
11	Caso de estudo 1.	27
12	Parte da interface gráfica que o psicólogo utiliza para criar uma intervenção.	30
13	Duas imagens de uma divisão de uma determinada intervenção. A imagem à esquerda foi personalizada, foi sobreposta uma foto (a moldura ESTG). A imagem à direita mostra uma passagem para outra divisão (jardim).	31
14	Caso de estudo 2, abordagem estatística.	34
15	Aplicação móvel, última interação.	36
16	Aplicação móvel, perfil.	36
17	Classificação do utilizador.	38
18	Caso de estudo 2, abordagem com aprendizagem.	40
19	Documentação da rota para adicionar dados dos toques.	43
20	Documentação da rota para atualizar modelo.	44
21	Documentação da rota para validar utilizador.	44
22	Histograma de idades, caso de estudo 1.	45
23	Duração toque ($p\text{-value} = 1.933^{-9}$) por género.	47
24	Diferenças de tempo entre decisões ($p\text{-value} < 2.2^{-16}$) por género.	47
25	<i>BoxPlot</i> de duração do toque por género.	47
26	Duração toque ($p\text{-value} = 2.909^{-8}$) por grupos de idade.	48
27	Diferenças de tempo entre decisões ($p\text{-value} < 0.025$) por grupos de idade.	49
28	<i>BoxPlot</i> de duração do toque por grupos de idade.	49

29	Diferenças no valor médio de intensidade de toque ($p\text{-value} = 2.909^{-8}$) por grupos de idade.	50
30	<i>BoxPlot</i> da intensidade de toque por grupos de idade.	51
31	Diferenças no valor médio da área de toque ($p\text{-value} = 2.643^{-5}$) por grupos de idade.	51
32	<i>BoxPlot</i> da área de toque por grupos de idade.	51
33	Taxa de verdadeiros positivos e taxa de falsos positivos (AUC = 0,82).	53
34	Evolução de erro durante o treino.	53
35	Distribuição do valor médio da duração do toque, para os 30 utilizadores.	55
36	Distribuição do valor médio da intensidade do toque, para os 30 utilizadores.	55
37	(a) Representação gráfica dos valores médios de cada característica de interação, para três utilizadores. (b) Representação gráfica do perfil de interação do utilizador 1, comparando com duas instâncias de classificação, uma do mesmo utilizador e outra de um utilizador diferente.	57
38	Processo que implementa o segundo caso de estudo.	60
39	<i>Confusion matrix</i> dos 30 modelos.	62
40	Curva Roc dos 30 modelos.	63
41	Escala de importância das variáveis para os 30 modelos (parte 1).	65
42	Escala de importância das variáveis para os 30 modelos (parte 2).	66

Lista de Tabelas

1	Variáveis processadas no servidor, caso de estudo 2.	37
2	Resumo de estatísticas da duração de toque (em milissegundos).	48
3	Resumo de estatísticas das diferenças de tempo entre decisões (segundos).	48
4	<i>Confusion Matrix</i> do modelo treinado.	54
5	<i>Confusion matrix</i> de classificação de interações.	58
6	Resultados dos 30 modelos, acertos, <i>precision</i> , <i>recall</i> e <i>AUC</i>	64

Lista de Acrónimos

API *Application Programming Interface.*

AUC *Area Under The Curve.*

CCC *Computação Consciente do Contexto.*

DCL *Declínio cognitivo leve.*

IAPS *International Affective Picture System.*

IHM *Interação Homem Máquina.*

IQR *Interquartile range.*

ISTAG *Information Society Technologies Advisory Group.*

NoSQL *Not Only Structured Query Languag.*

PIN *Personal Identification Number.*

REST *Representational State Transfer .*

RGPD *Regulamento Geral de Proteção de Dados.*

ROC *Receiver Operating Characteristics.*

TIC *Tecnologias da informação e comunicação.*

1 Introdução

Nos últimos anos, o desenvolvimento e uso de dispositivos móveis tais como *smartphones* e *tablets* cresceu significativamente, tornando os ecrãs táteis uma das principais interfaces na interação entre humanos e a tecnologia. Os dispositivos móveis são usados para virtualmente todas as atividades das nossas vidas, desde comunicação, compras on-line, *e-banking*, entre outros. Consequentemente, estes dispositivos contribuem significativamente para tornar as nossas vidas mais digitais, com todas as vantagens e os riscos que isso engloba. Pessoas de todos os estratos da sociedade utilizam os ecrãs táteis, o que faz com que este seja um instrumento relevante para estudar os mecanismos que influenciam a nossa forma de interagir com dispositivos móveis.

Desta forma, o ecrã tátil surge como uma das interfaces mais utilizadas para a interação homem-máquina e o gesto do tocar, como a forma mais comum de interação. Em comparação com outras formas de interação, tais como o rato e o teclado, a interação com o ecrã tátil é muito mais intuitiva, o que em parte explica a aceitação e a utilização de dispositivos táteis por distintas faixas etárias da sociedade, em diferentes contextos socioeconómicos. Estes meios de interação são interessantes no sentido em que permitem recolher informações que podem caracterizar o utilizador do dispositivo ou o seu estado.

O princípio subjacente a esta assumpção baseia-se na observação de que, nas nossas interações interpessoais, aspetos como as nossas emoções, o nosso nível de stress ou fadiga, o contexto ou o ambiente influenciam a forma como interagimos [31]. Isto é, enquanto humanos interagimos de forma diferente consoante estes fatores. E, também enquanto humanos, somos capazes de perceber estes fatores nos outros. Isto é, somos capazes de perceber emoções, estados e outros elementos quando interagimos com outras pessoas. Assim, nesta dissertação explora-se a possibilidade de o mesmo acontecer na interação com dispositivos tecnológicos, e de sermos capazes de definir e adquirir essa informação implícita para esta ser utilizada para diferentes fins.

Esta dissertação foca-se na análise da biometria comportamental em dispositivos de ecrã tátil, baseada nos padrões de interação, estando estes relacionados com as ações, comportamentos, hábitos, etc. dos utilizadores. O ponto central é o desenvolvimento de uma abordagem não-invasiva e não-intrusiva que permitirá recorrer à interação homem-máquina para obter informação do utilizador, de forma implícita. Por ser não-intrusiva e não necessitar de qualquer hardware adicional, esta abordagem poderá conduzir e contribuir para um crescimento significativo do estudo desta área e possibilitar a sua aplicação em diferentes contextos, como a saúde ou a segurança na validação de utilizadores.

Especificamente, neste trabalho propõe-se uma abordagem para recolher e processar dados re-

levantes sobre os padrões de interação dos utilizadores com estes dispositivos, para que os mesmos possam posteriormente permitir o desenvolvimento de aplicações mais conscientes dos seus utilizadores. Numa primeira fase, é estudada uma vertente relacionada com a saúde, apresentado um modo de formalizar padrões de interação, influenciados por diferentes aspetos tais como idade e género. Este caso de estudo em particular foi desenvolvido numa cooperação com a Escola de Psicologia da Universidade do Minho, tendo sido concretizado através de uma aplicação móvel para a estimulação e preservação da memória, acompanhada de um software para gestão da aplicação pelo psicólogo. Numa segunda fase, é estudada uma vertente mais relacionada com a segurança nos dispositivos móveis de ecrã tátil, em que é proposto um novo mecanismo de autenticação contínua, baseado em biometria comportamental. Este novo mecanismo monitoriza o comportamento da interação do utilizador, de forma a que o mesmo seja classificado e a sua identidade validada.

Estes dois casos de estudo, em áreas com objetivos e restrições tão diferentes, pretendem mostrar a versatilidade e aplicabilidade da abordagem proposta e como esta pode ser aplicada para resolver diferentes desafios atuais.

Nas sub-seções que se seguem, e de forma a introduzir o tema, são abordadas temáticas de realce para o estudo em causa. Em primeiro lugar, são abordadas as características e possibilidades dos chamados ambientes inteligentes através da temática "Inteligência Ambiente". Em segundo lugar, é realçada a importância dos dispositivos estarem cientes do contexto que os rodeia, através da temática "Computação Consciente do Contexto". Seguidamente, é explorada a interação entre humanos e máquinas, designada por "Interação Homem-Máquina". Por último, são apresentados os objetivos desta dissertação e o trabalho já desenvolvido anteriormente em que esta dissertação se suporta, assim como os casos de estudo que foram aplicados para permitir validar a abordagem proposta e respetivos resultados alcançados.

1.1 Inteligência Ambiente

Inteligência Ambiente, conforme definido pelo Grupo Consultivo Externo para o programa de Tecnologias da Sociedade da Informação (ISTAG), é um paradigma com base em três tecnologias-chave [5, 14]: Computação ubíqua [28], Comunicações ubíquas [52] e Interfaces de utilizador inteligentes [45] (Figura 1). Este conceito mudou a forma como vemos a tecnologia. Até há pouco tempo, os dispositivos computacionais eram utilizados como se se tratassem de uma qualquer outra ferramenta tradicional, apenas fazendo as tarefas para as quais são programados. Pouco os distinguia de um martelo ou qualquer outra ferramenta, exceto pelo facto de que os dispositivos móveis podiam ser programados para executar tarefas diferentes, mudando assim a sua funcionalidade.

O advento da Inteligência Ambiente traz consigo a promessa de ferramentas ou dispositivos que fazem o que queremos, quando queremos, como queremos, sem termos que o ordenar explicitamente. Ou seja, antecipam as necessidades e os desejos do utilizador, e desencadeiam de forma autónoma ações nesse sentido. Num Ambiente Inteligente, dispositivos móveis como *smartphones* ou *tablets* continuam a ser ferramentas mas que agora permitem a um sistema ou ambiente aprender os nossos gostos, preferências, hábitos, para que possam simplificar ou melhorar as nossas vidas, conseguindo estar presentes sem que nós sequer notemos.

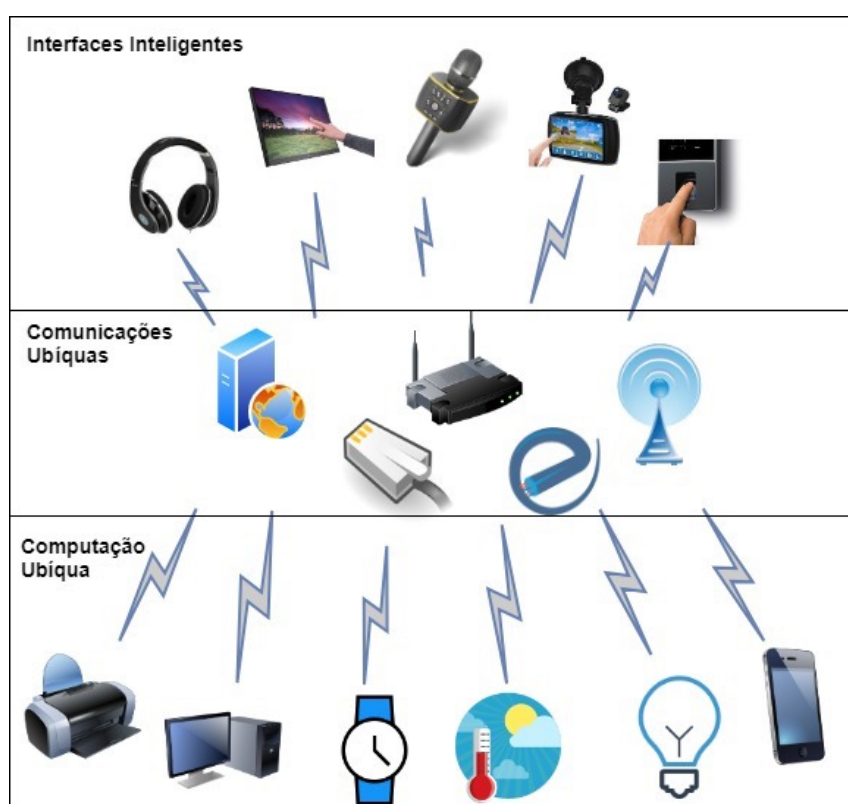


Figura 1: As três camadas da Inteligência Ambiente.

Fisicamente, um ambiente inteligente é composto pelo próprio ambiente (que pode ser uma casa, um quarto, um carro, uma escola, um escritório, etc.) e os dispositivos que nele existem. Estes dispositivos são bastante comuns nos dias de hoje, como é o caso de um *smartphone*, sistemas de ar condicionado, um *laptop* ou *desktop*, servidores, micro-ondas, entre outros. O que esses dispositivos têm de novo é que estão conectados através de uma rede de controlo para que possam ser controlados ou controlar outros dispositivos a partir de qualquer ponto da rede. Mas isso, por si só, é apenas o que hoje em dia se chama domótica, ou seja, é o controlo automatizado de equipamentos eletrónicos com o objetivo de proporcionar segurança e conforto nas casas. Na

domótica, os dispositivos são conectados para que possamos controlá-los de longe, mas a Inteligência Ambiente não se resume apenas a isto, vai mais longe que isso, como será demonstrado a seguir.

O que faz com que a Inteligência Ambiente seja mais do que apenas um grupo de componentes ligados entre si, é, primeiramente, o facto já mencionado que os componentes estão o mais ocultos possível. O ambiente inteligente ideal deve parecer um ambiente perfeitamente normal, sendo que, a incorporação de seus componentes em dispositivos comuns, apenas deve ser perceptível pelas suas ações. Este fator fundamental da Inteligência Ambiente designa-se por Computação Ubíqua, isto é, tentar integrar o poder computacional em pequenos dispositivos, para que não seja detetada a sua presença, mas, faça o seu trabalho.

O objetivo da Inteligência Ambiente é garantir o bem-estar e a segurança das pessoas, sendo que, a fim de atingir a sua finalidade, é essencial que os dispositivos inteligentes que a incorporam conheçam as necessidades e as preferências dos seus utilizados. Preferências e necessidades podem ser definidas manualmente, ao configurar o sistema, e para além disso, a rotina e as preferências podem ser aprendidas, através da forma como a pessoa faz o seu dia-a-dia [4]. Esta é a característica da Inteligência Ambiente que aprende apenas através da interação com o utilizador, e estuda continuamente o comportamento do mesmo sem que ele sequer perceba. Se o sistema aprende os hábitos da pessoa que interage com ele, isso significa que todos os ambientes serão únicos, dependendo das pessoas que interagem com o sistema. Esta é outra característica importante da Inteligência Ambiente. Além disso, também podemos dizer que o mesmo é adaptativo, uma vez que, mesmo depois de aprender os nossos hábitos, se estes mudarem, o sistema irá se adaptar e aprender estes novos hábitos também [7]. Cada vez mais a Inteligência Ambiente está presente nos dispositivos móveis, sendo os seus meios de interação interessantes no sentido de que eles permitem recolher informações que podem caracterizar o utilizador do dispositivo, tal como nas nossas interações interpessoais, aspetos como as nossas emoções, o nosso ambiente, e muitas outras. A utilização destes dados pode assim dar a informação necessária para o ambiente se comportar de forma inteligente, adaptando-se às necessidades e expectativas dos utilizadores [31].

Em poucas palavras, a Inteligência Ambiente pode ser definida como “um ambiente digital que proativamente, mas de forma sensata, apoia as pessoas nas suas vidas diárias” [6], ao fazer uso de vários campos da Ciência da Computação, sendo o mais notórios: Inteligência Artificial, Interação Homem-Máquina, Sensores, Redes e Computação Ubíqua.

1.2 Computação Consciente do Contexto

Em Computação Consciente do Contexto (CCC), como o próprio nome indica, os dispositivos estão cientes do seu contexto, ou seja, são capazes de ler e interpretar os elementos ao seu redor. Contexto pode ser definido a partir de vários pontos de vista, mas em última análise, é a informação que pode ser usada para descrever algum objeto. Em computação, o contexto pode ser descrito pelo *uptime*, largura de banda, conectividade de rede, os recursos disponíveis, entre outros. Se pensarmos em nós mesmos, o nosso contexto pode ser descrito pela nossa localização, a ação que estamos a fazer, as pessoas com quem estamos a interagir ou mesmo o nosso estatuto social. Nas nossas casas, o contexto pode ser descrito por fatores como parâmetros ambientais, aparelhos utilizados ou nível de ruído. O contexto histórico é outro que não é muito usado por aplicações existentes mas que pode ser importante: um objeto pode ser descrito pelas mudanças que ocorreram no seu contexto ao longo do tempo e pela informação que poderá até mesmo ser usada para prever a ocorrência de eventos que tendem a repetir-se ao longo do tempo.

Esta informação sobre o contexto pode ser usada para desenvolver as assim denominadas aplicações sensíveis ao contexto, como por exemplo, o dispositivo móvel estar a par do contexto normal de interação do seu utilizador, a fim de detetar mudanças na mesma que possam corresponder ao uso indevido do dispositivo ou evidenciar estados de saúde. Estas aplicações usam as informações sobre o contexto para reagirem. Estas podem reagir a mudanças no contexto ou podem fornecer a informação para outras aplicações fazerem uso dela. A informação utilizada depende do tipo e objetivo das aplicações. Por exemplo, numa situação em que o utilizador esteja a necessitar de ajuda, dependendo do contexto e da leitura do mesmo por parte do dispositivo, após processamento da informação o serviço poderá dar uma ordem ao dispositivo para reagir, ajudando o utilizador. Também é possível pensar em aplicações que se adaptam automaticamente de acordo com as informações sobre o contexto social da pessoa como a idade ou o género.

No entanto, para adquirir tais informações sobre contexto, é necessário estabelecer uma ponte entre a informação implícita e a realidade. Visto que a informação implícita está fora da realidade computacional é necessário transformá-la em informação que pode ser compreendida e utilizada pelo computador. Esta ponte depende mais uma vez do tipo de contexto e de outros componentes, como o sensor. Um toque num ecrã tátil de um *smartphone* nos dias de hoje produz vários eventos de interação durante toda a duração do toque. Há um primeiro evento quando o dedo toca o ecrã, que é então seguido por vários outros que são produzidos enquanto o dedo ainda está em contacto com o ecrã. Estes eventos fornecem informações sobre parâmetros que identificam e caracterizam o utilizador, como por exemplo o seu estado de saúde. Assim, o ecrã tátil passa a ser, para além de uma ferramenta de interação, um sensor do estado do utilizador.

Informações sobre o contexto do utilizador podem ser recuperadas a partir de perfis que podem armazenar informações importantes, incluindo até as suas preferências. No ambiente de trabalho, informações sobre o contexto podem ser recuperadas por exemplo, de uma luva que interpreta os movimentos que o trabalhador está a fazer [40] e encaminha essa informação para o sistema, que então decide como agir.

Não é difícil, portanto, ver que o contexto é um conceito muito importante. Através do recurso às informações sobre o contexto nos dispositivos móveis, é possível criar serviços que podem ser adaptados para a pessoa que se encontra num determinado ambiente. Mais importante do que isso, através das informações sobre o contexto do utilizador e o seu ambiente circundante, os dispositivos móveis conseguem fornecer informação ao sistema, permitindo que este tenha conhecimento suficiente para analisar e atuar em áreas como a saúde e a segurança .

1.3 Interação Homem-Máquina

Interação Homem-Máquina (IHM) é o estudo de como os seres humanos interagem com máquinas, computadores, dispositivos móveis, entre outros. Quando se fala em IHM é importante referir os principais conceitos envolventes, a funcionalidade e a usabilidade [49].

A funcionalidade de um sistema é definida pelo conjunto de ações ou serviços que este fornece aos utilizadores. No entanto, a sua funcionalidade só é visível quando é possível ser utilizada com eficiência pelo utilizador.

A usabilidade de um sistema com uma certa funcionalidade é a capacidade do sistema poder ser utilizado de forma eficiente e adequado para atingir determinados objetivos para os utilizadores.

Estes objetivos só são alcançados quando há um equilíbrio adequado entre a funcionalidade e a usabilidade, o sistema deve entender as instruções fornecidas pelos seres humanos e deve ser capaz de produzir resultados de acordo.

O estudo da IHM preocupa-se em encontrar metodologias e processos para criar a melhor interface possível, dentro de determinadas restrições, como a capacidade de manter a aprendizagem e a eficiência. Tem ainda como objetivo desenvolver algoritmos e *software* eficientes, que possam ser implementados pelas interfaces, bem como a procura por técnicas que sejam capazes de avaliar e comparar interfaces. Por último, dedica-se ainda ao desenvolvimento de novas interfaces, técnicas de interação, modelos e teorias descritivas de interação, procurando sempre projetar sistemas que minimizem a barreira entre o modelo cognitivo humano e a tecnologia, ou seja, como o computador interpreta o que os humanos fazem [49].

Normalmente, os humanos interagem com os dispositivos móveis através do ecrã tátil. Fora da interação com os dispositivos móveis, estamos acostumados a interagir com o mundo usando as nossas mãos, corpo e voz. Assim sendo, interfaces baseadas na interação com as mãos são uma forma natural e intuitiva de interagir com os dispositivos móveis [22]. Para que esta interação entre homem e máquina cumpra a eficiência e a usabilidade, a interface deve ser projetada de acordo com os recursos de processamento e de informações do utilizador, o sistema deve recordar as ações e as consequências resultantes das mesmas, tomar decisões e agir em conformidade durante todo processo de interação [43].

1.4 Objetivos

Este trabalho tem como principais objetivos desenvolver um sistema que facilite a recolha, armazenamento e análise de dados de biometria comportamental, bem como avaliar a potencialidade do uso destes dados para estudar fatores humanos de forma sistemática e cientificamente válida.

Outro dos grandes objetivos passa pelo estudo da influência de fatores diferenciadores na interação com dispositivos móveis, a avaliação do potencial da utilização da biometria comportamental no dia-a-dia dos utilizadores e a verificação da existência de eventuais padrões de interação em diferentes utilizadores, mas também em diferentes faixas etárias.

Pretende-se também proceder ao desenvolvimento de uma abordagem que seja de fácil integração com aplicações externas e que possibilite a sua utilização em diferentes contextos relacionados com a biometria comportamental.

Com este trabalho pretende-se contribuir para o aumento de conhecimento da biometria comportamental em dispositivos móveis, sendo que o principal resultado do estudo passa por transmitir novos conhecimentos na área em causa. Paralelamente, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de serviços que façam uso dos resultados obtidos.

Como validação prática destes objetivos, são apresentados dois casos de estudo em domínios concretos, que permitirão validar as abordagens propostas bem como os resultados alcançados.

A Figura 2 sintetiza os objetivos que guiaram a implementação deste trabalho.

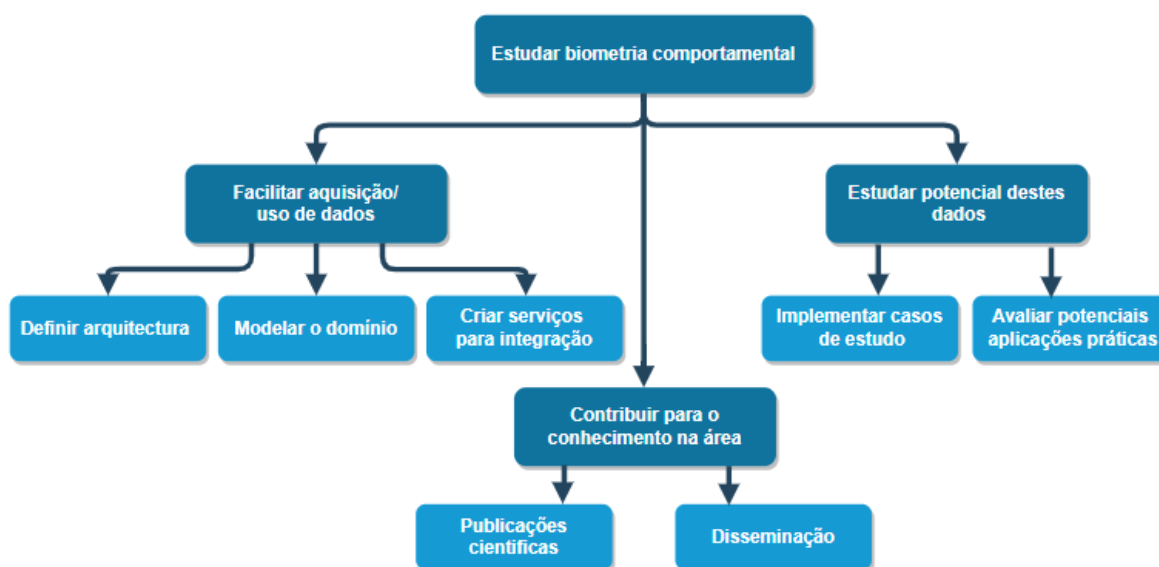


Figura 2: Objetivos a alcançar.

1.5 Trabalho anterior

O trabalho desenvolvido nesta dissertação resulta da continuação do trabalho já iniciado na Unidade Curricular de Projeto Final da Licenciatura em Engenharia Informática, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico do Porto. Este trabalho foi desenvolvido em colaboração com a Escola de Psicologia da Universidade do Minho.

O trabalho anterior foi desenvolvido no contexto da estimulação de memória/capacidades cognitivas, sendo uma solução que permite a criação de cenários virtuais para implementar tarefas cognitivas destinadas a idosos ou indivíduos com défices cognitivos. Estes cenários pretendem estimular o desenvolvimento das capacidades cognitivas através da realização de treinos/provas de memória. Os cenários podem variar desde uma imagem única até um ambiente realista e navegável, composto por imagens interligadas, sendo assim possível a personalização completa dos mesmos, de acordo com os objetivos do Psicólogo. Ainda no que diz respeito à personalização, é possível definir cenários distintos de acordo com cada paciente, conforme necessário. Estes cenários podem ser constituídos por fotos que podem retratar cenas reais ou simuladas da vida diária, ou praticamente qualquer outro ambiente ou cenário desejado, sendo também configurável qual o tempo durante o qual o cenário está disponível. Podem, ainda, ser adicionados a estes cenários estímulos auditivos e visuais (por exemplo sobrepor uma foto de família numa moldura), que ficam associados a uma divisão específica do ambiente virtual.

Relativamente aos pacientes, estes utilizam a aplicação móvel para navegar pelo(s) cenário(s) definido(s) pelo psicólogo, através de ações do tipo “apontar e clicar”. O utilizador pode navegar pelo cenário utilizando os quatro limites do ecrã (quando disponíveis) para se movimentar, conseguindo assim rodar e mover-se no ambiente virtual. Isto porque dependendo da configuração, podem existir diferentes divisões/áreas e passagens entre elas. Por exemplo, numa determinada divisão pode ser permitido ao utilizador olhar para cima enquanto que numa outra pode-lhe ser permitido olhar para a esquerda/direita e avançar para outra divisão. A Figura 3 detalha exemplos de cenários.

Para além disso, esta aplicação permite a criação de tarefas de recordação. Estas tarefas, definidas pelos psicólogos, consistem numa série de perguntas auditivas e/ou visuais que são realizadas aos utilizadores após estes terem já feito a navegação pelos cenários, sendo que estas tarefas não têm de ser realizadas imediatamente após a navegação: a aplicação permite definir o atraso com que devem ser disponibilizadas, permitindo assim avaliar diferentes tipos de memória (e.g. curto prazo, longo prazo). Uma vez que as tarefas são definidas pelos psicólogos e não padronizadas, é possível variar o grau de dificuldade, tipo de pergunta (escrita, auditiva, visual) e tipo de respostas (escolha única, escolha múltipla podendo ter imagens e texto, texto livre, resposta numérica),

consoante os objetivos do psicólogo para cada paciente. A Figura 4 ilustra exemplos de tarefas de recordação.

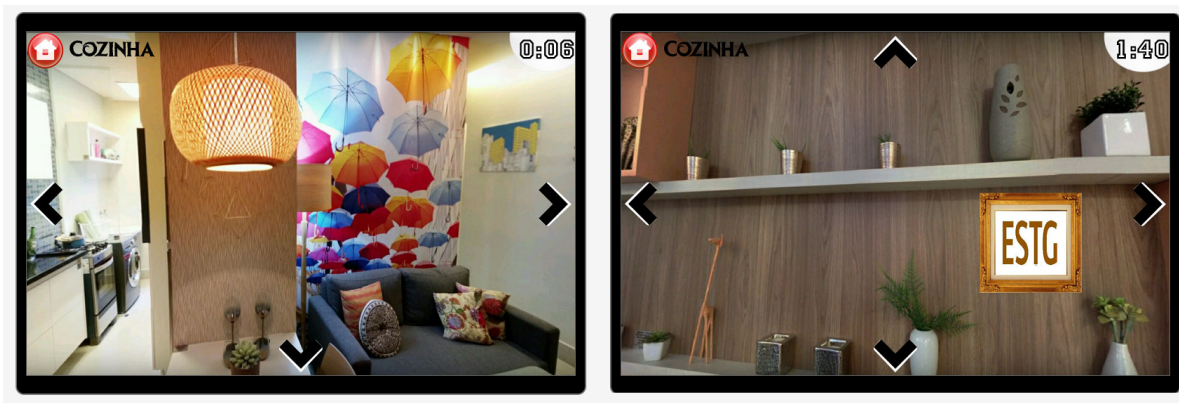


Figura 3: Exemplo de cenários.



Figura 4: Exemplo de tarefas de recordação.

Assim, através destas funcionalidades é possível estimular diferentes funções da memória (memória de trabalho, memória de curto e longo prazo, memória implícita versus explícita) através da recordação que o utilizador necessita de realizar sobre detalhes espaciais, visuais, auditivos ou temporais do cenário que anteriormente visualizou.

Aos psicólogos é ainda possível controlar definições relativas à administração e gestão da aplicação, como por exemplo, quando um dado paciente deve receber um ou mais cenários e quanto tempo depois deve fazer as tarefas de recordação, sendo os pacientes alertados com notificações para realizar as suas tarefas. Para além disso, é possível também definir durante quanto tempo os cenários e tarefas de recordação devem estar disponíveis para o utilizador. Por último, as respostas, depois de dadas pelos utilizadores, são enviadas e guardadas, no sentido de ser possível ao psicó-

logo, mais tarde, analisar e estudar os dados retirados das mesmas e assim avaliar o desempenho e evolução do paciente.

Os serviços desenvolvidos nesta dissertação para recolha e uso de dados de interação foram então integrados nesta aplicação móvel existente e já previamente validada, de forma a permitir a recolha de dados neste ambiente de aplicação real, num domínio específico.

1.6 Casos de estudo

O trabalho desenvolvido nesta dissertação foi validado através de dois casos de estudo relacionados com a biometria comportamental em dispositivos móveis de ecrã tátil.

O primeiro, implementado utilizando a aplicação desenvolvida previamente na área da saúde, mais concretamente com a Escola de Psicologia da Universidade do Minho, tem como principal objetivo avaliar a possibilidade de identificar o género e faixa etária dos utilizadores. Na prática, isto permitirá desenvolver aplicações capazes de perceber o perfil básico dos seus utilizadores e, se necessário, adaptar-se às suas características ou restrições. Foi utilizado o trabalho realizado anteriormente e já descrito na secção 1.5 ao qual foram acrescentadas novas funcionalidades, como a criação de um *website*, onde os psicólogos podem criar cenários (anteriormente só era possível através da inserção de dados diretamente na base de dados), e outras funcionalidades na aplicação móvel, a fim de permitir a recolha de dados biométricos relacionados com a interação com o ecrã tátil do *smartphone*, sendo assim possível efetuar um estudo nesta área e também fornecer novos dados aos psicólogos.

O segundo caso de estudo está relacionado com autenticação contínua em dispositivos móveis. Trata da implementação de uma abordagem que assenta na recolha de dados de biometria comportamental em tempo real, através da interação com uma aplicação móvel, que são utilizados para verificação da identidade do utilizador. A partir destes dados biométricos são estudadas alternativas para a criação de um perfil de utilizador e validação contínua do mesmo, assegurando que são detetadas utilizações indevidas da aplicação, caso a interação não corresponda ao perfil do utilizador. Este último caso de estudo está relacionado com o aumento da segurança nos dispositivos móveis.

2 Estado da arte

Nas últimas décadas, tem havido um crescente estudo sobre aplicações que envolvem IHM, devido ao aumento de dispositivos inteligentes. Em 2017 havia 1 bilhão de *smartphones* ativos, é esperado que em 2022 este número ultrapasse os 6 bilhões. [30].

Por esse motivo vários estudos têm sido realizados em diferentes vertentes relacionadas com a IHM. De seguida, serão resumidos alguns desses estudos realizados nos últimos anos, com o objetivo de facilitar o entendimento da sua importância e a sua contribuição para esta área. Os estudos citados foram selecionados com base na diversidade das suas áreas de aplicação para que se perceba, tal como é objetivo desta dissertação, a potencialidade deste tema em contribuir para resolver problemas nas mais diversas áreas. De modo a contextualizar melhor o restante trabalho, a escolha foi ainda guiada pelos temas abordados nos casos de estudo desta dissertação.

Em [20], os autores desenvolveram um algoritmo que é capaz de reconhecer e identificar gestos através da recolha de imagens, usando a câmara frontal de um *smartphone* comum. Este algoritmo pode ser usado na medicina, na reabilitação de pessoas, em diversas aplicações biomédicas de pacientes com problemas específicos. As imagens capturadas pelo *smartphone* são pré-processadas com base num procedimento de quatro etapas, conforme exemplo apresentado na (Figura 5): 1) a segmentação da mão, com o objetivo de separar os pixels da mão do fundo da imagem; 2) a conversão da imagem em binário; 3) operações realizadas que melhoram a qualidade da zona segmentada e reduzem o ruído da imagem; e 4) a captura do contorno da mão. Todo este processo é realizado para cada fotografia recolhida pela câmara frontal.

O algoritmo utilizado incide sobre um método designado por "momentos invariantes de Hu" para reconhecer gestos. É um método que permite obter várias informações de uma imagem, como padrões, rotação, escala, entre outros, tendo um baixo custo computacional. Os autores referem que existem outros métodos que têm as mesmas propriedades do método utilizado, mas os "momentos invariantes de Hu" representam a melhor opção para obter resultados com precisão e com baixo custo computacional, que é considerado obrigatório para o desenvolvimento de uma aplicação eficiente e eficaz em dispositivos móveis. Os resultados experimentais obtidos através de um caso de estudo realizado mostraram um bom desempenho, e uma excelente capacidade de aprendizagem de linguagem gestual.

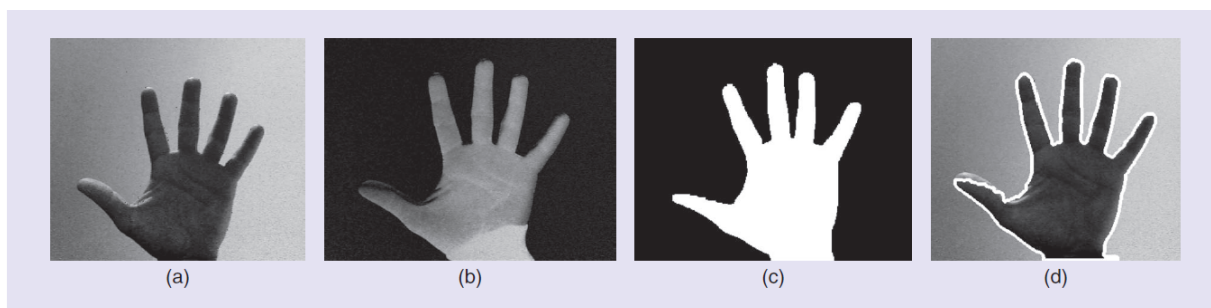


Figura 5: (a) uma imagem capturada, (b) resultado depois de remover o fundo, (c) conversão em binário e criação do molde, e (d) detecção do contorno (Fonte: [20]).

Em [29], os autores apresentam uma nova técnica de autenticação nos *smartphones* designada por padrão 3D. Esta nova técnica tira partido de um novo paradigma designado por pré-toque, que poderá em breve permitir que *smartphones* possam detetar a certa distância do ecrã a posição do dedos do utilizador. Esta técnica tem como base uma nova versão do padrão de desbloqueio do sistema operativo *Android* que expande o tradicional padrão 3x3, para um padrão 3x3x3 num formato de cubo, em que os utilizadores inserem o padrão com o dedo a pairar sobre o ecrã, em vez de tocar diretamente no ecrã. Como as informações de pré-toque ainda não estão disponíveis nos *smartphones* atuais, foram simulados pré-toques utilizando um sistema de captura de movimento, que permitiu criar uma versão protótipo do padrão 3D. Esse sistema foi montado numa divisão que contempla seis câmaras *Vicon* de captura de movimento. As câmaras trabalham juntas para triangular a posição dos marcadores do dedo do utilizador. As pequenas esferas cinzentas (Figura 6) são exemplos desses marcadores.

O sistema acompanha o movimento tanto do *smartphone* como a posição dos dedos. O acesso a cada camada (3 camadas) reflete-se com a distância do dedo em relação ao ecrã: o amarelo representa que o dedo está na camada mais próxima do utilizador, a cor laranja representa a camada intermédia, e o vermelho representa a camada mais próxima do ecrã. A Figura 6 demonstra o processo de autenticação. Na realização deste protótipo foi realizado um estudo com o objetivo de comparar a eficácia do novo padrão 3D, com o típico padrão do *Android* e a autenticação baseada em PIN.

A implementação do protótipo incluiu um servidor principal, que controla as restantes partes do sistema, sendo este responsável por determinar o que desenhar na ecrã do *smartphone*, controlando e registando informações úteis das três técnicas de autenticação. As três técnicas de autenticação foram implementadas utilizando *Unity*. As seis câmaras *Vicon* estão conectadas a um servidor *Vicon*, através de um *switch* de rede. Este servidor calcula as posições 3D absolutas do dedo do utilizador em relação ao *smartphone* e encaminha essa informação para o servidor principal.

A conexão entre o *smartphone* e o servidor principal está implementada como uma arquitetura cliente-servidor através de uma conexão *Wi-Fi*. Por último o *smartphone* apresenta a técnica de autenticação para o utilizador, reencaminhado o resultado para o servidor principal.

O estudo baseou-se em comparações relacionadas com o número de tentativas necessárias para adivinhar correctamente o segredo de cada um dos três tipos de autenticação. Os resultados mostraram que a nova técnica de padrão 3D é muito mais eficaz contra ataques, visto que não há contacto com o ecrã, logo não há ataques de mancha. E o número de possibilidades de padrões (387.504) é muito superior às outras duas técnicas utilizadas no estudo, o que resultou num maior número de tentativas necessárias para adivinhar o padrão. Os autores referem que o maior ponto negativo é o utilizador demorar cerca de oito segundos para se autenticar, mas que tal demora se deve à novidade e desconhecimento deste tipo de autenticação, que facilmente será superado com a familiarização desta técnica.



Figura 6: Autenticação com técnica de padrão 3D (Fonte: [29]).

Em [11], foi realizado um estudo para tentar reconhecer estados emocionais através de padrões de interacção com dispositivos móveis de ecrã táctil. Os autores referem que a emoção desempenha um papel muito importante na vida, tendo impacto nos julgamentos, decisões e outros comportamentos que tomamos. Se o *smartphone* conseguir reconhecer o estado emocional dos utilizadores automaticamente, isso permitirá o desenvolvimento de forma significativa da IHM, uma vez que o utilizador irá ter uma melhor experiência de interacção. É realçado que o estudo da psicologia indica que o comportamento do toque é como uma comunicação não verbal, no sentido em que também pode refletir emoções como as de uma pessoa, tal como a expressão facial ou a linguagem corporal. Os autores demonstram que os seres humanos podem transmitir várias emoções como

raiva, medo, repúdio, amor, gratidão e simpatia através do comportamento do toque [23]. Relativamente ao estudo realizado, os autores inicialmente utilizaram a base de dados IAPS, que contém imagens, músicas e vídeos para induzir estados emocionais específicos. Desta forma obtiveram imagens que transmitem três estados emocionais: positivo, neutro e negativo. A Figura 7 mostra um exemplo das imagens utilizadas na experiência.



Figura 7: Um exemplo de três tipos de estado emocional em IAPS (Fonte: [11]).

Este trabalho conclui que existem diferenças de percepção nas imagens e que os participantes podem expressar diferentes emoções para diferentes objetos. Esta discrepância é mais acentuada entre os diferentes sexos, por esse motivo, seleccionaram um grupo de imagens para homens e outro para mulheres. Para tal, os autores criaram um questionário, que foi respondido por 100 voluntários, 60 do sexo masculino e 40 do sexo feminino, para classificarem imagens do IAPS. A classificação contempla os três estados emocionais: positivo, neutro e negativo. De acordo com os resultados de classificação, foram seleccionadas as 120 imagens com uma melhor percentagem de eficácia de emoção, para construir dois grupos, um para homens e outro para mulheres. De seguida 24 utilizadores (12 do sexo feminino e 12 do sexo masculino), todos eles destros, de boa saúde, não tendo nenhuma história prévia de doenças neurológicas ou psiquiátricas foram convidados a interagir com uma aplicação móvel. A aplicação móvel apresentou o grupo de imagens para o sexo do utilizador. Os utilizadores foram convidados a acariciar a imagem através do contacto com o ecrã. A aplicação recolheu informações relacionadas com cada toque no ecrã, sendo elas: o comprimento, duração, velocidade e intensidade. Posteriormente, após a conclusão da recolha de dados, os autores criaram mais 5 características para cada variável recolhida, sendo elas: média, mediana, máximo, mínimo e variância, resultando num total de 20 características para cada toque. Por fim, foi feito o treino e a classificação das características para obter o estado emocional. Para tal foi utilizado o *software* gratuito *WEKA*. Neste *software* utilizaram 3 algoritmos de aprendizagem (*BayesNet*, *Back-Propagation Neural Network* e *RandomForest*), com validação cruzada de 10, para testar a validação do desempenho de classificação para diferente sexos e com todos os uti-

lizadores. Os resultados mostram que o algoritmo obteve melhores resultados foi o *RandomForest*. A percentagem de classificação correta foi de 78.4 % para o sexo masculino, 84.9% para o sexo feminino e 78.8% para todos os utilizadores. Este estudo demonstrou bons resultados para uma possível abordagem para reconhecer estados emocionais através de padrões de interação.

Em [27] foi realizado outro estudo, no qual foi explorada a possibilidade de reduzir a duração da recolha de dados para classificação da personalidade através de *smartphones*. Os autores concluem que a personalidade se reflete em vários comportamentos, emoções e cognição, e que traços de personalidade também podem ser previstos através de padrões do uso da tecnologia, tais como comportamentos em redes sociais [9, 18], jogos [54], *smartphones* [10, 34, 50], e até mesmo como os utilizadores concedem as permissões às aplicações [44]. Por esse motivo os autores do estudo consideram que a personalidade é bastante importante para uma série de áreas de computação, entre os quais a IHM, devido ao facto de através do conhecimento da personalidade dos utilizadores ser possível tomar decisões consoante as suas necessidades e preferências. Neste estudo é defendido que apresentar questionários em aplicações não é uma boa abordagem, pois podem afastar rapidamente os utilizadores da aplicação. Por essa razão, a previsão automática de personalidade tem atraído a atenção de muitos investigadores que se baseiam em dados recolhidos a partir do *Twitter* [9], *Instagram* [18], e uso de *smartphones* [10, 34, 50]. Mas na maioria dessas abordagens a recolha de dados demora várias semanas [50], meses [37] e até anos [12, 34], a fim de conseguir identificar com precisão a personalidade.

Os autores referem ainda a necessidade atual do cumprimento da privacidade aplicada pelo RGPD, que obriga as organizações a recolher apenas o mínimo de dados pessoais para a finalidade pretendida. Por esta razão, sublinham a importância do estudo, que irá ajudar a compreender como diminuir a quantidade de dados recolhidos e ao mesmo tempo reduzir o tempo necessário, permitindo a criação de modelos para classificação de personalidades. Relativamente aos dados para este estudo, estes foram recolhidos através de uma aplicação *Android*, que foi otimizada para ter um baixo consumo de bateria para não resultar em descontentamento dos utilizadores. Foram recolhidos dados dos sensores dos *smartphones* (microfone, luz, acelerómetro, podómetro, e localização), e dados de eventos (desbloqueio do *smartphone*, nível de bateria e de carregamento e número de chamadas). Os dados recolhidos a partir do microfone, podómetro, localização e sensores foram recolhidos a cada 15 minutos, enquanto que a recolha dos dados do acelerómetro só foram recolhidos quando foi detetado que utilizador estava em movimento. Os participantes para este estudo foram recrutados através de uma agência especializada. Foram convidados a instalar e a manter a aplicação ativa durante 3 semanas. Preencheram um conjunto de questionários, e dados demográficos (sexo, idade, situação socioeconómico, etc.) e 50 perguntas *Big Five*, que

são as medidas de personalidade cientificamente mais aceites e mais comuns para o estudo da personalidade [21]. As 50 perguntas estavam repartidas pelas cinco grandes dimensões do *Big Five*: abertura à experiência, conscienciosidade, extroversão, amabilidade e neuroticismo, cada uma delas com 10 perguntas com resposta numérica de 1 a 5. Os participantes foram informados em detalhe sobre a finalidade do estudo e que dados seriam recolhidos. Estes só foram incluídos no estudo após fornecerem o seu consentimento. Os participantes tinham ainda flexibilidade para decidir a que dados davam acesso, o que resultou em 69% dos participantes a não fornecerem acesso a todos os dados. Nos casos de uma conclusão bem sucedida na recolha dos dados, cada participante recebeu um incentivo monetário de 40 euros. No total o estudo teve 545 participantes de cinco países que concluíram a recolha de dados. Dentro de cada país, a relação de sexo e idade foi praticamente a mesma, assim como as distribuições de personalidade.

No que toca a análise de dados, os autores utilizaram *machine learning* com vários algoritmos para treino e classificação, entre eles, *Support Vector Machine*, *Bayes Naive Classifier*, *Nearest Neighbour*, *Random Forest*. Escolheram o *Random Forest* porque foi o que obteve melhores resultados, sendo capaz de classificar com precisão entre 66% e 71% a personalidade dos utilizadores. Foram feitos vários estudos apenas com alguns dias da semana e com apenas dias do fim de semana e curiosamente, usando dois fins de semana ou seja, quatro dias, a precisão foi altamente comparável com estudos anteriores de classificação de personalidade que se basearam em dados de várias semanas, meses e em alguns casos até anos. Os autores referem que durante o fim de semana as pessoas normalmente têm mais controlo sobre suas atividades em comparação com dias de trabalho, o que já foi explorado por cientistas sociais. O estudo realizado mostrou que comportamentos de fim de semana são mais informativos da personalidade dos utilizadores, algo que a literatura até agora não tinha explorado.

3 Análise crítica

A secção anterior mostrou a diversidade de aplicações da IHM, nas mais diferentes áreas, mas com um foco nos dois casos de estudo desta dissertação: fatores humanos e autenticação contínua. Esta secção analisa em mais detalhe e de uma forma crítica o estado atual dos desenvolvimentos nestas duas áreas.

É sabido que as mudanças demográficas estão a contribuir para um crescente aumento da população idosa, com repercussões sobre as condições relacionadas com a idade, tais como declínio cognitivo leve (DCL) [13, 41], envelhecimento patológico (que está relacionado a um declínio visível e mensurável em habilidades cognitivas, incluindo a memória), bem como mudanças na percepção e capacidades motoras (em que seria esperado que se refletissem com base na idade e nível educacional). Entre outras consequências, estas mudanças trazem implicações importantes para a utilização das TIC.

Uma população de utilizadores de tecnologia mais idosa será uma realidade em algumas décadas. No entanto, a inclusão de pessoas mais idosas dentro do ciclo de desenvolvimento da tecnologia da informação é, até agora, limitado a aspetos como a usabilidade ou os aspetos gráficos da interface do utilizador. A este respeito, uma das principais questões da IHM é entender o impacto das habilidades dos utilizadores mais velhos e quais as suas restrições [25].

Por outro lado, e com o avanço da tecnologia, os dispositivos móveis têm cada vez mais funcionalidades, o que se reflete num cada vez maior armazenamento e processamento de dados. Muitos destes dados são dados sensíveis, o que leva à necessidade da sua proteção. Embora esta preocupação tenha vindo a aumentar, os processos de autenticação existentes apresentam ainda falhas. Como se viu na secção anterior, mais recentemente têm surgido novos métodos de autenticação baseados em dados biométricos que são considerados os mais seguros, mais concretamente relacionados com autenticação contínua. Outra das grandes questões da IHM é portanto entender o impacto que a autenticação contínua pode ter na segurança dos dispositivos móveis.

Após uma análise mais aprofundada de alguns estudos realizados pode concluir-se que estes têm sido realizados em diferentes vertentes relacionadas com a recolha de dados de interação com dispositivos móveis, mas a maioria foca-se em questões relacionadas com a saúde e com a segurança.

Conclui-se que vários estudos relacionados com a saúde são possíveis devido ao facto de os ecrãs táteis serem hoje em dia uma das principais interfaces na interação entre humanos e tecnologia, que atinge pessoas de todos os estratos da sociedade, e faz com que os ecrãs táteis sejam um instrumento relevante para estudar os mecanismos que influenciam a nossa forma de interagir com

dispositivos móveis, que possam transmitir informações sobre a saúde, e contribuir para a melhoria do dia a dia dos utilizadores.

Para além dos estudos já mencionados anteriormente, muitos outros têm sido realizados nos últimos anos, mostrando por exemplo que a nossa interação com dispositivos móveis é influenciada pelo stress e fadiga mental [8, 42]. Outros investigadores também estudaram temas relacionados com a influência da idade e do género na dinâmica de digitação e dinâmicas do rato (padrões de interação com o rato) [38]. Em [33], por outro lado, os autores tentam antecipar e monitorizar estados depressivos, através da interação dos utilizadores com os *smartphones*.

Para além de estudos relacionadas com a saúde, têm surgido vários estudos relacionados com a segurança nos dispositivos móveis que usam os dados biométricos recolhidos da interação para validação do utilizador. Após a revisão de literatura realizada, a maioria dos autores refere que esta necessidade se deve à existência de um conjunto importante de dados sensíveis que estão guardados nos *smartphones*. O que leva à necessidade da adoção de métodos de segurança eficazes que garantam que o *smartphone* só é acedido por quem tem autorização para tal. Os autores mencionam que as soluções mais comuns existentes são a autenticação a partir de senha, de PIN, autenticação padrão de senha, que permite ao utilizador desenhar formas no ecrã [36]. Estas soluções podem ter várias vantagens, mas também têm inúmeras desvantagens de segurança [47]. No que respeita à autenticação baseada em senha ou PIN, estas podem não ser eficazes devido ao facto de serem facilmente observáveis e replicáveis por outros. Por exemplo, quando as pessoas usam o *smartphone* num ambiente público, nomeadamente num café, em estações de metro, escolas, entre outros, o momento de autenticação pode ser observado por outros ao seu redor, ou até mesmo visualizado por dispositivos de gravação, como vídeo vigilância [55].

Como este tipo de autenticação se caracteriza por ser de fácil memorização para o utilizador, tendem também a ser de descoberta fácil para intrusos [2]. Estudos revelam ainda que em 9,23 % das vezes em que outra pessoa consegue entrar num dispositivo, consegue fazê-lo em menos de três tentativas [32]. Com estudos realizados anteriormente chegou-se a conclusão que os PINs normalmente são datas de importância para o utilizador ou são números repetidos [32]. Relativamente à autenticação baseada em padrões, este tipo de autenticação também sofre do mesmo problema de ser observado por outros, mas, para além disso, a constante repetição deste padrão deixa manchas e resíduos nos ecrãs [55], devido ao contacto do dedo com o ecrã, o que facilita a descoberta do padrão de desbloqueio. Acresce que todos estes tipos de autenticação podem ser descobertos a partir do ecrã com recurso a tecnologia de imagem térmica. [53].

Os métodos de autenticação baseados em conhecimento que já foram mencionados anteriormente são os mais comuns para autenticação de utilizadores em *smartphones*, no entanto, mais

recentemente têm surgido métodos de autenticação baseados em dados biométricos que são considerados os métodos de autenticação mais seguros [26].

A autenticação biométrica pode ser dividida em duas categorias: fisiológica e comportamental [46]. Biometria fisiológica são características físicas do utilizador, como a íris, características faciais, impressão digital, entre outros. Enquanto a biometria comportamental está relacionada com as ações, comportamentos, hábitos que os utilizadores têm, como os gestos de toque, dinâmica de escrita, assinatura ou voz [1].

Os métodos de autenticação podem ainda ser divididos em duas categorias: autenticação explícita e autenticação contínua. A autenticação explícita é uma autenticação realizada de uma só vez, enquanto a autenticação contínua verifica continuamente a identidade do utilizador [1]. A autenticação biométrica fisiológica enquadra-se na categoria de autenticação explícita, enquanto a autenticação biométrica comportamental enquadra-se na categoria de autenticação contínua.

A autenticação biométrica fisiológica exige hardware adicional no *smartphone*, o que se reflete num maior custo do mesmo. Para além disso, este tipo de autenticação ainda é vulnerável, uma vez que, por exemplo a autenticação através da face e íris está sujeita a ataques de falsificação, através da apresentação de fotografias, vídeos ou máscaras de um utilizador válido em frente da câmara e sensores do *smartphone* [15]. Relativamente à impressão digital, apesar de ser difícil, também é possível a falsificação, uma vez que após a obtenção da impressão digital esta pode ser falsificada através da construção física de um sensor de hardware que replique a impressão digital [3].

Para além de todas as desvantagens até agora mencionadas dos vários tipos de autenticação abordados, a principal desvantagem e ainda não mencionada, é o facto destes sistemas apenas atuarem uma única vez no início de sessão. A autenticação não é pedida novamente até uma próxima vez que o dispositivo precise de ser desbloqueado, ou para o caso de uma aplicação, até uma nova entrada na mesma. Com apenas estes tipos de autenticação a segurança fica comprometida durante um grande período de tempo [48]. Para combater este problema, recentemente a indústria e área científica têm estudado e procurado novas formas de autenticação contínua através da biometria comportamental, criando modelos que permitem validar periodicamente o utilizador, e não apenas no seu ponto de entrada [2].

A autenticação contínua através da biometria comportamental permite reavaliar a identidade do utilizador continuamente sem este ter que intervir, permitindo também reduzir os riscos de segurança na partilha não autorizada, em casos de perda ou roubo do dispositivo [51]. À semelhança de outros dados biométricos, a dinâmica de toque é única para cada utilizador [16,17,48,51], podendo assim ser utilizada para os identificar. Desta forma, o estudo da interação/toque com o ecrã tátil tem sido um dos mais estudados na área de autenticação contínua [2]. O recurso à autenticação

contínua tem a mais valia de possibilitar a utilização em conjunto de outros tipos de autenticação, isto é, permite a criação de uma autenticação multifator que contribui para um aumento significativo da segurança associada aos dados [3].

Tendo em conta o estado atual e os desafios existentes, esta dissertação propõe uma abordagem genérica à aquisição de dados de biometria comportamental que seja não intrusiva e não invasiva, de forma a poder ser utilizada em qualquer aplicação móvel, em tempo real, para diferentes fins. Em concreto, a abordagem é validada em dois casos de estudo mas as suas aplicações não se limitam a essas áreas. Na secção 4 descreve-se a solução proposta.

4 Proposta de solução

Neste trabalho pretende-se recolher dados de interação de utilizadores com dispositivos móveis, de forma não intrusiva, para caracterizar a interação do utilizador e explorar esses dados para diferentes fins. A abordagem seguida neste trabalho para o estudo da interação com ecrãs sensíveis ao toque é diferente da pesquisa citada anteriormente (secção 2) que pode ser caracterizada como sendo principalmente comportamental, ou seja, é baseada no comportamento do utilizador ao interagir com o dispositivo ou suas aplicações e/ou ao mover-se em sua rotina diária. Esta abordagem, por outro lado, concentra-se mais na própria interação, ou seja, na mecânica do toque.

Neste estudo considerou-se, portanto, aspetos como a duração do toque ou a variação de sua intensidade. Nesse sentido, esta abordagem não só é comportamental, mas também física. Devido à sua natureza multimodal, também se acredita que esta abordagem é mais adequada para modelar a interação com ecrãs sensíveis ao toque.

4.1 Arquitetura

Neste trabalho foi desenvolvida uma arquitetura genérica, representada na Figura 8, que pode ser utilizada para a recolha, processamento e utilização de dados de biometria comportamental em qualquer domínio. Em cima desta arquitetura, é possível criar diferentes serviços relacionados com a biometria comportamental.

A arquitetura é composta por três componentes principais. O primeiro é um servidor, que é o elemento central, constituído por uma *API REST* para interação com as aplicações móveis, uma base de dados *NoSQL*, algoritmos para processamento e análise de dados e um serviço de autenticação/análise de perfis de interação. O segundo componente são os dispositivos móveis, que são os responsáveis por recolher dados de interação e reencaminhar estes dados para o servidor. Posteriormente o servidor pode dar *feedback* dessa interação ao dispositivo móvel. Por fim o terceiro componente é o *backoffice*. Este é o componente responsável por apresentar e gerir os resultados referentes à interação com os dispositivos móveis e dos seus utilizadores.

De forma a demonstrar a sua aplicabilidade, esta arquitetura foi utilizada em dois casos de estudo concretos, descritos nas secções 4.3 e 4.4.

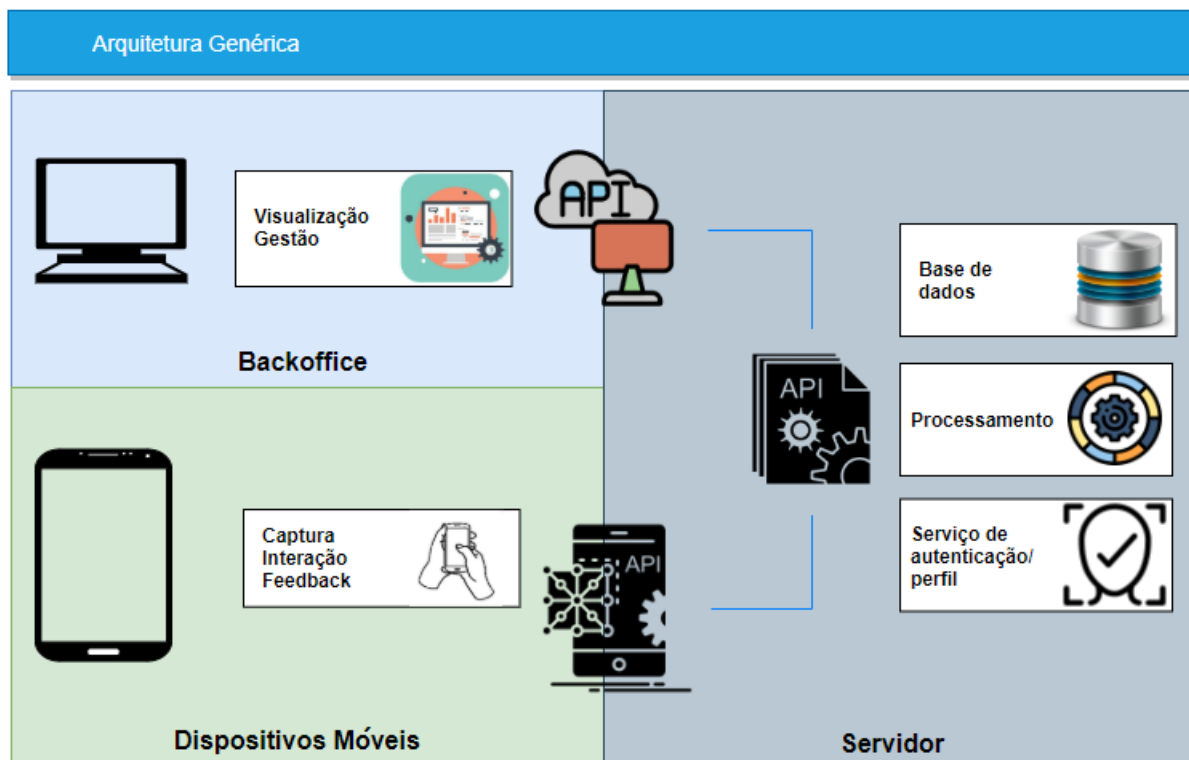


Figura 8: Arquitetura genérica.

4.2 Aquisição de dados e Geração de Variáveis

Nos ecrãs atuais, um toque no ecrã de um *smartphone* produz vários eventos de interação durante toda a duração do toque. Há um primeiro evento quando o dedo toca no ecrã pela primeira vez, que é então seguido por vários outros que são produzidos enquanto o dedo ainda está em contacto com o ecrã. Estes eventos dão origem a características que descrevem a forma como o utilizador está a interagir com o dispositivo.

Através destes eventos a aplicação recolhe dois tipos de dados: operacionais e comportamentais. Os dados operacionais descrevem *o* que o utilizador faz na aplicação, enquanto os comportamentais descrevem *como* o utilizador o faz.

Os eventos de toque fornecem ainda informações sobre a intensidade do toque, a área do dedo que está em contacto com o ecrã, a data em que ocorreu, etc. Existe, assim, uma quantidade significativa de informação que pode ser utilizada para caracterizar a interação do utilizador.

Importa salientar que a intensidade e a área de toque variam, não sendo únicas para cada interação. Por exemplo, numa interação consegue-se obter vários valores de intensidade. Para cada toque, os valores de intensidade tendem a aumentar na fase inicial do toque e voltar a diminuir até

não existir contacto do dedo com o ecrã.

Visto que a intensidade de cada toque tende a fazer esta curva convexa, esta dissertação propõe ainda uma outra característica que resulta de estimar a equação do segundo grau ($x^2 + x + n$) que minimiza a distância à curva de intensidades de cada toque. Assim, a lista de valores de intensidade de cada toque pode ser substituída por 3 variáveis (os coeficientes da função quadrática) que representam a forma de cada toque. Como se verá mais adiante, cada utilizador ou grupo de utilizadores tende a exibir toques com formas diferentes (e.g. maior/menor amplitude, mais/menos longos).

A Figura 9 descreve um exemplo de um toque, composto por 11 eventos (círculos vermelhos) distribuídos ao longo de menos de meio segundo, bem como a função quadrática que foi estimada para este toque (linha preta). Esta figura também mostra a forma que está geralmente associada a um toque: intensidade tende a aumentar e, em seguida, diminuir durante o toque.

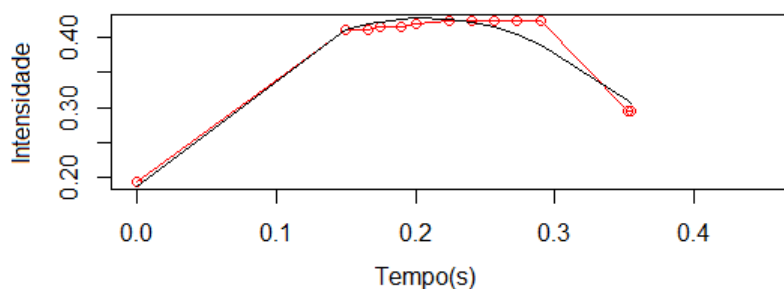


Figura 9: Intensidade de um toque ao longo do tempo (linha vermelha) e função quadrática que modela este toque (linha preta).

Através dos eventos são recolhidas dados relacionados com a intensidade, área, duração, e tipo de toque, que tanto podem ser processadas no dispositivo móvel como no servidor, de forma a obter as seguintes características:

- **Duração do toque:** A duração de cada toque individual no ecrã;
- **Intensidade de toque:** Valores da média, mínimo e máximo da intensidade exercida pelo dedo sobre o ecrã, para cada toque;
- **Área de toque:** Valores da média, mínimo e máximo da área exercida pelo dedo sobre o ecrã, para cada toque;
- **Valores de intensidade:** A sequência de valores de intensidade durante cada toque, a partir do momento em que o dedo entra em contacto com o ecrã até ao momento em que ele é levantado;

- **Valores de área:** A sequência de valores de área durante cada toque, a partir do momento em que o dedo entra em contacto com o ecrã até ao momento em que ele é levantado;
- **Tipo de toque:** Os toques sobre o ecrã podem ainda ser caracterizados de diferentes formas, tais como por exemplo: toque num controlo ativo e toque num controlo inativo ou em áreas sem controlo. Isto permite desenvolver características adicionais tais como a precisão do toque.
- **Forma do toque:** Função quadrática que aproxima a forma real do toque dada pela lista dos valores de intensidade ao longo do tempo (Figura 10), representada pelos seus três coeficientes x^2 , x e n .

A interação pode variar entre utilizadores, podemos chegar rapidamente a esta conclusão através da observação de gráficos que fazem uso das variáveis mencionadas anteriormente, como o da Figura 10, que representa a função quadrática da intensidade do toque ao longo do tempo para quatro perfis de utilizadores: (a) jovem género masculino, (b) idoso género masculino, (c) jovem género feminino, (d) idoso género feminino. Este gráfico demonstra que os utilizadores com mais idade parecem ter toques mais longos e mais intensos.

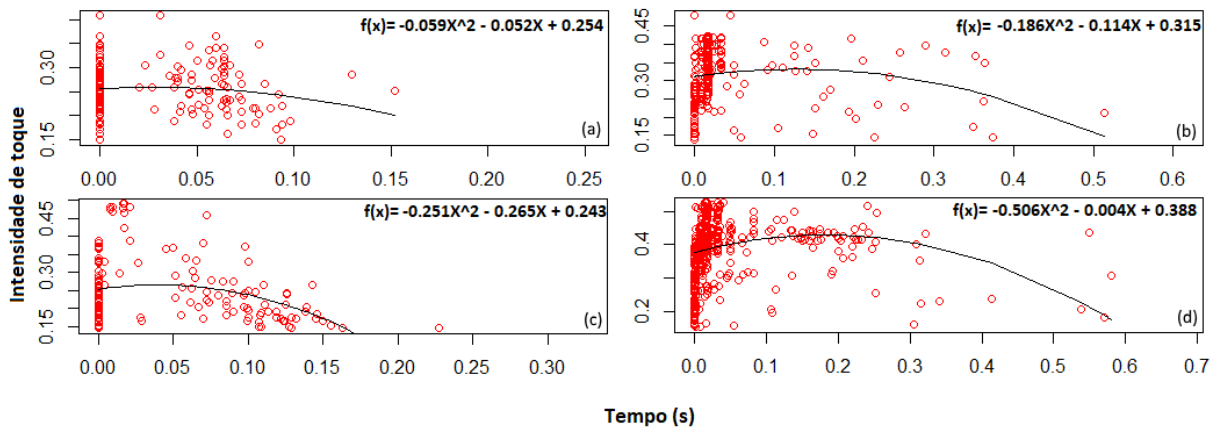


Figura 10: Função quadrática de intensidade de toque ao longo do tempo para 4 utilizadores.

4.3 Influência da idade e género na interação com dispositivos móveis

Neste estudo pretende-se estudar a influência de fatores humanos como a idade e o género na interação com dispositivos móveis e, simultaneamente, desenvolver uma abordagem que permita apoiar a preservação da memória e outras capacidades cognitivas, atenuando consequências negativas de envelhecimento e promovendo um processo de envelhecimento mais ativo e autónomo.

Com este estudo tenciona-se contribuir para o desenvolvimento de aplicações e dispositivos mais acessíveis, construindo um modelo comportamental de como os utilizadores interagem com os dispositivos móveis, que permitirá a criação de padrões de interação em função da idade. O estudo foi desenvolvido em colaboração com a Escola de Psicologia da Universidade do Minho, com o intuito de que pacientes reais utilizem a aplicação, com o objetivo de contribuir para a identificação de diferenças na interação entre pessoas saudáveis e pessoas com deficiências cognitivas ou físicas. Assim, pretende-se ainda contribuir para o desenvolvimento de aplicações que possam servir como uma ferramenta de diagnóstico de baixo custo e fácil aplicabilidade.

Ao logo deste processo será também possível demonstrar que a idade dos utilizadores tem uma influência significativa nos padrões de interação, servindo como uma ferramenta de identificação de diferenças entre pessoas. Este tipo de abordagem pode ser útil para uma melhor caracterização da interação do utilizador, e, eventualmente, servir como um marcador para o estado do utilizador (por exemplo, stress, estado emocional) e com o potencial de agir como um diagnóstico precoce, como por exemplo prever evidências de demência e alzheimer. Esta aplicação irá permitir que psicólogos possam realizar intervenções nos seus pacientes para estimular e apoiar a preservação da memória e capacidades funcionais dos idosos, através do desenvolvimento de uma aplicação móvel para pacientes e uma aplicação *web* para os psicólogos. Em [19] é mostrado que os métodos usados pelos melhores especialistas mentais, permitem obter grandes resultados no que concerne a memorizar grande quantidade de informações. Porém, as habilidades adquiridas são bastante irrelevantes ao realizar atividades diárias. A principal desvantagem em abordagens existentes é que a maioria delas são baseadas em tarefas mentais semelhantes, inadequadas ao dia a dia, que são difíceis de traduzir para habilidades necessárias na vida real [24, 39].

Pelas razões mencionadas, foi desenvolvida uma abordagem que pode ser adaptada pelo psicólogo para atender às necessidades de cada problema específico. Pode ser adaptado com base em configurações e capacidades reais, desenvolvido através de componentes de jogo, a fim de torná-lo atraente para os utilizadores/pacientes. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento de um ambiente de software para uma população tão específica constitui também uma oportunidade sem precedentes para estudar os seus padrões de interação. A interceção destes dois fatores motivou a implementação deste caso de estudo.

A arquitetura deste primeiro caso de estudo (Figura 11), resulta da especialização da arquitetura genérica apresentada anteriormente (Figura 8), que facilmente foi utilizada e adaptada para este caso de estudo. Sendo assim composta por três principais elementos: uma aplicação móvel, um servidor e uma aplicação *web*.

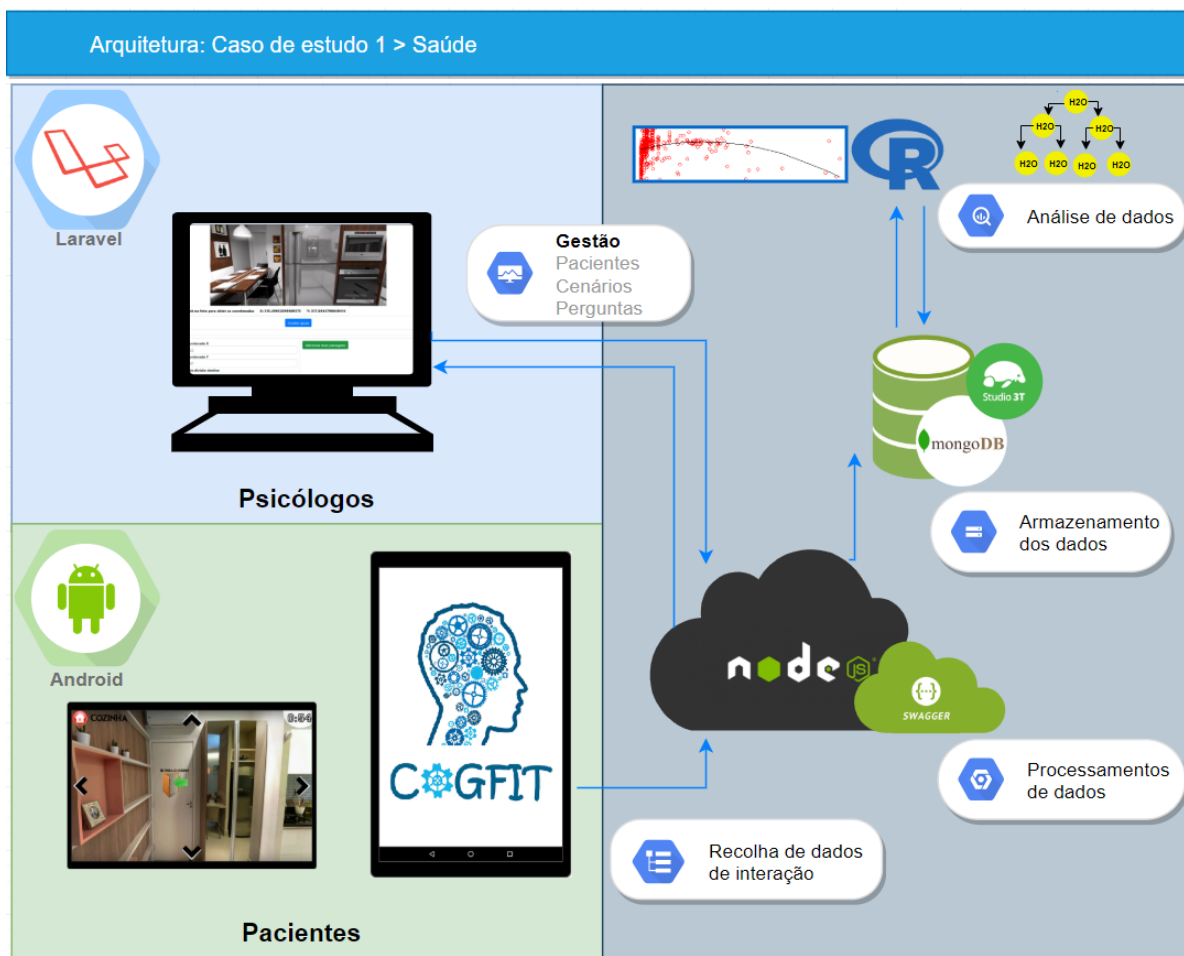


Figura 11: Caso de estudo 1.

Há também dois tipos diferentes de utilizadores: os pacientes, que interagem com a aplicação móvel, e os psicólogos, que interagem com a aplicação *web*. Cada um destes elementos é descrito nas secções seguintes.

4.3.1 Servidor

O servidor é o elemento central da arquitetura e é composto por três componentes principais: uma base de dados *NoSQL MongoDB*, uma *API REST* em *node.js*, e uso do *software R* juntamente

com *H2O* para análise de dados e treino de modelos. A *API REST* inclui serviços para *download* e *upload* de ficheiros para o servidor (por exemplo, sons ou imagens) e serviços para gerir a informação na base de dados.

A base de dados, contém todos os dados relevantes, sendo eles:

- **Dados dos utilizadores:** identificação e autenticação de dados, existem variáveis sócio-demográficas, como a idade e género;
- **Tarefas de memorização:** dados das tarefas de memorização criadas pelos psicólogos. Contém a informação estrutural de cada cenário, incluindo divisões, posições relativas, passagens de divisão, imagens sobrepostas e estímulos auditivos;
- **Tarefas de recordação:** dados das tarefas de recordação criadas pelos psicólogos, com informações que descrevem o tipo de tarefa, respostas possíveis (no caso de escolha múltipla), resposta corretas, estímulos (se houver);
- **Administração:** Contém dados de associação das tarefas de memorização e recordação aos pacientes, ou seja, em que momento e durante quanto tempo devem ser disponibilizados;
- **Resultados:** contém todos os dados recolhidos para medir o desempenho dos pacientes durante as tarefas de recordação;
- **Dados comportamentais:** contém todos os dados recolhidos a partir da interação dos pacientes com a aplicação móvel, tais como padrões de toque e tempo entre decisões.

Finalmente, no que respeita ao uso do *software R* e do *H2O* para análise de dados, o *software R* foi utilizado para tarefas estatísticas, tais como uma análise preliminar dos dados com o objetivo de determinar se existem diferenças de interação significativas devido a fatores como a idade e género. Após a análise preliminar e com os resultados obtidos, utilizou-se o *H2O* para tarefas de *Machine learning*, nomeadamente para treinar um modelo capaz de distinguir utilizadores jovens de utilizadores idosos.

4.3.2 Aplicação móvel

A aplicação móvel foi desenvolvida para *Android*, sendo o ponto de interação dos pacientes com o sistema. É através desta aplicação que o paciente navega pelos cenários que são atribuídos pelo psicólogo e é também através desta aplicação que o paciente realiza as tarefas de recordação. A aplicação verifica, em intervalos regulares, se estão disponíveis novas tarefas de memorização e

recordação para o paciente. A aplicação faz *download* dos dados correspondentes às tarefas, como ficheiros (imagens e sons), bem como os metadados que descrevem como as imagens e sons devem ser exibidos. Quando o *download* estiver concluído, as tarefas ficam disponíveis automaticamente para o paciente, e nesse momento o paciente é notificado pela aplicação.

A aplicação recolhe dois tipos de dados relacionados com a interação do utilizador, operacionais e comportamentais, já mencionados na secção 4.2

Estes dados são temporariamente armazenados localmente no dispositivo, e enviados para o servidor quando um conexão estiver disponível.

4.3.3 Aplicação Web

A aplicação *web* foi desenvolvida em *Laravel*. É o ponto de interação dos psicólogos com o sistema e é através desta aplicação que os psicólogos criam tarefas de recordação e tarefas de memorização. Os psicólogos começam por fazer upload dos ficheiros necessários (por exemplo, fotos e sons) que vão ser usados. Em seguida, estes criam as tarefas de recordação através da criação de divisões/salas do cenário virtual, associando imagens às divisões, sobrepondo também outras fotos/sons (se desejado) e passagens entre divisões (e.g. portas ou outros). Os psicólogos podem também atribuir tarefas aos pacientes, bem como definir o período de disponibilidade das mesmas. Através da aplicação *web*, podem também ser analisados os resultados das tarefas, bem como os dados recolhidos da interação dos pacientes. Estes dados são muito importantes para os psicólogos poderem monitorizar e avaliar a evolução do comportamento cognitivo dos pacientes e acompanhar o seu desempenho ao longo do tempo.

4.3.4 Psicólogo

A componente dirigida para o psicólogo é a aplicação *web* que permite ao psicólogo criar, configurar e gerir pacientes, cenários e tarefas de recordação para intervenções específicas. Uma intervenção é constituída por duas tarefas principais: memorização e recordação.

A tarefa de memorização é um cenário através do qual o utilizador pode navegar. Este cenário é construído pelo psicólogo e é composto por imagens estáticas, que podem ser de espaços virtuais ou reais (por exemplo, a casa do paciente, um supermercado, um jardim nas proximidades). A aplicação *web* permite ao psicólogo carregar estas imagens estáticas e em seguida, criar um cenário, definindo, para cada imagem, o que se encontra à volta desta. A Figura 12 mostra um exemplo desta funcionalidade, em que o psicólogo está a definir as imagens que serão apresentadas, quando o utilizador navegar em redor da imagem central.

O psicólogo pode também carregar estímulos auditivos (ruídos específicos, por exemplo, a voz do neto do paciente) e estímulos visuais (por exemplo, a imagem de um parente, a lista de compras), podendo estes estímulos ser usados em qualquer parte do cenário.

Os estímulos visuais podem ser sobrepostos em qualquer área de qualquer imagem existente. Por exemplo, uma imagem de um parente pode ser sobreposto a um quadro de imagem existente. Estas diferentes modalidades permitem que o psicólogo possa tratar diferentes tipos de memória, se for o caso (por exemplo, espacial, visual, auditiva).

A tarefa de recordação também é configurada pelo psicólogo nesta aplicação *web*. O objetivo é criar um grupo de perguntas, que serão posteriormente apresentadas ao paciente no dispositivo móvel, para avaliar o desempenho da memória. O psicólogo também define quando a tarefa de recordação deve ser apresentada, de acordo com o tipo de memória a ser avaliada (por exemplo, a longo prazo ou a curto prazo). As perguntas que compõem as tarefas de recordação podem ser de quatro tipos diferentes: escolha múltipla (texto e/ou imagens), de resposta única (texto e/ou imagens), resposta numérica, ou texto livre. Cada tarefa de recordação pode fazer referência a qualquer um dos estímulos auditivos ou visuais específicos presentes no cenário correspondente (por exemplo, "Em que divisão se encontrava esta imagem?").

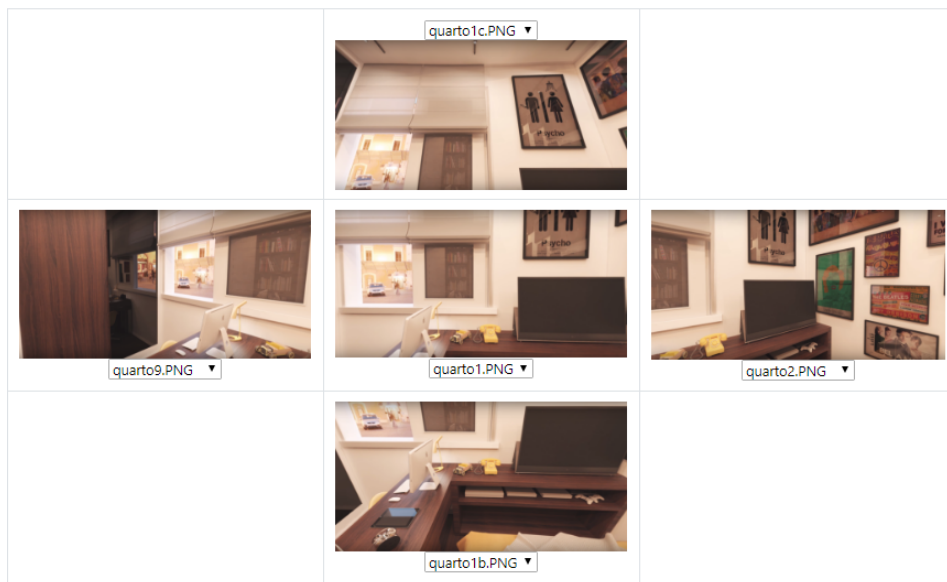


Figura 12: Parte da interface gráfica que o psicólogo utiliza para criar uma intervenção.

4.3.5 Paciente

A segunda componente do sistema é uma aplicação móvel, dirigida para o paciente. Nesta aplicação móvel, o paciente recebe notificações quando há tarefas de memorização e tarefas de recordação assim que estas estiverem disponíveis. O paciente ao ter a sessão iniciada na aplicação pode executar uma das tarefas. Ao realizar uma tarefa memorização, o utilizador pode navegar pelo cenário construído pelo psicólogo, através do contacto com o ecrã tátil, utilizando as setas que estão disponíveis nos cantos do ecrã (Figura 13). Durante a navegação, estímulos auditivos são reproduzidos no dispositivo. O utilizador tem um limite de tempo para completar a tarefa, tal como definido pelo psicólogo. No entanto, o paciente pode terminar a tarefa antes do tempo se assim entender, e sair do cenário.



Figura 13: Duas imagens de uma divisão de uma determinada intervenção. A imagem à esquerda foi personalizada, foi sobreposta uma foto (a moldura ESTG). A imagem à direita mostra uma passagem para outra divisão (jardim).

Ao executar uma tarefa de recordação, as perguntas que o psicólogo definiu são apresentadas ao utilizador, uma de cada vez. O utilizador deve responder a cada uma antes de avançar para a próxima. Estímulos auditivos também podem ser reproduzidos nas perguntas, se assim for definido pelo psicólogo. A aplicação móvel também recolhe dados que são usados para produzir dois tipos diferentes de informação. Informações operacionais, que descrevem o que o paciente faz na aplicação e informações comportamentais que descrevem como o paciente o faz.

Características operacionais são extraídas enquanto o paciente navega pelos cenários e durante a realização de tarefas de recordação. Os seguintes recursos estão disponíveis para os clínicos, os quais podem ser agregados por paciente, cenário, tarefa de recordação, género, grupo etário ou qualquer combinação destes atributos, permitindo diferentes pontos de vista sobre os dados:

- **As respostas corretas:** esta é a principal característica na avaliação do desempenho cogni-

tivo do paciente. Pode ser fornecida em percentagem ou em termos absolutos;

- **Tempo entre as decisões:** quantifica o tempo, em milissegundos, entre cada duas decisões consecutivas do paciente;
- **Ações:** Esta função quantifica os eventos e duração de cada atividade individual (por exemplo, uma visita a um quarto, completar uma tarefa de recordação, iniciar/terminar uma pergunta específica de uma tarefa de recordação).

Estas características permitem aos psicólogos, acima de tudo, avaliar o desempenho cognitivo de pacientes com granularidade diferente (por exemplo, durante um longo período de tempo, em uma tarefa de recordação específica). Esta análise também pode ser realizada por grupo, género, faixa etária, entre outros. As características fornecem informações significativas para quantificar o desempenho cognitivo. A quantificação de respostas corretas é uma medida direta. O tempo entre as decisões quantifica, de certa forma, a adequação deste desempenho, ou seja, mais rápido as decisões, mais rápido (em princípio) o cérebro é. O tempo que é gasto em cada pergunta/tarefa, com tempos mais logos a ser associados a uma menor performance cognitiva.

Finalmente, são ainda registadas as características comportamentais que descrevem principalmente a interação do paciente com o dispositivo, já descritas na secção 4.2.

4.4 Autenticação contínua em dispositivos móveis

Neste estudo apresenta-se uma abordagem multimodal de autenticação contínua através da biometria comportamental, que permite avaliar continuamente a identidade do utilizador sem a sua intervenção explícita, com base em características físicas e comportamentais adquiridas a partir da interação do utilizador com o ecrã tátil. Assim, em vez de considerar características anteriormente utilizadas como padrões, tipos de gestos ou outras informações sensoriais como por exemplo o acelerómetro, foi utilizada a informação que caracteriza cada toque do utilizador, incluindo a sua intensidade, a sua duração, e como estes variam ao longo do tempo.

Com base nessas características construíram-se modelos de interação individuais que podem ser usados para classificar a identidade de um utilizador dada uma instância de interação. Com base nisso, desenvolveu-se um serviço que recolhe continuamente dados da interação dos utilizadores com os dispositivos, criando um modelo para cada perfil de utilizador, tendo estas atualizações em intervalos regulares. Este serviço pode ser usado por aplicações móveis para continuamente verificar a identidade do utilizador, de uma forma não intrusiva.

Para além disso, e para efeitos de validação, foi criada também uma aplicação móvel que faz uso desse mesmo serviço, que mostra em tempo real vários dados informativos da interação com o dispositivo móvel. Este serviço irá permitir reduzir os riscos na partilha não autorizada, em casos de perda ou roubo do dispositivo. Acresce que, este tipo de autenticação não envolve o uso de hardware adicional, não implicando desta forma custos adicionais. Outra mais valia é a possibilidade de utilização em conjunto com outros tipos de autenticação, isto é, permite a criação de uma autenticação multifator, contribuindo para o aumento significativo da segurança associada aos dados.

Neste caso de estudo foram analisadas duas abordagens diferentes, mas com o mesmo objetivo de criar um método de autenticação contínua válido, uma abordagem baseada em métodos puramente estatísticos, e uma outra baseada em *Machine Learning*. As duas abordagens serão descritas separadamente.

4.4.1 Abordagem Estatística

A arquitetura da abordagem estatística do segundo caso de estudo (Figura 14) é baseada na arquitetura genérica (Figura 8), incluindo apenas dois principais elementos: a aplicação móvel e o servidor. Isto porque neste caso concreto não existe a necessidade de utilização de um *dashboard* para visualização de dados operacionais ou outros, como acontece no caso de estudo anterior, em que esta informação é muito relevante para o psicólogo.

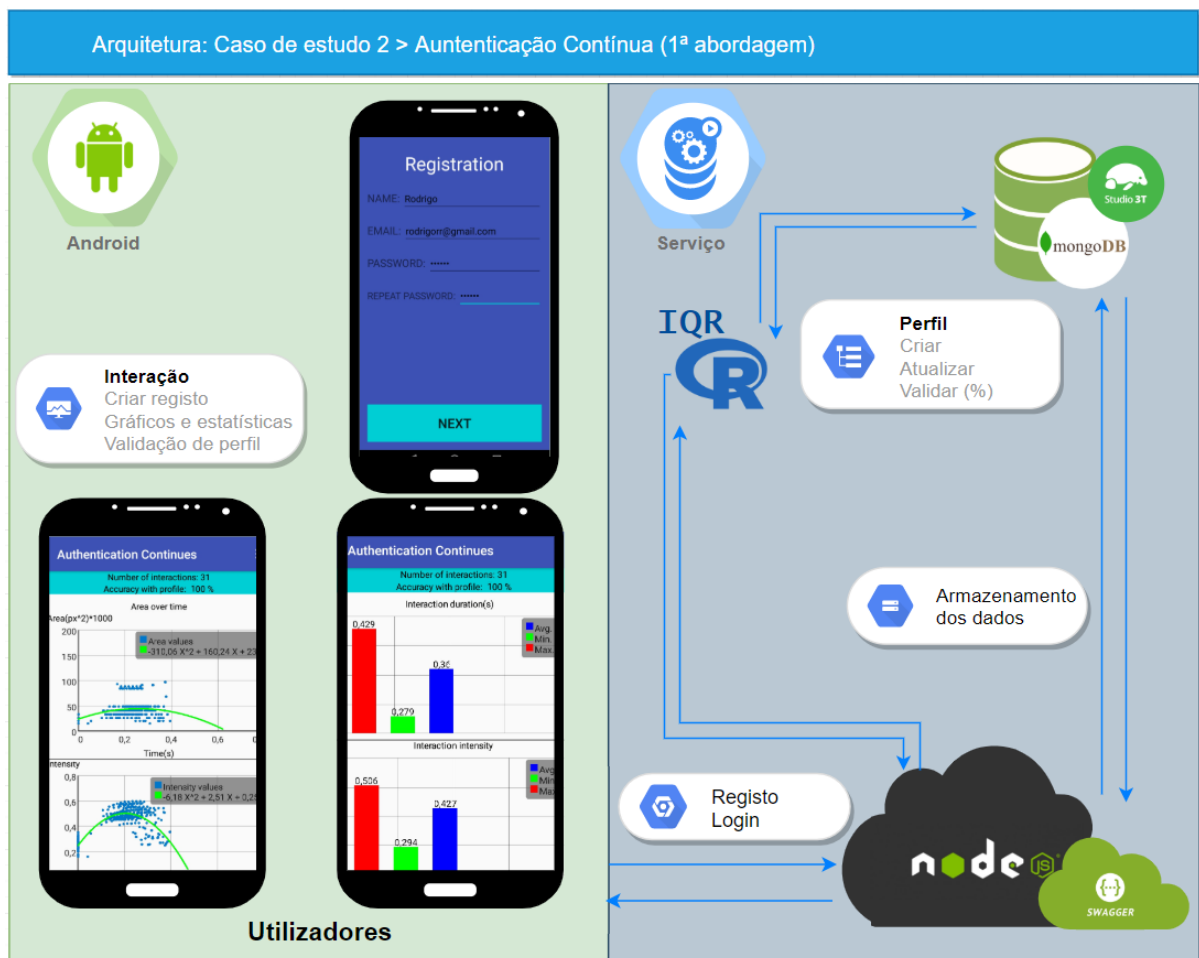


Figura 14: Caso de estudo 2, abordagem estatística.

4.4.1.1 Aplicação móvel

A aplicação móvel foi desenvolvida para *Android* e integrou as funcionalidades da *API REST* que possibilitam a criação de um perfil e a validação do utilizador em tempo real, através da sua interação com o ecrã tátil do *smartphone*.

A aplicação móvel recolhe os dados comportamentais mencionadas na secção 4.2, que descrevem como o utilizador interage com o *smartphone*. Estes dados dizem respeito a características diferenciadoras de cada utilizador, nomeadamente a área, a intensidade e a duração de toque. De forma a maximizar a eficiência da recolha de dados e não sobrecarregar os dispositivos móveis, são recolhidos os dados de um determinado número de interações, e só quando esse número é atingido é que os dados são enviados em conjunto para o servidor, que posteriormente os guarda na base de dados prontos para processamento. Desta forma, é possível diminuir o número de processamentos necessários nos dispositivos móveis. Na aplicação móvel, e para efeitos de validação, também é possível analisar em tempo real gráficos que permitem observar estatísticas de interação com o ecrã tátil em tempo real, relacionados com a última interação (Figura 15) e com o perfil de interação do utilizador, ou seja, relacionado com todas as interações (Figura 16). Note-se que esta aplicação móvel pretende apenas servir como um exemplo de utilização da *API REST* de autenticação contínua desenvolvida, que pode ser integrada em qualquer aplicação independentemente do Sistema Operativo do dispositivo.

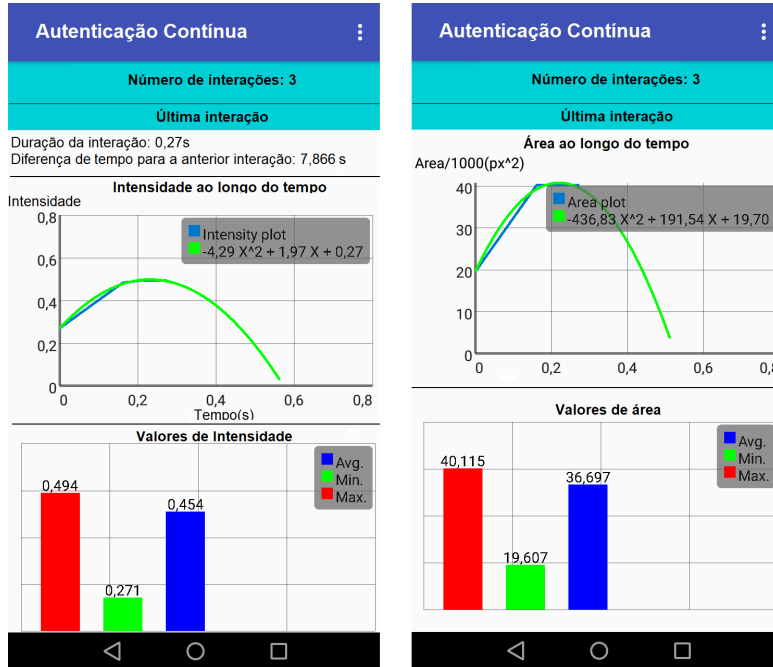


Figura 15: Aplicação móvel, última interação.



Figura 16: Aplicação móvel, perfil.

4.4.1.2 Servidor

O servidor é o elemento central da arquitetura. É composto por três componentes principais: uma base de dados *NoSQL* - mais concretamente uma base de dados *MongoDb* - uma *API REST* em *node.js*, e *software R*. Estes dois últimos são responsáveis pelo serviço de processamento e classificação de dados dos utilizadores, possibilitando a criação do perfil de interação do utilizador bem como a sua classificação.

A *API REST* inclui serviços para registo e login de utilizadores, serviços para gerir a informação na base de dados e serviços para gerir o perfil de interação do utilizador. Os serviços para gerir o perfil de interação do utilizador podem ser divididos em duas funcionalidades:

- **Criar/Atualizar perfil:** Sempre que a aplicação envia novos dados para o servidor, é executado o serviço de processamento de informação que opera sobre os dados que foram recolhidos pelos dispositivos móveis. De forma a reduzir a variabilidade natural deste tipo de dados, é utilizada uma janela deslizante com 30 instâncias, em que cada grupo de 30 instâncias é reduzido a uma só calculando a média. São utilizadas as seguintes variáveis:
 - Mínimo de duração
 - Mínimo de área
 - Mínimo de intensidade
 - x^2
 - Máximo de duração
 - Máximo de área
 - Máximo de intensidade
 - x
 - Média de duração
 - Média de área
 - Média de intensidade
 - n

Tabela 1: Variáveis processadas no servidor, caso de estudo 2.

A criação/atualização do perfil de utilizador utiliza os dados já enriquecidos na fase anterior para criar/atualizar o perfil do utilizador. Este perfil de utilizador é composto pelos limites normais para cada variável, ou seja, o valor inferior e superior que cada variável pode tomar. Estes valores são calculados através do *IQR* que significa *Interquartile Range*, em português Variação Interquartil, e validados através da regra *1.5 IQR* que é frequentemente utilizada na deteção de *outliers* [35]. Estes valores representam o perfil do utilizador e são armazenados na base de dados da seguinte forma: uma linha por cada utilizador e duas colunas por cada variável (limite inferior e limite superior). Este processo é feito periodicamente para manter o perfil atualizado.

- **Classificação:** A classificação do utilizador é feita quando a aplicação invoca o serviço para este efeito. Esta é realizada através de uma comparação dos últimos dados de interação com os perfis de utilizadores existentes. Para classificar o utilizador é feito o cálculo da percentagem de variáveis que estão dentro dos limites do perfil do utilizador. A Figura 17 demonstra

o funcionamento da classificação, a linha verde e a linha vermelha mostram os limites inferior e superior para as diferentes variáveis para um dado utilizador. A linha azul a tracejado mostra os valores da última interação já processada (dados de 30 interações recolhidas pelo dispositivo móvel). Nesta validação todas as variáveis da linha azul a tracejado se encontram dentro dos limites considerados normais para este utilizador, ou seja, há uma sobreposição de 100% com o seu perfil. A linha preta a tracejado mostra a interação de outro utilizador seleccionado aleatoriamente, em que no caso há uma sobreposição de apenas 33%.

Na classificação se a percentagem obtida for superior a um determinado valor pré-estabelecido, o utilizador corresponde ao perfil do utilizador, tratando-se de uma autenticação válida. Caso contrário é considerado que o utilizador não corresponde, sendo uma autenticação inválida. Quando tal acontece a aplicação é informada, podendo esta tomar decisões face à falha da autenticação contínua, como por exemplo bloquear o acesso à aplicação e utilizar um método de autenticação explícito complementar.

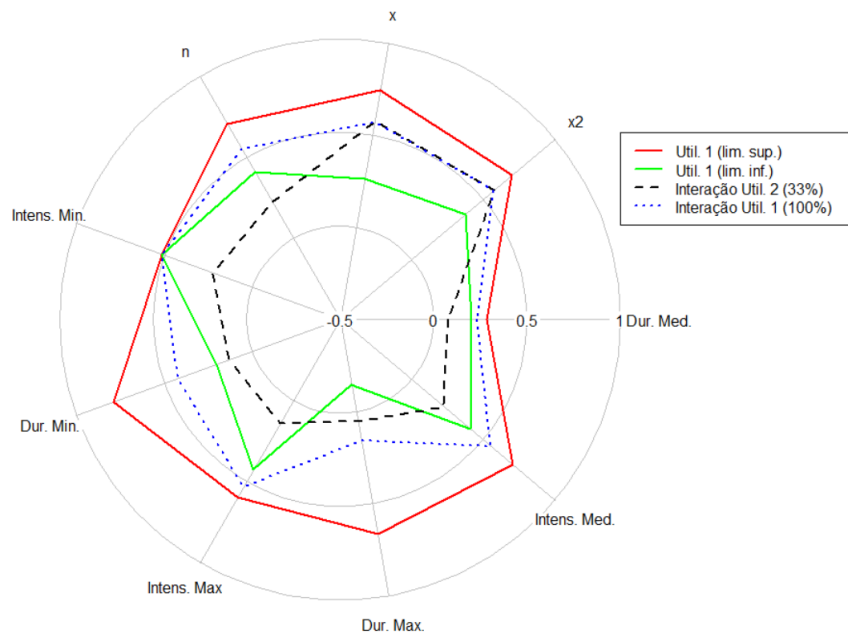


Figura 17: Classificação do utilizador.

Relativamente à base de dados, esta contém todos os dados relevantes, sendo eles:

- **Dados dos utilizadores:** identificação e autenticação de dados, para os utilizadores.
- **Dados comportamentais:** contém todos os dados recolhidos a partir da interação dos utilizadores com a aplicação móvel;
- **Perfis:** representação do perfil de interação dos utilizador;

Por fim, foi utilizado o *software R* que permitiu não só a análise de dados mas também a criação e a gestão de dados que caracterizam o perfil de utilizadores. O *software R* foi utilizado para uma análise preliminar com o objetivo de determinar se existem diferenças de interação significativas nos dados recolhidos da interação dos utilizadores que evidenciassem boas possibilidades de identificação dos mesmos. Para além de uma análise preliminar dos dados, o *software R* teve outro papel fundamental neste estudo, estando incluído no serviço através do módulo *r-script* que permitiu integrar o *software R* com a *API REST*, conseguindo assim efetuar trocas de informação com a *API REST* e integrado com a base de dados através da livreria *mongolite* (*library(mongolite)*), tendo assim acesso a todos os dados biométricos, possibilitando a execução de *scripts R* para validação e classificação do utilizador..

4.4.2 Abordagem com aprendizagem

A abordagem com aprendizagem tem alguns pontos semelhantes à abordagem estatística pelo que o foco irá incidir sobre as principais diferenças. Esta abordagem com aprendizagem está pensada para um produto que se pode disponibilizar, para que possa ser integrado por aplicações móveis. Por esta razão a segunda abordagem consegue deixar algumas configurações para o integrador da aplicação móvel, podendo assim ajustar-se às preferências do integrador e ao tipo de aplicação móvel, enquanto o servidor pode ser o mesmo para as várias aplicações, através da diminuição das configurações predefinidas do seu lado.

A arquitetura desta abordagem com aprendizagem (Figura 18) é baseada na arquitetura genérica (Figura 8), mas apenas é composta por dois principais elementos: a aplicação móvel e o servidor.

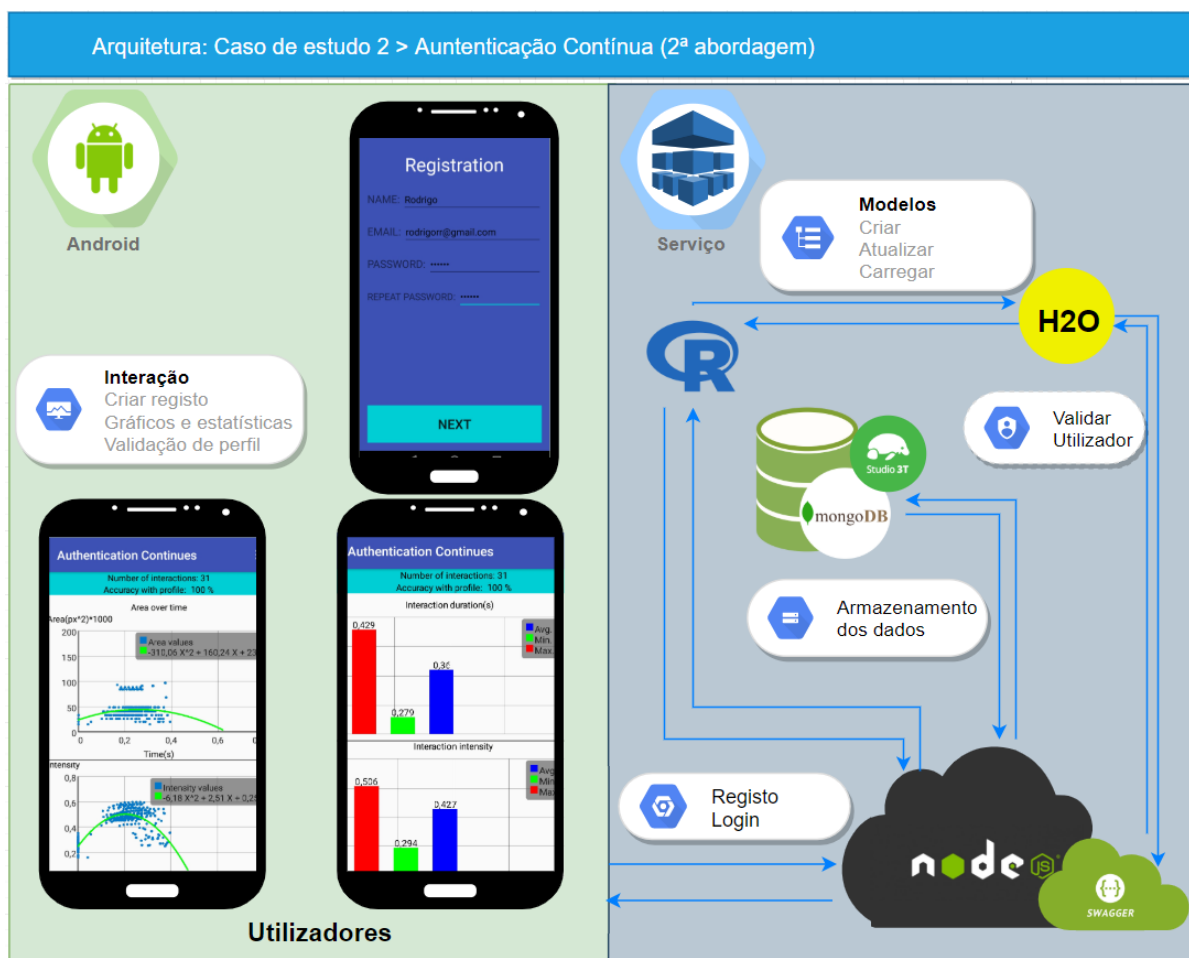


Figura 18: Caso de estudo 2, abordagem com aprendizagem.

4.4.2.1 Aplicação móvel

No que respeita à abordagem com aprendizagem, a aplicação móvel também foi desenvolvida para *Android*, integrando as funcionalidades da *API REST* que possibilitam a criação de um perfil e a validação dos utilizadores em tempo real, através da sua interação com o ecrã tátil do *smartphone*. No entanto, estas funcionalidades são realizadas de forma diferente, como será descrito posteriormente. A aplicação recolhe os mesmos dados comportamentais que na abordagem estatística (secção 4.2), do mesmo modo, ou seja, através dos eventos do *Android* e de forma não intrusiva.

Na abordagem estatística para maximizar a eficiência da recolha de dados e não sobrecarregar os dispositivos móveis, os dados eram recolhidos até um determinado número, número esse predefinido no servidor (30 interações). Nesta abordagem com aprendizagem o integrador pode optar por enviar o número de interações que desejar. Tal como na abordagem estatística, também é possível analisar em tempo real gráficos que permitem observar estatísticas de interação (Figura 15 e 16).

Uma das grandes diferenças da abordagem com aprendizagem no lado da aplicação móvel, é como e quando o perfil do utilizador é atualizado e validado. O integrador é que decide quando quer criar o perfil do utilizador, quando quer que este seja atualizado e quando quer que seja feita a validação do utilizador. Para isso o integrador integra as funcionalidades disponíveis pelo servidor que assim o permitem. Estas funcionalidades serão detalhadas posteriormente, será explicado o que fazem, bem como a metodologia para a sua integração e uso.

4.4.2.2 Servidor

Nesta abordagem, o servidor continua a ser o elemento central da arquitetura, sendo composto por quatro componentes principais: uma base de dados *NoSQL*, mais concretamente uma base de dados *MongoDb*, uma *API REST* em *node.js*, uma *API H2O* e o *software R*. Estes três últimos são os responsáveis pela atualização e validação do perfil de utilizador. A *API REST* inclui serviços para o registo e *login* de utilizadores, serviços para gerir a informação na base de dados e serviços para gerir o perfil de interação do utilizador. Os serviços para gerir o perfil de interação do utilizador podem ser divididos em três funcionalidades:

- **Adicionar Toques (Figura 19):** Sempre que o integrador quiser enviar novos dados para o servidor, é esta a rota a usar. A rota recebe um *array* de toques/interações - uma interação contempla todos os dados biométricos recolhidos na aplicação num toque no ecrã. Estes dados são os mesmos recolhidos na abordagem estatística. Mas aqui ainda não sofrem qualquer tratamento, apenas são adicionados à coleção da base de dados que contempla os dados biométricos dos utilizadores.

- **Atualizar Modelo (Figura 20):** Nesta abordagem um modelo corresponde ao perfil do utilizador, ou seja, é o que contempla toda informação de interação do utilizador. A secção 5.2.2 explica em detalhe o objetivo deste modelo. A atualização do modelo também é feita sempre que o utilizador invocar esta rota, e irá fazer uso dos dados biométricos do utilizador já presentes na base de dados, na qual serão tratados do mesmo modo que na abordagem estatística, fazendo uso do *software R* para esse efeito, obtendo as variáveis da Tabela 1. Posteriormente, é atualizado o modelo do utilizador com estes novos dados, recorrendo à *API REST* que está integrada com a *API H2O* que é responsável pela criação de um novo modelo. Para esta atualização o integrador apenas terá que indicar qual o identificador do utilizador para o qual pretende atualizar o modelo.
- **Validar Utilizador (Figura 21):** A validação do utilizador é feita sempre que o integrador o desejar, sendo que para isso apenas terá que invocar a rota passando como parâmetros o identificador do utilizador e os toques/interações a validar. Outra diferença nesta abordagem é que o integrador é que define o número de interações a validar. Cada interação será classificada através da sua relação com o modelo do utilizador, recorrendo à *API REST* que está integrada com a *API H2O*. Posteriormente, a *API REST* com estes resultados irá calcular a percentagem de certeza das interações corresponderem ao utilizador autorizado.

Para que seja possível utilizar os modelos dos utilizadores estes têm que estar presentes/carregados na *API H2O*. Sempre que é criado um novo modelo este é logo carregado para *API H2O*. Porém se esta for desligada perdem-se todos os modelos carregados. Por este motivo é sempre guardada no armazenamento do servidor um cópia de cada modelo, e sempre que o servidor inicia estes são carregados em memória para o *H2O*.

Relativamente à base de dados, esta contém uma parte dos dados fundamentais dos utilizadores, sendo eles:

- **Dados dos utilizadores:** identificação e autenticação de dados, para os utilizadores.
- **Dados comportamentais:** contém todos os dados recolhidos a partir de interação dos utilizadores com a aplicação móvel;
- **Modelo:** representa dados informativos dos modelos dos utilizadores, *timestamp* da última atualização e a localização do modelo no sistema de ficheiros do servidor;

Relativamente ao *software R*, este foi utilizado para permitir criar e atualizar os modelos dos utilizadores, tendo servido como ponte entre a *API REST* e a *API H2O*. Foi integrado com a *API REST* através do módulo *r-script*. O *software R* encontra-se também integrado com a base de dados através da livraria *mongolite* (*library(mongolite)*), tendo assim acesso a todos os dados biométricos, e com a *API H2O* através da livraria *H2O* (*library(H2O)*). A *API H2O* tem duas funcionalidades que são criar e atualizar os modelos de interação para os utilizadores, através da integração com o *software R*, e validar se os conjuntos de interações pertencem ou não ao modelo do utilizador, através da integração com a *API REST*.

POST /AdicionarToques

Description
Adicionar os dados de toques do utilizador

Parameters

Name	Located in	Description	Required	Schema
arrayToques	body	toques de interacao do utilizador com a app	No	<pre>▼ Toques { id: string toques: ▶[] }</pre>

Responses

Code	Description	Schema
200	Success	<pre>▼ { successe: boolean percentage: number message: string }</pre>
default	Error	<pre>▼ ErrorResponse { message: string * }</pre>

Security

Security Schema	Scopes
jsonWebToken	

Try this operation

Figura 19: Documentação da rota para adicionar dados dos toques.

POST /AtualizarModelo

Description
Atualiza o modelo do utilizador

Parameters

Name	Located in	Description	Required	Schema
idUtilizador	body	id do utilizador	No	<pre>{ id: string }</pre>

Responses

Code	Description	Schema
200	Success	<pre>{ sucesso: boolean message: string percentage: string }</pre>
default	Error	<pre>ErrorResponse { message: string * }</pre>

Security

Security Schema	Scopes
jsonWebToken	

Try this operation

Figura 20: Documentação da rota para atualizar modelo.

POST /ValidarIdentidade

Description
Adicionar os dados de toques do utilizador para validacao com perfil

Parameters

Name	Located in	Description	Required	Schema
arrayToquesInteracao	body	toques de interacao do utilizador	No	<pre>ToquesInteracao { id: string toques: *[] }</pre>

Responses

Code	Description	Schema
200	Success	<pre>{ sucesso: boolean message: string percentage: string }</pre>

Security

Security Schema	Scopes
jsonWebToken	

Try this operation

Figura 21: Documentação da rota para validar utilizador.

5 Validação

Nesta secção são descritos os dois casos de estudos realizados, bem como os resultados obtidos.

5.1 Influência da idade e género na interação com dispositivos móveis

Neste caso de estudo foram examinados os dados das características comportamentais recolhidos nos dispositivos móveis, as diferenças entre padrões de interação devido a variáveis sócio-demográficas, como o género e a idade, embora outros também poderiam ter uma influência, como por exemplo na saúde.

5.1.1 Descrição

Para validar a abordagem proposta e para determinar se o género e/ou idade influenciam a interação com o *smartphone*, foi realizado um caso de estudo envolvendo 32 participantes (16 homens e 16 mulheres). As idades encontram-se representadas nos histograma da Figura 22, a idade média dos participantes foi de 34,91 anos (min = 10, máximo = 67). A distribuição de idade por género também é semelhante: média de idade do género masculino foi de 35,44 anos (min = 16, máximo = 67), enquanto que a idade média feminina foi de 34,38 anos (min = 10, máximo = 60).

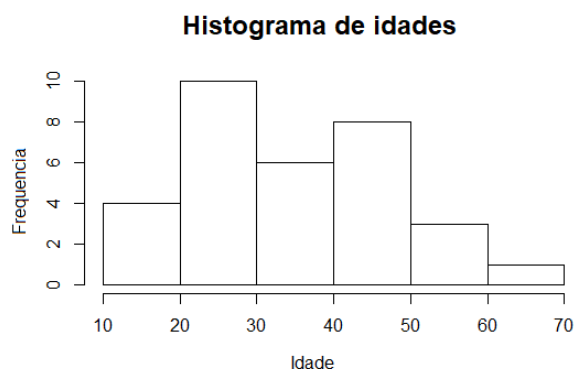


Figura 22: Histograma de idades, caso de estudo 1.

A metodologia para a recolha de dados de interação foi baseada na aplicação móvel desenvolvida para a Escola de Psicologia da Universidade do Minho, para a estimulação de memória e outras capacidades cognitivas. Nesta aplicação, uma nova tarefa foi criada (igual para todos os

participantes) que incluiu uma tarefa de memorização e uma tarefa de recordação. Nesta aplicação, os utilizadores exploraram e navegaram por um cenário virtual, tentando memorizar aspectos específicos. Neste caso, o cenário virtual era composta por 29 imagens estáticas, distribuídas entre 2 divisões virtuais.

Dois estímulos visuais foram adicionados em duas imagens, para serem usados na tarefa de recordação. A tarefa de recordação foi realizada logo após o fim da tarefa de memorização, visto que objetivo deste estudo de caso não era estudar ou estimular a memória, mas sim para avaliar a adequação da abordagem para estudar mecanismos de interação com utilizadores. A tarefa de recordação foi composta por 7 questões de tipos diferentes, em que foram utilizados 11 estímulos visuais relativos à tarefa de memorização. Os utilizadores foram autorizados a interagir com a aplicação numa fase de treino, para que pudessem se familiarizar com as tarefas.

Os dados foram recolhidos durante as duas tarefas. Havia um limite de tempo para os utilizadores realizarem a tarefa de memorização, apesar de não haver tempo mínimo, ou seja, se o utilizador considerasse que já memorizou todos os detalhes necessários, podia avançar para a tarefa de recordação. Em média, cada utilizador gastou cerca de 5.16 minutos interagindo com a aplicação, e tocou no ecrã 79,22 vezes para completar ambas as tarefas, resultando em um conjunto de dados com um total de 2535 toques.

5.1.2 Resultados

Nesta secção é feita a análise de dados das características de interação acima mencionadas (secção 4.3.2) com o objetivo de determinar se existem diferenças significativas de interação, resultantes de diferentes características como a idade ou género.

No que diz respeito ao género, as duas variáveis que melhor distinguem o género masculino do género feminino são a duração de toque e as diferenças de tempo entre as decisões. Em ambos os casos, os participantes do género feminino tendem a exibir valores mais elevados, como mostra a Figura 23, 24 e 25. As diferenças observadas são estatisticamente significativas para ambas as características, com $p\text{-value} = 1.933^{-9}$ e $p\text{-value} < 2.2^{-16}$, respetivamente.

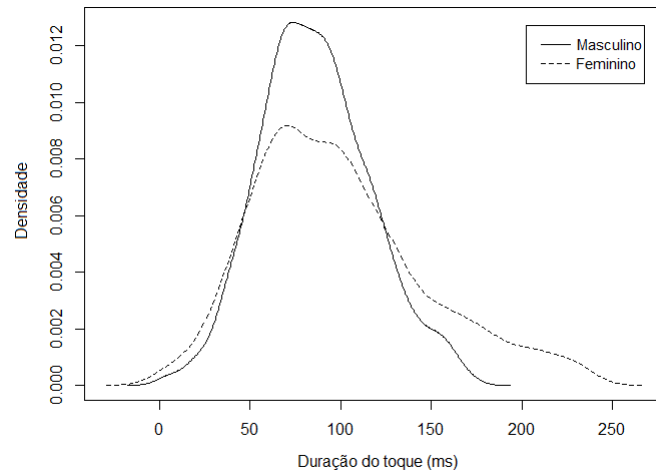


Figura 23: Duração toque ($p\text{-value} = 1.933^{-9}$) por género.

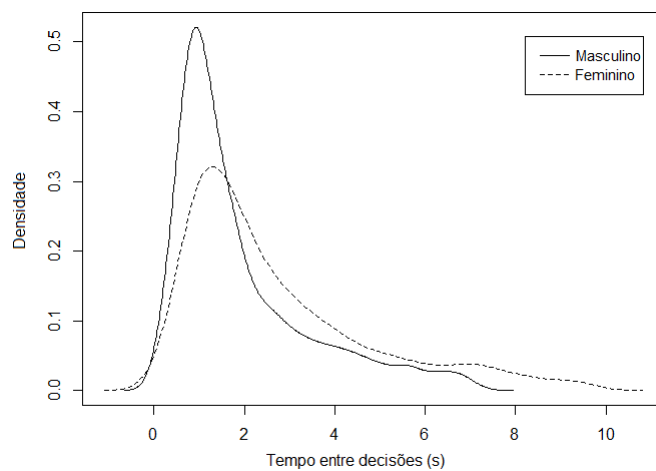


Figura 24: Diferenças de tempo entre decisões ($p\text{-value} < 2.2^{-16}$) por género.

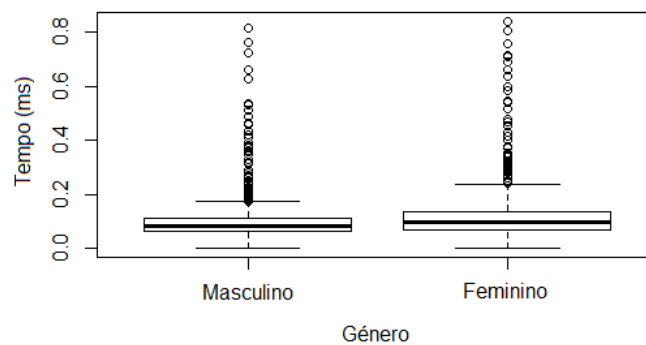


Figura 25: *BoxPlot* de duração do toque por género.

Uma abordagem semelhante foi utilizada para visualizar e analisar estatisticamente diferenças entre grupos etários. Para este fim, os participantes foram agrupados em dois grupos consoante a sua idade: o chamado grupo jovem, composto por utilizadores que têm até 35 anos resultando num total de 17 participantes jovens, e o chamado grupo idoso que é constituído pelos restantes utilizadores, 15 participantes.

Em geral, e como esperado, os participantes idosos tendem a ter uma interação mais lenta, em geral, como representado na Figura 26, 27 e 28, que mostra a distribuição dos dados sobre a duração do toque e o tempo entre as decisões. As Tabelas 2 e 3 apresentam em mais detalhe esses resultados. Os toques de pessoas mais idosas são, em média, 20.65 milissegundos mais lentos. O tempo entre cada duas interações consecutivas também é em média 2.54 segundos mais lento. As diferenças de duração de toque e o tempo entre as decisões entre os dois grupos também são estatisticamente significativas, com $p\text{-value} = 2.909^{-8}$ e $p\text{-value} = 0.025$, respetivamente.

Grupos de idade	Média	Mediana	Desvio Padrão
Jovem	89.45	89.45	35.36
Idoso	110.1	97.5	54.22

Tabela 2: Resumo de estatísticas da duração de toque (em milissegundos).

Grupos de idade	Média	Mediana	Desvio Padrão
Jovem	1.58	1.26	1.06
Idoso	4.12	2.87	3.34

Tabela 3: Resumo de estatísticas das diferenças de tempo entre decisões (segundos).

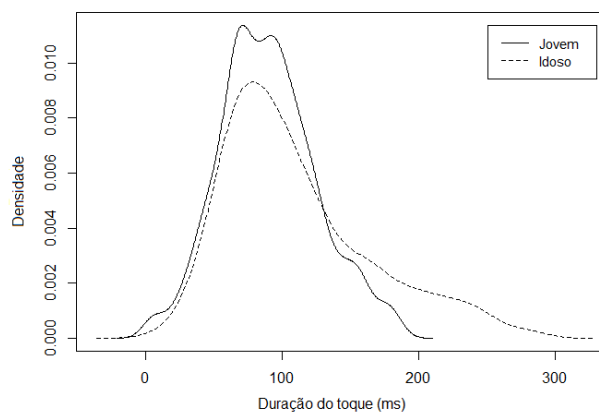


Figura 26: Duração toque ($p\text{-value} = 2.909^{-8}$) por grupos de idade.

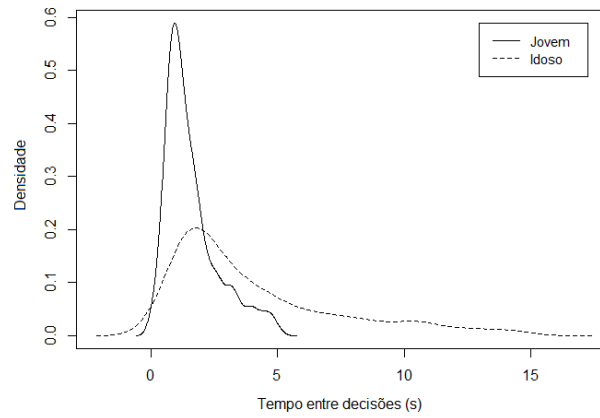


Figura 27: Diferenças de tempo entre decisões (p -value < 0.025) por grupos de idade.

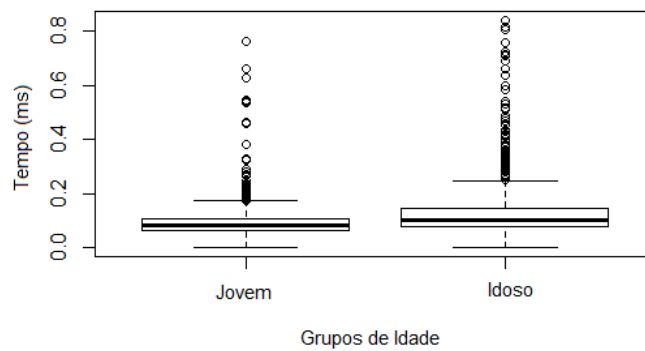


Figura 28: *BoxPlot* de duração do toque por grupos de idade.

Duas outras características diferenciadoras em relação à idade são os valores médios de intensidade e área de toque. As Figuras 29, 30, 31 e 32 representam visualmente as diferenças na distribuição dos dados. Em geral, as pessoas mais idosas tendem a ter toques mais intensos e também tendem a usar uma área maior do dedo (área de toque média para o grupo mais idoso é 22.896 pixels, contra 20.402 pixels para o grupo mais jovem). As diferenças observadas são também estatisticamente significativas com $p\text{-value} = 2.909^{-8}$ para a intensidade de toque e $p\text{-value} = 2.643^{-5}$ para a área de toque. Pode concluir-se que, tanto o género como a idade têm influência de forma significativa na interação com dispositivos móveis.

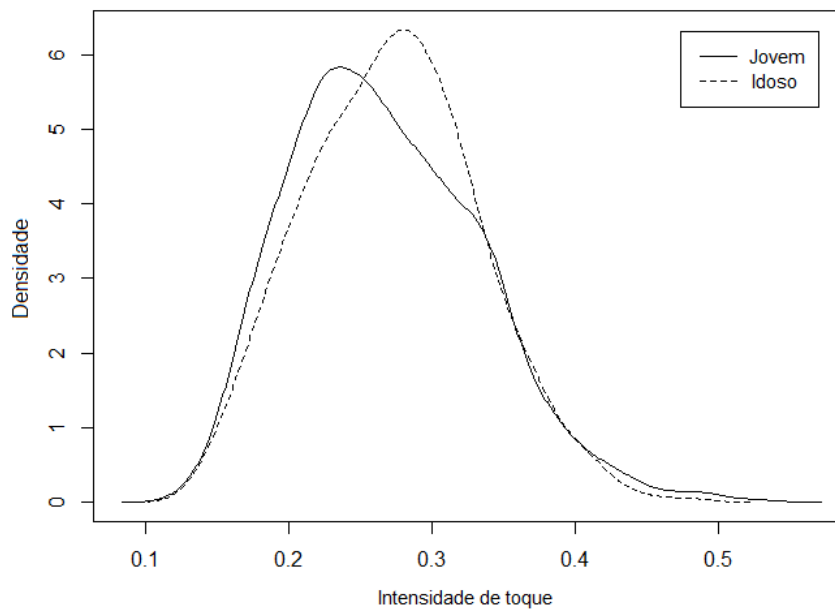


Figura 29: Diferenças no valor médio de intensidade de toque ($p\text{-value} = 2.909^{-8}$) por grupos de idade.

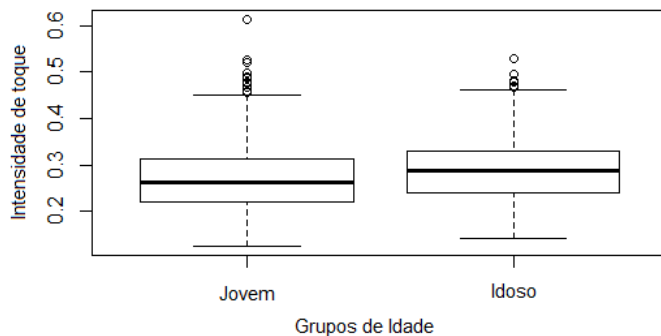


Figura 30: *BoxPlot* da intensidade de toque por grupos de idade.

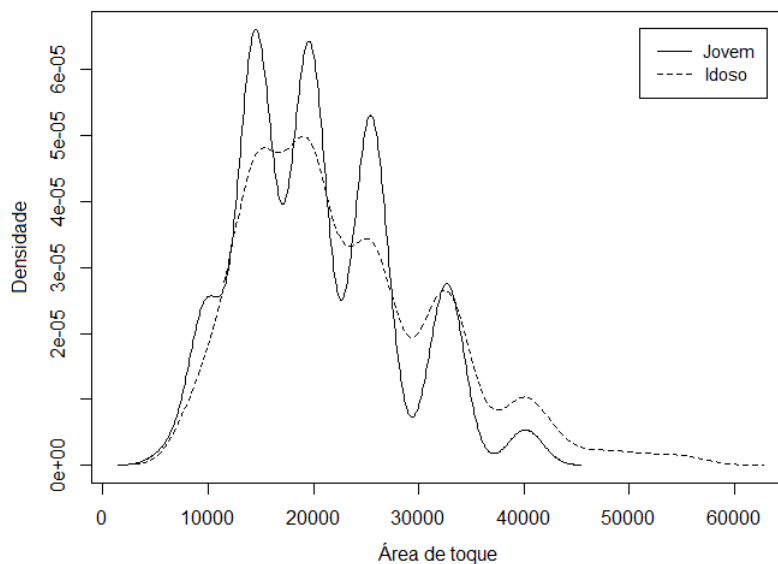


Figura 31: Diferenças no valor médio da área de toque ($p\text{-value} = 2.643^{-5}$) por grupos de idade.

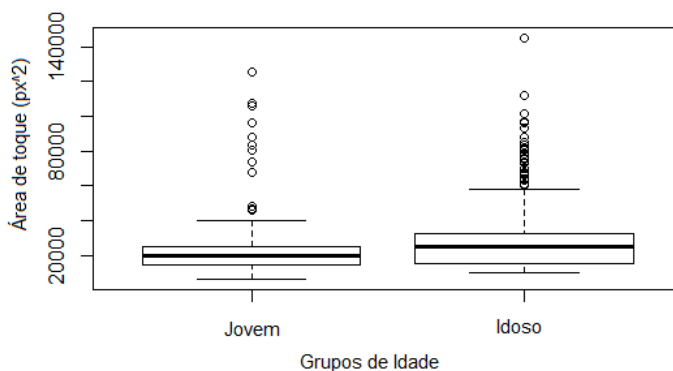


Figura 32: *BoxPlot* da área de toque por grupos de idade.

Após a análise preliminar dos dados descritos (realizada com o *software R*), conclui-se que há diferenças significativas na interação em diferentes géneros e idades, posto isto, procedeu-se ao treino de um modelo capaz de distinguir utilizadores jovens e idosos. Para isso, foi utilizado um modelo com base em um conjunto de árvores de decisão (treino realizado no *H2O*). Este algoritmo baseia-se num conjunto de modelos de previsão fracos e propositadamente simples (as árvores de decisão) que, quando utilizados em conjunto, originam um modelo com uma precisão geralmente mais elevada que um único modelo complexo. Neste algoritmo, assim como em outros conjuntos de árvores de decisão, as previsões de cada árvore individualmente são consideradas fracas no sentido de que o modelo é treinado com uma amostra de dados. No entanto, a combinação de todas estas previsões geralmente produz um bom modelo, com uma boa tendência para evitar *overfitting*, ou seja, boa capacidade de generalização.

O conjunto de dados usados para treinar o modelo contém uma instância para cada toque, incluindo as 8 variáveis seguintes:

- Máximo, mínimo e média da área de toque;
- Máximo, mínimo e média intensidade toque;
- Tempo entre as decisões (o tempo gasto desde último toque);
- Idade, é variável binária e a variável alvo, adicionados manualmente, para identificar a faixa etária do utilizador que realizou o toque (jovem ou idoso).

O modelo treinado (neste caso, um modelo de classificação binomial) é composto por 30 árvores, cada uma com uma profundidade máxima de 6 níveis. Cada uma dessas árvores foi treinada com um subconjunto aleatório de 80% das linhas do conjunto de dados e de 70% das colunas.

O modelo foi treinado usando a validação cruzada 5 vezes. O modelo final classificou corretamente 82,03% dos utilizadores jovens e 66,3% dos utilizadores idosos, com um total de 76,08% de classificações corretas ($precision = 0,664, recall = 0,694, F1\ Score = 0,678, AUC = 0,82$). Destas, 744 instâncias representam verdadeiros negativos (o modelo classificou como jovens e eram jovens), 369 representam verdadeiros positivos (casos em que a interação correspondia a um idoso e o modelo classificou-o de acordo), 163 representam falsos negativos (o modelo determinou que a interação correspondia com a de um jovem, mas na verdade a interação era de um idoso) e 187 representam falsos positivos (o modelo previu que era um idoso quando na verdade era um jovem). Em relação à percentagem de erro, 17,97% correspondem a falsos negativos e 33,63% a falsos positivos. A Figura 33 mostra o gráfico da curva *ROC*, a Figura 34 mostra a melhoria na medida

de erro durante o treino. Na Tabela 4 está representada a precisão do modelo através da *confusion matrix*.

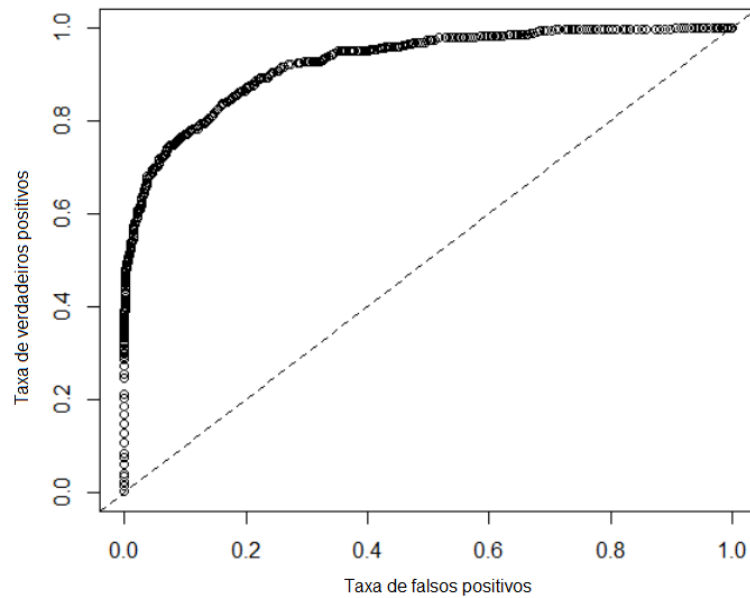


Figura 33: Taxa de verdadeiros positivos e taxa de falsos positivos (AUC = 0,82).

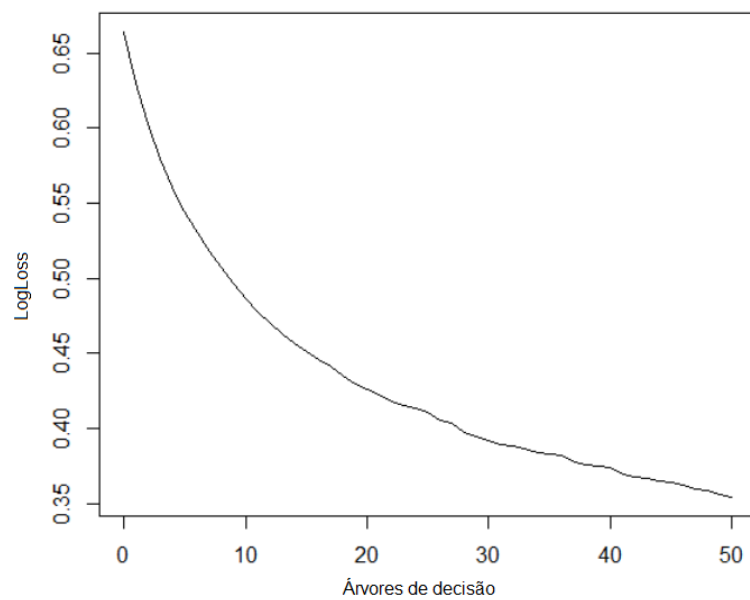


Figura 34: Evolução de erro durante o treino.

Previsto / Realidade	Idoso	Jovem	Erro
Idoso	369	187	0,3363
Jovem	163	744	0,1797
Total	532	931	0,2392

Tabela 4: *Confusion Matrix* do modelo treinado.

5.2 Autenticação contínua em dispositivos móveis

Neste caso de estudo foi estudado um novo método de autenticação contínua para dispositivos móveis, através de dados de biometria comportamental, que permite a classificação de utilizadores de acordo com o seu comportamento de interação com o ecrã. Neste caso de estudo analisaram-se e compararam-se duas abordagens diferentes, mas com o mesmo objetivo. Estas duas abordagens são descritas separadamente.

5.2.1 Abordagem Estatística

Para validar esta abordagem, diferentes utilizadores realizaram interações com uma aplicação. Esta aplicação móvel é uma demonstração de utilização do serviço de autenticação contínua, em que os utilizadores interagiram de forma livre, seguindo inicialmente um tutorial existente, em que o único objetivo é fazer com que os mesmos interajam de várias formas com o ecrã.

Durante este tempo, a aplicação móvel recolheu dados de interação, sendo que os dados recolhidos dizem respeito a 30 utilizadores, 15 mulheres e 15 homens, com idades que variam entre os 10 e os 67 anos e com uma média de idade de 35,95 anos e desvio padrão de 14,96 anos.

Isto resultou na recolha de 1665 instâncias de interação (cada interação é o resultado da agregação e normalização de 30 toques como descrito na secção 4.4.1.2). Uma análise preliminar foi realizada para verificar a existência de diferenças significativas entre os utilizadores. Como demonstram as Figuras 35 e 36, verificou-se a existência destas diferenças, sendo que a Figura 35 mostra como a duração média de toque é distribuída para cada utilizador, apresentando diferenças significativas para a média, bem como para o desvio padrão.

Do mesmo modo a Figura 36 mostra a distribuição da intensidade do toque, e mais uma vez, as diferenças entre cada utilizador são claramente visíveis. Diferenças semelhantes foram observadas nas restantes variáveis.

Esta análise preliminar apoia a hipótese de que considerando todas as variáveis, ou seja, combinado todas as diferenças de todas as variáveis é possível obter um perfil de interação único para cada utilizador, como se fosse uma impressão digital.

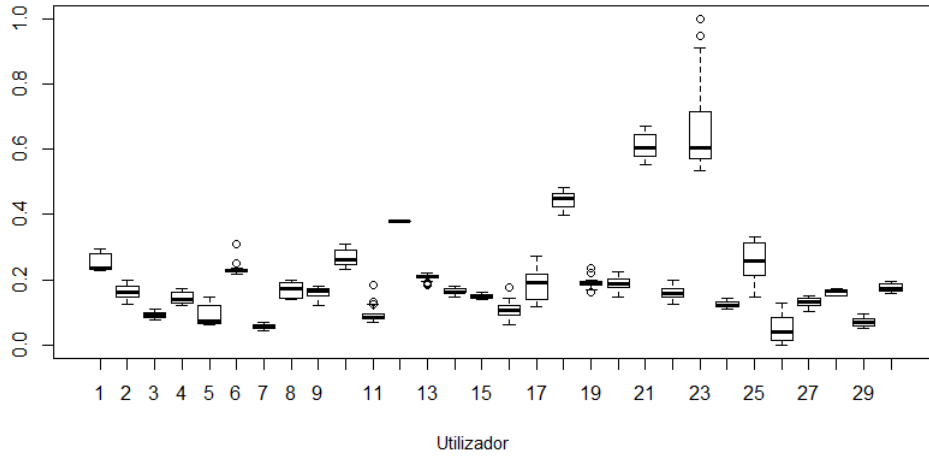


Figura 35: Distribuição do valor médio da duração do toque, para os 30 utilizadores.

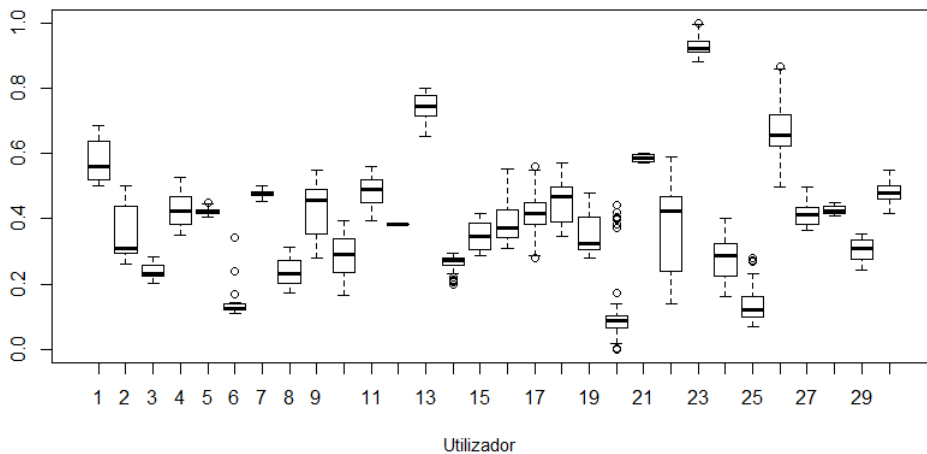


Figura 36: Distribuição do valor médio da intensidade do toque, para os 30 utilizadores.

Após verificar a existência de diferenças significativas entre os padrões de interação dos utilizadores, foi criado um modelo de interação que pode ser usado para classificação dos perfis de utilizador. Para isso, foi implementada a seguinte abordagem. Para cada utilizador e para cada variável foram calculados os quatro quartis e os intervalos interquartis (*IQR*). Com base nestes valores foram definidos os valores superiores e inferiores para cada perfil de utilizador. Estes valores representam os limites entre os quais, geralmente, os utilizadores se comportam ao interagir com os dispositivos móveis. Os mesmos são representados pelas equações 1 e 2 como proposto por John Tukey (pioneiro a propor os diagramas de caixa). Estes diagramas são normalmente utilizados como uma linha de marcação para *outliers* [35].

O perfil de interação de cada utilizador é atualizado em intervalos regulares, quando novos

dados de interação estão disponíveis. Os perfis estão armazenados na base de dados, na qual há uma instância para cada utilizador. Cada instância de perfil é caracterizada por 26 variáveis, designadamente: o identificador do utilizador e os 24 limites para cada uma das 12 variáveis (superior e inferior) e o timestamp em que foi realizada a última atualização. Estes dados são usados posteriormente para classificar o utilizador.

$$1) \textit{Limite Inferior}_{u,i} = Q1_{u,i} - 1.5 * IQR_{u,i}$$

$$2) \textit{Limite Superior}_{u,i} = Q3_{u,i} + 1.5 * IQR_{u,i}$$

$$u = \textit{utilizador} \quad i = \textit{índice da variável}$$

A Figura 37(a) representa os valores médios de interação de 3 utilizadores diferentes, sendo as suas diferenças de rápida visualização. Relembrando agora a Figura 37(b) já retratada na secção 4.4.1.2, esta representa graficamente o perfil de interação para o utilizador 1. Os limites superior e inferiores são representados por uma linha contínua, vermelho e verde, respetivamente. Duas instâncias de dados estão representadas na mesma figura, uma do mesmo utilizador (linha azul tracejada) e outra de outro utilizador diferente (linha preta tracejada). A imagem demonstra que a linha tracejada azul está completamente dentro dos limites do perfil de interação do utilizador, enquanto a linha tracejada a preto está apenas parcialmente dentro desses limites.

O serviço de classificação de utilizadores funciona da seguinte forma. Compara os valores das últimas interações com os limites superiores e inferiores do seu perfil de interação e calcula o valor da percentagem de variáveis que se encontram dentro dos limites. Caso a percentagem seja acima de um limite específico, pressupõe-se que o utilizador atual é o utilizador autorizado. Caso contrario, pressupõe-se que um utilizador não autorizado obteve acesso à aplicação. Se for detetado que um utilizador não autorizado teve acesso à aplicação, há a possibilidade de esta bloquear o acesso e solicitar uma autenticação explícita, como *PIN* ou impressão digital.

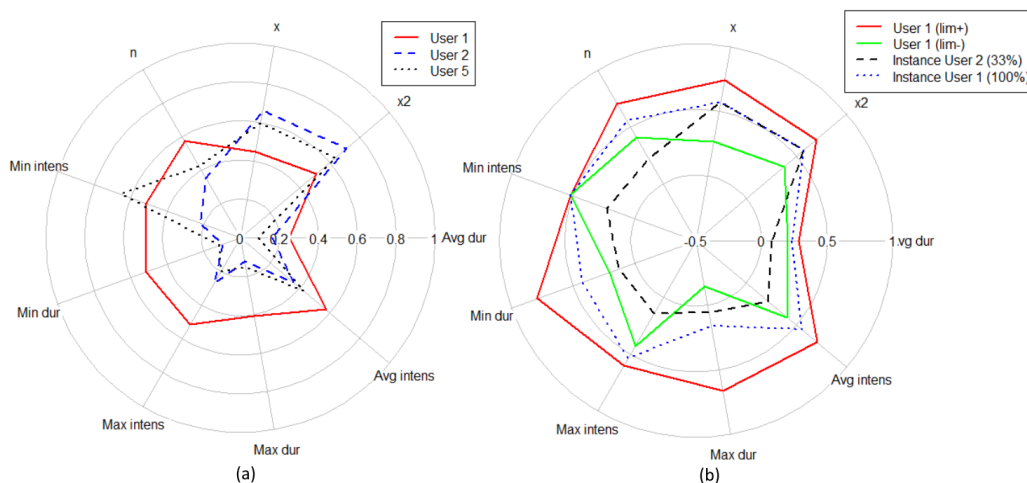


Figura 37: (a) Representação gráfica dos valores médios de cada característica de interação, para três utilizadores. (b) Representação gráfica do perfil de interação do utilizador 1, comparando com duas instâncias de classificação, uma do mesmo utilizador e outra de um utilizador diferente.

5.2.1.1 Resultados

A fim de avaliar a adequação da abordagem proposta, o seguinte teste foi realizado. Os dados foram divididos em dois grupos: um grupo de treino com 75% dos dados (1248 observações) e outro grupo para testes de validação contendo os restantes 25% (417 observações). Os perfis de interação para os trinta utilizadores foram construídos seguindo a metodologia descrita anteriormente, utilizando os dados de treino.

De seguida, os dados do grupo de teste foram processados para simular violações de autenticação. Como todos os dados foram recolhidos num cenário sem a ocorrência de acessos não autorizados, foram simulados esses ataques, sendo que 67% das instâncias foram alteradas para simular que elas pertencem a um utilizador diferente do utilizador real.

Os restantes 33% ficaram inalterados. Cada instância de dados foi então submetida ao serviço de classificação, que classificou como violação (positiva) quando a percentagem de variáveis dentro dos limites do perfil do utilizador foi inferior a 80%, caso contrário classificou como uma não violação (negativa). Dado que o conjunto de dados contém informações sobre o utilizador que produziu os dados de interação, é possível calcular a *confusion matrix*, como apresentado na Tabela 5.

Na Tabela 5, 266 instâncias representam verdadeiros positivos (violações reais que foram detetadas), 125 representam verdadeiros negativos (casos em que a interação correspondia ao utilizador do dispositivo e o serviço classificou-o de acordo), 6 representam falsos positivos (o serviço deter-

ESTG / P.PORTO

minou que a interação não correspondia com o perfil do utilizador do dispositivo, mas na verdade a interação era do utilizador) e 20 representam falsos negativos (o serviço previu que não era uma violação quando realmente era). Em relação à percentagem de erro, 2,20% correspondem a falsos positivos e 13,79% a falsos negativos. Os resultados mostram uma classificação correta de 93,76% ($precision = 0,978$, $recall = 0,930$, $F1\ Score = 0,953$).

Previsto / Realidade	Sim	Não	Erro
Sim	266	6	0,0220
Não	20	125	0,1379
Total	286	131	0,0623

Tabela 5: *Confusion matrix* de classificação de interações.

5.2.2 Abordagem com aprendizagem

Para validar a abordagem com aprendizagem foi utilizada a mesma amostra de dados da abordagem estatística, ou seja, os dados recolhidos são de 30 utilizadores, 15 mulheres e 15 homens, com idades que variam entre os 10 e os 67 anos, com média de idade de 35,95 anos e desvio padrão de 14,96 anos. Posteriormente, estes dados foram utilizados para criar modelos de interação para cada utilizador. Para melhor compreender como foi feito este processo, serão explicados os procedimentos realizados a fim de obter um modelo de dados, para cada utilizador. Inicialmente, o utilizador tem que efetuar um registo na aplicação. Para que seja concluído este registo, o utilizador tem que realizar um tutorial, este tutorial permite à aplicação móvel obter dados suficientes de interação e, assim, criar um modelo de interação para o utilizador. Terminando o tutorial, os dados são adicionados à base de dados (Figura 19) e é criado o modelo para o utilizador (Figura 20).

Para que este modelo seja criado a *API REST* inicia um *script R*, este *script* tem acesso aos dados de interação que se encontram na base de dados e através de *queries* consegue obter os dados de interação e criar um modelo para o utilizador. O *script* normaliza os dados e agrega-os utilizando uma janela deslizante de 30 instâncias, como já descrito anteriormente. A etapa seguinte é a criação do modelo. O modelo é criado com base em todas as interações existentes na base de dados de todos os utilizadores, adicionando apenas uma variável nominal que é a que identifica se a interação pertence ou não ao utilizador do modelo. Esta é a variável dependente do modelo, isto é, a variável que será prevista pelo modelo. Ou seja o modelo é treinado para conseguir identificar se uma determinada interação de um suposto utilizador corresponde ou não ao modelo associado a esse utilizador.

Após a criação/atualização do modelo, este fica carregado em memória no *H2O*. O *script R* guarda uma cópia do modelo no servidor e atualiza a coleção de dados referente aos modelos (identificador do utilizador, local no sistema de ficheiros onde se encontra a cópia do modelo, e data de quando foi atualizado pela última vez).

Voltando à aplicação móvel, assim que o registo esteja concluído, a aplicação vai recolhendo novos dados, e quando o integrador assim o desejar poderá validar as interações com o modelo (Figura 21). Internamente no servidor são realizadas chamadas à *API H2O*, a fim de carregar os dados das interações e efetuar a validação de cada interação com o modelo do utilizador. Como resposta da *API H2O* será devolvida a previsão do modelo que determina se determinada instância pertence ou não ao utilizador. Posteriormente na *API REST* é calculada a percentagem de interações em que os resultados corresponderam ao modelo do utilizador.

A aplicação irá receber esta percentagem e, mediante o seu valor, poderá optar por adicionar os novos dados e atualizar o perfil caso a resposta do modelo indique que não houve uma violação

de aceso. Caso contrário, poderá solicitar outro tipo de autenticação. Se esta nova autenticação for concluída com sucesso, ou seja, o utilizador tem o devido acesso à aplicação tratou-se de um falso positivo, pelo que devem na mesma ser adicionados os dados e atualizado o modelo do utilizador. Se por outro lado o novo pedido de autenticação não for realizado com sucesso, ou só passado determinado tempo (configurado pelo integrador) é que se obteve com sucesso a autenticação, deve-se assumir que se trata de um verdadeiro positivo, sendo que os dados não devem ser adicionados à base de dados, pois há uma grande probabilidade de os dados pertencerem a outro utilizador.

Este procedimento descreve a forma pela qual a integração dos serviços desenvolvidos deve ser feita de forma a os intergradores fazerem o correto uso da aplicação. O fluxograma presente na Figura 38 resume este processo.

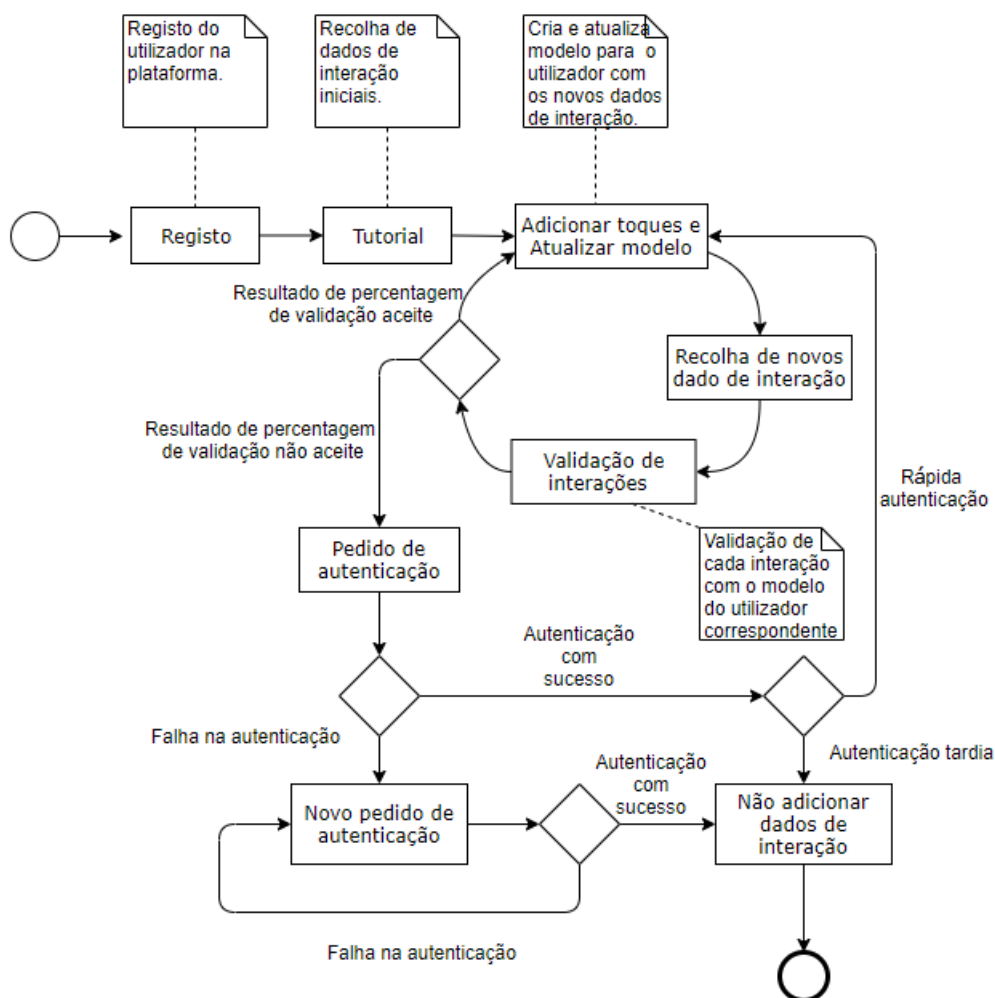


Figura 38: Processo que implementa o segundo caso de estudo.

5.2.2.1 Resultados

A fim de avaliar a adequação da abordagem proposta, foi feita uma análise aos 30 modelos dos 30 utilizadores. Foram realizadas análises dos resultados da fase de treino do modelo, que melhor ajudam a perceber a eficiência dos modelos. Os modelos treinados nesta abordagem são modelos de redes neuronais, que são configurados com as seguintes características: 75% dos dados (1224 observações) para treino e 25% dos dados (408 observações) para testes de validação. O modelo ainda foi configurado para ativar a *score each iteration* (ter medidas de performance ao longo do treino) e *balance classes* (para balancear as classes, no caso de não serem balanceadas). De seguida foi calculada a *confusion matrix* e a curva *ROC* para cada modelo, como detalhado nas Figuras 39 e 40. Na Figura 39 podem analisar-se os resultados individualmente para cada modelo, nomeadamente: 1) violações reais que foram detetadas (FALSE/FALSE); 2) casos em que a interação correspondia ao utilizador do dispositivo e o modelo classificou-o de acordo (TRUE/TRUE); 3) falsos negativos que acontecem quando o modelo determinou que a interação correspondia ao perfil do utilizador mas na verdade era uma violação (TRUE/FALSE); e 4) falsos positivos que acontecem quando quando o modelo previu que era uma violação mas na verdade correspondia ao perfil de interação do utilizador (FALSE/TRUE). Na Figura 40 também pode ser analisada individualmente para cada utilizador a curva *ROC* e o seu valor de *AUC*.

Posteriormente foram efetuados cálculos para obter a percentagem de classificações corretas, obter os valores de *recall*, e os valores de *precision*, que podem ser analisados individualmente para cada modelo na Tabela 6.

Para analisar de forma geral os resultados, efetuou-se o cálculo da média para a classificação correta nos 30 modelos. Assim, obteve-se um valor de classificação correta de 98,94% (*precision* = 0,943, *recall* = 0,90, *F1 Score* = 0,921).

Outra grande vantagem desta abordagem com aprendizagem é que nos modelos é tida em consideração a importância das variáveis para o utilizador, ou seja, o algoritmo presente no *H2O* calcula os pesos de cada variável conforme a importância dessa mesma para o utilizador. Após a análise destes pesos, pode concluir-se que a importância das variáveis é bastante diferente de utilizador para utilizador, como pode ser visto na Figura 41 e 42. Isto realça, uma vez mais, as diferenças que existem na interação entre utilizadores.

ESTG / P.PORTO

id: 5b630243b9cca12eac0ee054 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>402</td><td>0</td><td>0 / 402</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>6</td><td>0 / 6</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>402</td><td>6</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	402	0	0 / 402	TRUE	0	6	0 / 6	Totals	402	6	0 / 408	id: 58b4856818dfdc30c0de4960 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>380</td><td>9</td><td>0.02313625 9 / 389</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>3</td><td>16</td><td>0.15789474 3 / 19</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>383</td><td>25</td><td>0.02941176 12 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	380	9	0.02313625 9 / 389	TRUE	3	16	0.15789474 3 / 19	Totals	383	25	0.02941176 12 / 408	id: 5b4cce38eff96d1354aaf5c3 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>393</td><td>0</td><td>0 / 393</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>15</td><td>0 / 15</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>393</td><td>15</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	393	0	0 / 393	TRUE	0	15	0 / 15	Totals	393	15	0 / 408	id: 5b4cce40eff96d1354aaf5c5 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>372</td><td>26</td><td>0.06532663 26 / 398</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>10</td><td>0.00000000 0 / 10</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>372</td><td>36</td><td>0.06372549 26 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	372	26	0.06532663 26 / 398	TRUE	0	10	0.00000000 0 / 10	Totals	372	36	0.06372549 26 / 408
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	402	0	0 / 402																																																																																
TRUE	0	6	0 / 6																																																																																
Totals	402	6	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	380	9	0.02313625 9 / 389																																																																																
TRUE	3	16	0.15789474 3 / 19																																																																																
Totals	383	25	0.02941176 12 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	393	0	0 / 393																																																																																
TRUE	0	15	0 / 15																																																																																
Totals	393	15	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	372	26	0.06532663 26 / 398																																																																																
TRUE	0	10	0.00000000 0 / 10																																																																																
Totals	372	36	0.06372549 26 / 408																																																																																
id: 5b4cce23eff96d1354aaf5bf <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>396</td><td>0</td><td>0 / 396</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>12</td><td>0 / 12</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>396</td><td>12</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	396	0	0 / 396	TRUE	0	12	0 / 12	Totals	396	12	0 / 408	id: 5b4cce1aef96d1354aaf5bd <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>398</td><td>0</td><td>0.00000000 0 / 398</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>1</td><td>9</td><td>0.10000000 1 / 10</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>399</td><td>9</td><td>0.00245098 1 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	398	0	0.00000000 0 / 398	TRUE	1	9	0.10000000 1 / 10	Totals	399	9	0.00245098 1 / 408	id: 5b4ccd8eff96d1354aaf5b9 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>400</td><td>0</td><td>0 / 400</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>8</td><td>0 / 8</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>400</td><td>8</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	400	0	0 / 400	TRUE	0	8	0 / 8	Totals	400	8	0 / 408	id: 5b4ccdf0eff96d1354aaf5b7 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>404</td><td>0</td><td>0 / 404</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>4</td><td>0 / 4</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>404</td><td>4</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	404	0	0 / 404	TRUE	0	4	0 / 4	Totals	404	4	0 / 408
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	396	0	0 / 396																																																																																
TRUE	0	12	0 / 12																																																																																
Totals	396	12	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	398	0	0.00000000 0 / 398																																																																																
TRUE	1	9	0.10000000 1 / 10																																																																																
Totals	399	9	0.00245098 1 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	400	0	0 / 400																																																																																
TRUE	0	8	0 / 8																																																																																
Totals	400	8	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	404	0	0 / 404																																																																																
TRUE	0	4	0 / 4																																																																																
Totals	404	4	0 / 408																																																																																
id: 5b4ccde7eff96d1354aaf5b5 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>385</td><td>7</td><td>0.01785714 7 / 392</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>16</td><td>0.00000000 0 / 16</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>385</td><td>23</td><td>0.01715686 7 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	385	7	0.01785714 7 / 392	TRUE	0	16	0.00000000 0 / 16	Totals	385	23	0.01715686 7 / 408	id: 5b4ccdc3eff96d1354aaf5ac <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>379</td><td>0</td><td>0.00000000 0 / 379</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>1</td><td>28</td><td>0.03448276 1 / 29</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>380</td><td>28</td><td>0.00245098 1 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	379	0	0.00000000 0 / 379	TRUE	1	28	0.03448276 1 / 29	Totals	380	28	0.00245098 1 / 408	id: 5b4cce4aef96d1354aaf5c7 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>381</td><td>8</td><td>0.02056555 8 / 389</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>12</td><td>7</td><td>0.63157895 12 / 19</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>393</td><td>15</td><td>0.04901961 20 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	381	8	0.02056555 8 / 389	TRUE	12	7	0.63157895 12 / 19	Totals	393	15	0.04901961 20 / 408	id: 5b4ccdb1eff96d1354aaf5a8 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>402</td><td>0</td><td>0 / 402</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>6</td><td>0 / 6</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>402</td><td>6</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	402	0	0 / 402	TRUE	0	6	0 / 6	Totals	402	6	0 / 408
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	385	7	0.01785714 7 / 392																																																																																
TRUE	0	16	0.00000000 0 / 16																																																																																
Totals	385	23	0.01715686 7 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	379	0	0.00000000 0 / 379																																																																																
TRUE	1	28	0.03448276 1 / 29																																																																																
Totals	380	28	0.00245098 1 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	381	8	0.02056555 8 / 389																																																																																
TRUE	12	7	0.63157895 12 / 19																																																																																
Totals	393	15	0.04901961 20 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	402	0	0 / 402																																																																																
TRUE	0	6	0 / 6																																																																																
Totals	402	6	0 / 408																																																																																
id: 5b4ccd77eff96d1354aaf59e <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>398</td><td>0</td><td>0 / 398</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>10</td><td>0 / 10</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>398</td><td>10</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	398	0	0 / 398	TRUE	0	10	0 / 10	Totals	398	10	0 / 408	id: 5b4ccd91eff96d1354aaf5a2 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>401</td><td>1</td><td>0.002487562 1 / 402</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>6</td><td>0.000000000 0 / 6</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>401</td><td>7</td><td>0.002450980 1 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	401	1	0.002487562 1 / 402	TRUE	0	6	0.000000000 0 / 6	Totals	401	7	0.002450980 1 / 408	id: 5b4ccd4aef96d1354aaf598 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>399</td><td>1</td><td>0.00250000 1 / 400</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>8</td><td>0.00000000 0 / 8</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>399</td><td>9</td><td>0.00245098 1 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	399	1	0.00250000 1 / 400	TRUE	0	8	0.00000000 0 / 8	Totals	399	9	0.00245098 1 / 408	id: 5b4ccd37eff96d1354aaf596 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>354</td><td>15</td><td>0.04065041 15 / 369</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>3</td><td>36</td><td>0.07692308 3 / 39</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>357</td><td>51</td><td>0.04411765 18 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	354	15	0.04065041 15 / 369	TRUE	3	36	0.07692308 3 / 39	Totals	357	51	0.04411765 18 / 408
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	398	0	0 / 398																																																																																
TRUE	0	10	0 / 10																																																																																
Totals	398	10	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	401	1	0.002487562 1 / 402																																																																																
TRUE	0	6	0.000000000 0 / 6																																																																																
Totals	401	7	0.002450980 1 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	399	1	0.00250000 1 / 400																																																																																
TRUE	0	8	0.00000000 0 / 8																																																																																
Totals	399	9	0.00245098 1 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	354	15	0.04065041 15 / 369																																																																																
TRUE	3	36	0.07692308 3 / 39																																																																																
Totals	357	51	0.04411765 18 / 408																																																																																
id: 5a159437cf53b12af02bd5ce <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>352</td><td>11</td><td>0.03030303 11 / 363</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>2</td><td>43</td><td>0.04444444 2 / 45</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>354</td><td>54</td><td>0.03186275 13 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	352	11	0.03030303 11 / 363	TRUE	2	43	0.04444444 2 / 45	Totals	354	54	0.03186275 13 / 408	id: 5b4ccdd6eff96d1354aaf5b1 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>396</td><td>0</td><td>0 / 396</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>12</td><td>0 / 12</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>396</td><td>12</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	396	0	0 / 396	TRUE	0	12	0 / 12	Totals	396	12	0 / 408	id: 5b4ccd9beff96d1354aaf5a4 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>400</td><td>0</td><td>0 / 400</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>8</td><td>0 / 8</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>400</td><td>8</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	400	0	0 / 400	TRUE	0	8	0 / 8	Totals	400	8	0 / 408	id: 58b6b8b18bd4a308e0552765 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>398</td><td>1</td><td>0.002506266 1 / 399</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>9</td><td>0.000000000 0 / 9</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>398</td><td>10</td><td>0.002450980 1 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	398	1	0.002506266 1 / 399	TRUE	0	9	0.000000000 0 / 9	Totals	398	10	0.002450980 1 / 408
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	352	11	0.03030303 11 / 363																																																																																
TRUE	2	43	0.04444444 2 / 45																																																																																
Totals	354	54	0.03186275 13 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	396	0	0 / 396																																																																																
TRUE	0	12	0 / 12																																																																																
Totals	396	12	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	400	0	0 / 400																																																																																
TRUE	0	8	0 / 8																																																																																
Totals	400	8	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	398	1	0.002506266 1 / 399																																																																																
TRUE	0	9	0.000000000 0 / 9																																																																																
Totals	398	10	0.002450980 1 / 408																																																																																
id: 5a15942acf53b12af02bd5cd <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>407</td><td>0</td><td>0 / 407</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>1</td><td>0 / 1</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>407</td><td>1</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	407	0	0 / 407	TRUE	0	1	0 / 1	Totals	407	1	0 / 408	id: 5b4ccdcceff96d1354aaf5ae <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>388</td><td>1</td><td>0.002570694 1 / 389</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>4</td><td>15</td><td>0.210526316 4 / 19</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>392</td><td>16</td><td>0.012254902 5 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	388	1	0.002570694 1 / 389	TRUE	4	15	0.210526316 4 / 19	Totals	392	16	0.012254902 5 / 408	id: 5a1593d9cf53b12af02bd5cc <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>391</td><td>0</td><td>0 / 391</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>17</td><td>0 / 17</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>391</td><td>17</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	391	0	0 / 391	TRUE	0	17	0 / 17	Totals	391	17	0 / 408	id: 5b4ccd89eff96d1354aaf5a0 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>384</td><td>2</td><td>0.005181347 2 / 386</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>5</td><td>17</td><td>0.227272727 5 / 22</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>389</td><td>19</td><td>0.017156863 7 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	384	2	0.005181347 2 / 386	TRUE	5	17	0.227272727 5 / 22	Totals	389	19	0.017156863 7 / 408
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	407	0	0 / 407																																																																																
TRUE	0	1	0 / 1																																																																																
Totals	407	1	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	388	1	0.002570694 1 / 389																																																																																
TRUE	4	15	0.210526316 4 / 19																																																																																
Totals	392	16	0.012254902 5 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	391	0	0 / 391																																																																																
TRUE	0	17	0 / 17																																																																																
Totals	391	17	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	384	2	0.005181347 2 / 386																																																																																
TRUE	5	17	0.227272727 5 / 22																																																																																
Totals	389	19	0.017156863 7 / 408																																																																																
id: 5b4ccdbbeff96d1354aaf5aa <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>384</td><td>1</td><td>0.002597403 1 / 385</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>23</td><td>0.000000000 0 / 23</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>384</td><td>24</td><td>0.002450980 1 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	384	1	0.002597403 1 / 385	TRUE	0	23	0.000000000 0 / 23	Totals	384	24	0.002450980 1 / 408	id: 5b4ccd73eff96d1354aaf59c <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>397</td><td>0</td><td>0 / 397</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>11</td><td>0 / 11</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>397</td><td>11</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	397	0	0 / 397	TRUE	0	11	0 / 11	Totals	397	11	0 / 408	id: 5b630233b9cca12eac0ee052 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>402</td><td>0</td><td>0 / 402</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>6</td><td>0 / 6</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>402</td><td>6</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	402	0	0 / 402	TRUE	0	6	0 / 6	Totals	402	6	0 / 408	id: 5b4ccde0eff96d1354aaf5b3 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>405</td><td>0</td><td>0 / 405</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>0</td><td>3</td><td>0 / 3</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>405</td><td>3</td><td>0 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	405	0	0 / 405	TRUE	0	3	0 / 3	Totals	405	3	0 / 408
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	384	1	0.002597403 1 / 385																																																																																
TRUE	0	23	0.000000000 0 / 23																																																																																
Totals	384	24	0.002450980 1 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	397	0	0 / 397																																																																																
TRUE	0	11	0 / 11																																																																																
Totals	397	11	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	402	0	0 / 402																																																																																
TRUE	0	6	0 / 6																																																																																
Totals	402	6	0 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	405	0	0 / 405																																																																																
TRUE	0	3	0 / 3																																																																																
Totals	405	3	0 / 408																																																																																
id: 58b468c46dd76b2fb8e2fc90 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>395</td><td>1</td><td>0.002525253 1 / 396</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>1</td><td>11</td><td>0.083333333 1 / 12</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>396</td><td>12</td><td>0.004901961 2 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	395	1	0.002525253 1 / 396	TRUE	1	11	0.083333333 1 / 12	Totals	396	12	0.004901961 2 / 408	id: 5b4ccda6eff96d1354aaf5a6 <table border="1"> <thead> <tr><th>FALSE</th><th>TRUE</th><th>Error</th><th>Rate</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>FALSE</td><td>399</td><td>0</td><td>0.000000000 0 / 399</td></tr> <tr><td>TRUE</td><td>1</td><td>8</td><td>0.111111111 1 / 9</td></tr> <tr><td>Totals</td><td>400</td><td>8</td><td>0.00245098 1 / 408</td></tr> </tbody> </table>					FALSE	TRUE	Error	Rate	FALSE	399	0	0.000000000 0 / 399	TRUE	1	8	0.111111111 1 / 9	Totals	400	8	0.00245098 1 / 408																																										
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	395	1	0.002525253 1 / 396																																																																																
TRUE	1	11	0.083333333 1 / 12																																																																																
Totals	396	12	0.004901961 2 / 408																																																																																
FALSE	TRUE	Error	Rate																																																																																
FALSE	399	0	0.000000000 0 / 399																																																																																
TRUE	1	8	0.111111111 1 / 9																																																																																
Totals	400	8	0.00245098 1 / 408																																																																																

Figura 39: Confusion matrix dos 30 modelos.

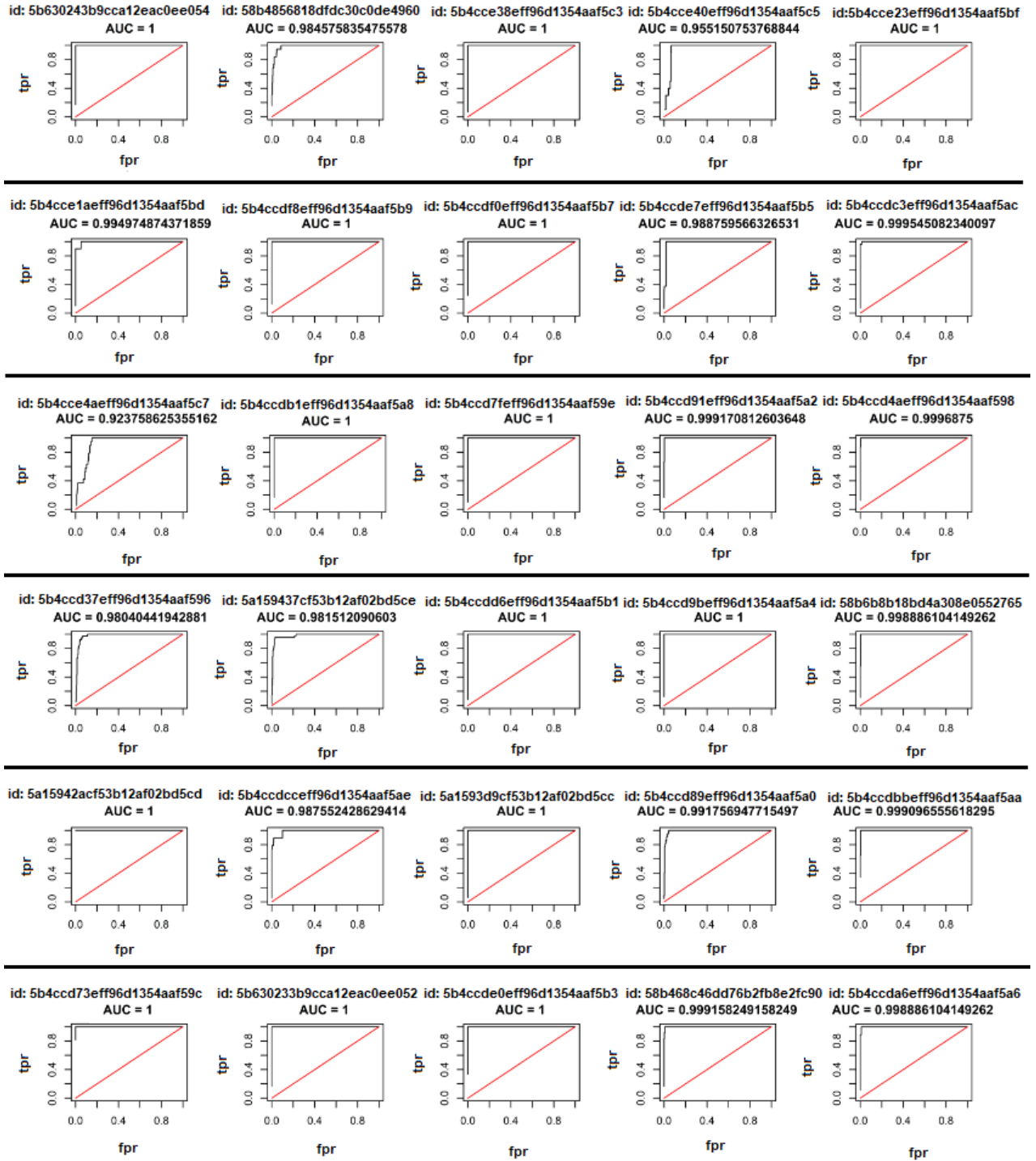


Figura 40: Curva Roc dos 30 modelos.

identificador do utilizador	Acertos (%)	Precision	Recall	AUC
5b630243b9cca12eac0ee054	100	1	1	1
58b4856818dfdc30c0de4960	97,06	0,842	0,64	0,99
5b4cce38eff96d1354aaf5c3	100	1	1	1
5b4cce40eff96d1354aaf5c5	93,63	1	0,278	0,955
5b4cce23eff96d1354aaf5bf	100	1	1	1
5b4cce1aef96d1354aaf5bd	99,75	0,90	1	0,995
5b4ccdf8eff96d1354aaf5b9	100	1	1	1
5b4ccdf0eff96d1354aaf5b7	100	1	1	1
5b4ccde7eff96d1354aaf5b5	98,29	1	0,696	0,989
5b4ccdc3eff96d1354aaf5ac	99,75	0,966	1	0,999
5b4cce4aef96d1354aaf5c7	95,10	0,368	0,467	0,924
5b4ccdb1eff96d1354aaf5a8	100	1	1	1
5b4ccd7feff96d1354aaf59e	100	1	1	1
5b4ccd91eff96d1354aaf5a2	99,75	1	0,877	0,999
5b4ccd4aef96d1354aaf598	99,75	1	0,889	0,999
5b4ccd37eff96d1354aaf596	95,59	0,923	0,706	0,98
5a159437cf53b12af02bd5ce	96,68	0,956	0,796	0,982
5b4ccdd6eff96d1354aaf5b1	100	1	1	1
5b4ccd9beff96d1354aaf5a4	100	1	1	1
58b6b8b18bd4a308e0552765	99,75	1	0,90	0,999
5a15942acf53b12af02bd5cd	100	1	1	1
5b4ccdcceff96d1354aaf5ae	98,77	0,789	0,938	0,988
5a1593d9cf53b12af02bd5cc	100	1	1	1
5b4ccd89eff96d1354aaf5a0	98,28	0,74	0,895	0,992
5b4ccdbbeff96d1354aaf5aa	97,75	1	0,958	0,999
5b4ccd73eff96d1354aaf59c	100	1	1	1
5b630233b9cca12eac0ee052	100	1	1	1
5b4ccde0eff96d1354aaf5b3	100	1	1	1
58b468c46dd76b2fb8e2fc90	99,51	0,917	0,917	0,999
5b4ccda6eff96d1354aaf5a6	99,75	0,889	1	0,999

Tabela 6: Resultados dos 30 modelos, acertos, *precision*, *recall* e *AUC*.

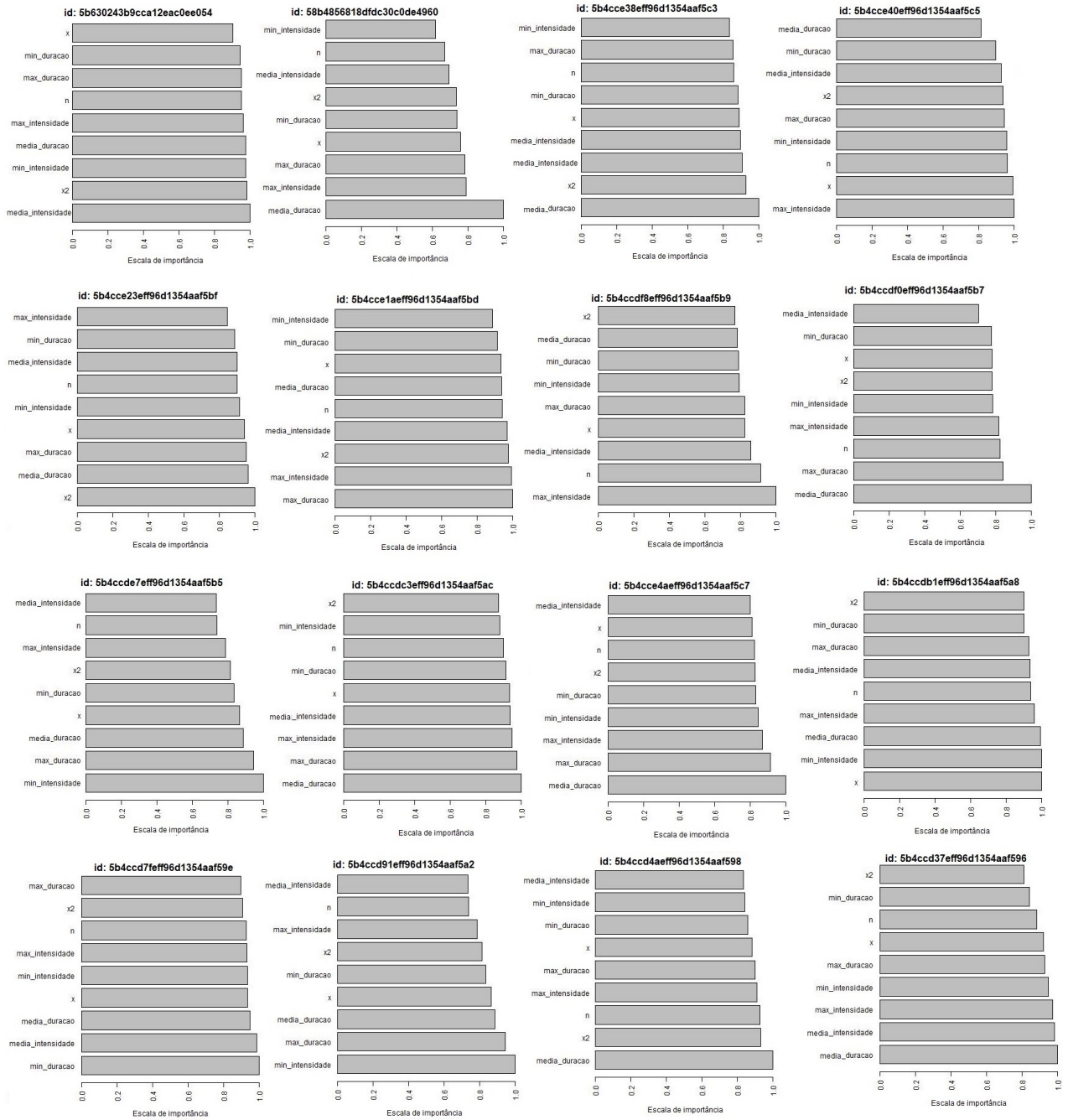


Figura 41: Escala de importância das variáveis para os 30 modelos (parte 1).

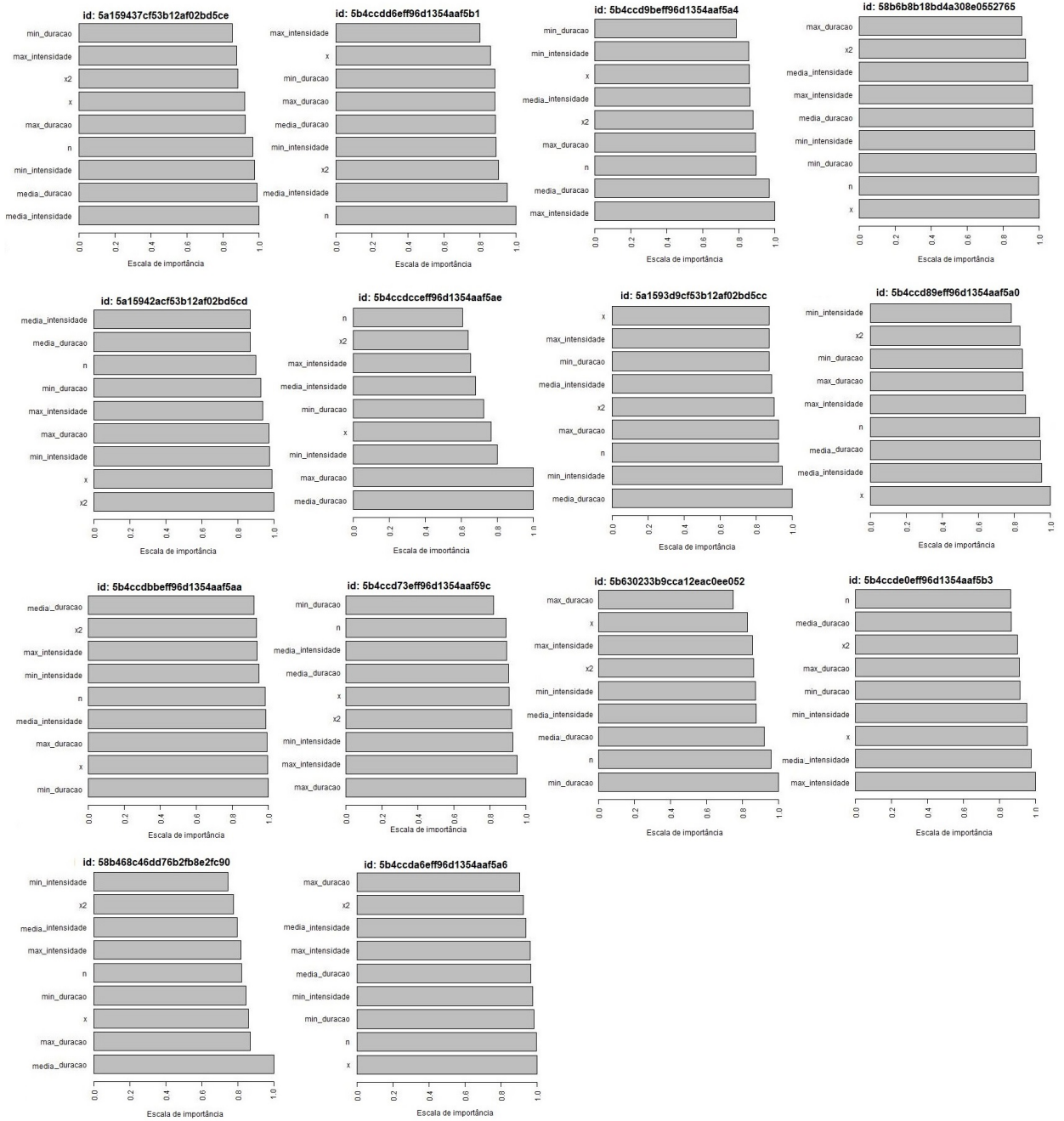


Figura 42: Escala de importância das variáveis para os 30 modelos (parte 2).

6 Conclusões

Smartphones e tablets estão entre os dispositivos tecnológicos mais utilizados nos dias de hoje, sendo os ecrãs táteis a principal forma de interação entre humanos e tecnologia. Esta dissertação apresenta uma nova forma de caracterizar essa interação, com base nas características físicas e comportamentais do utilizador, com o ecrã tátil.

Dois casos de estudos foram realizados, um deles relacionado com a estimulação da memória e a influência da idade e género na interação com os dispositivos móveis e outro relacionado com autenticação contínua em dispositivos móveis.

No primeiro estudo foi apresentada uma aplicação móvel que é um jogo para estimulação da memória, especialmente concebido para idosos ou para pessoas com deficiências cognitivas. Esta aplicação tem vários aspetos inovadores, entre eles o facto de os psicólogos poderem personalizar totalmente e individualmente intervenções para cada utilizador, sendo isto possível através de uma Aplicação *Web* que permite gerir intervenções, bem como analisar e visualizar resultados. A aplicação móvel recolhe vários dados que descrevem o desempenho da memória do paciente mas também dados referentes à sua interação com a mesma. Este caso de estudo serviu para fornecer novos recursos, que até agora não eram considerados neste tipo de intervenções. Para além de contribuir para o estudo da memória e da sua melhoria, estes resultados ajudam na compreensão da interação homem-máquina para diferentes géneros e idades. Foi também realizado um estudo com os dados de 32 utilizadores, recolhidos na aplicação. Neste estudo foi treinado um modelo baseado em árvores de decisão com o objetivo de distinguir a faixa etária do utilizador. Os resultados mostraram uma classificação correta média de 76,08% das instâncias.

Após os resultados positivos obtidos no primeiro caso de estudo, procurou-se melhorar a abordagem e aplicar a mesma a outros casos totalmente diferentes. O segundo caso de estudo está relacionado com a autenticação contínua em dispositivos móveis, através da biometria comportamental. Para este caso de estudo foi desenvolvida uma aplicação móvel que recolhe dados de interação e apresenta estatísticas em tempo real dessa mesma interação. Foi também desenvolvido um serviço, usado pelas aplicações móveis para continuamente verificar e validar a identidade do utilizador de forma não intrusiva. Para procurar a melhor solução para este caso de estudo, procedeu-se a duas abordagens diferentes, que maioritariamente se diferenciam pela forma como é realizada a validação do utilizador.

A abordagem estatística fez uso de intervalos interquartis (*IQR*) para calcular os limites para cada variável entre os quais geralmente o utilizador se comporta ao interagir com o dispositivos móveis. A validação é feita com a comparação dos valores das últimas interações com os limi-

tes superiores e inferiores do seu perfil. Caso a percentagem de variáveis que se encontra dentro dos limites estiver acima de uma percentagem específica, pressupõe-se que o utilizador atual é o utilizador autorizado. Esta abordagem foi validada através de um caso de estudo, em que foram utilizados dados de 30 utilizadores. Os dados foram divididos em dois grupos, um grupo de treino e outro de testes de validação. Os dados do grupo de teste foram processados para simular violações de autenticação. Cada instância de dados foi então submetida ao serviço de classificação, que classificou como violação (positiva) ou não violação (negativa). Os resultados mostram uma classificação correta de 93,76% das instâncias.

Por outro lado, a abordagem com aprendizagem fez uso de modelos baseados em redes neurais através da *API H2O*. Nesta abordagem cada utilizador tem um modelo individual com todas as interações de todos utilizadores. Cada modelo é treinado com dados do próprio utilizador bem como de outros utilizadores, de forma a aprender a distinguir entre eles. A fim de avaliar a adequação da abordagem proposta, foi feita uma análise aos 30 modelos dos 30 utilizadores e foram realizadas análises dos resultados da fase de treino do modelo, que ajudaram a perceber a eficiência dos modelos. Todos os modelos foram treinados com a mesma percentagem de dados. Após a obtenção dos resultados de treino, para que fosse possível analisar de forma geral os resultados, efetuou-se o cálculo das médias para a classificação correta nos 30 modelos, tendo sido obtido um valor de classificação correta média de 98,94%. Assim, foi possível concluir que os resultados da abordagem estatística foram piores que os da abordagem baseada em aprendizagem: na primeira a percentagem de classificações corretas foi de 93,76%, inferior aos 98,94% obtidos na abordagem com aprendizagem.

Com os resultados obtidos no primeiro caso de estudo, acreditamos que o estudo realizado nesta dissertação pode ser usado para estudar os padrões de interação de grandes grupos de população, devido à não implicação de custos na recolha de dados. Mas também para estudar os padrões de interação de pessoas com características específicas, como estados mentais ou deficiências físicas. Na verdade, a nossa interação com esses dispositivos é hoje tão difundida e constante que está agora a ser usada para estudar a nossa saúde. Os padrões de interação podem contribuir para outro indicador relevante, nomeadamente no aparecimento de certas deficiências cognitivas ou físicas ao longo do tempo.

No segundo caso de estudo em ambas as abordagens obteve-se uma taxa de sucesso bastante satisfatória, o que demonstra que o sistemas de autenticação criados representam uma opção credível de autenticação em dispositivos móveis. Este tipo de autenticação contínua através da biometria comportamental permite avaliar continuamente a identidade do utilizador sem a sua intervenção, permitindo também reduzir os riscos de segurança na partilha não autorizada, em casos de perda

ou roubo do dispositivo. Para além disso, este tipo de autenticação não envolve o uso de *hardware* adicional, não implicando desta forma custos adicionais. Acresce que o recurso à autenticação contínua tem a mais valia de possibilitar a utilização em conjunto com outros tipos de autenticação, isto é, permite a criação de uma autenticação multifator, que contribui para um aumento significativo da segurança associada aos dados. Adicionalmente o facto de ser continuamente efetuada, contribui para o aumento da eficácia e segurança do sistema.

Em suma, a abordagem e arquitetura proposta nesta dissertação apresentaram um conjunto de resultados promissores nos dois casos de estudo avaliados: classificação de género e idade, e deteção de fraudes de identidade em dispositivos móveis. Apesar dos tamanhos relativamente pequenos das amostras, o que não deixa de ser uma limitação do trabalho, os resultados indicam que este tipo de abordagem poderá ser extrapolado para grupos maiores da população.

Assim, esta abordagem que se caracteriza por ser de baixo custo, multimodal, não intrusiva e de fácil implementação poderá vir a contribuir para o desenvolvimento de aplicações e dispositivos mais conscientes do contexto e mais seguros.

6.1 Resultados Científicos

Um dos grandes objectivos na elaboração desta dissertação foi partilhar o trabalho desenvolvido e as lições aprendidas, e contribuir para o aumento de conhecimento da biometria comportamental em dispositivos móveis. Nesse sentido, houve um esforço na disseminação dos diferentes desenvolvimentos através da submissão de artigos científicos a eventos internacionais. De seguida detalham-se os três artigos que foram publicados durante este trabalho de dissertação:

- **Rocha, R.**, Carneiro D., Costa R., Analide C. (2020) Continuous Authentication in Mobile Devices Using Behavioral Biometrics. In: Novais P., Lloret J., Chamoso P., Carneiro D., Navarro E., Omatu S. (eds) Ambient Intelligence – Software and Applications –, 10th International Symposium on Ambient Intelligence. ISAmI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1006. Springer, Cham.

DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-24097-4_23

Indexing ISI, DBLP, Scopus

Abstract In recent years, the development and use of mobile devices such as smartphones and tablets grew significantly. They are used for virtually every activity of our lives, from communication or online shopping to e-banking or gaming, just to name a few. As a consequence, these devices contribute significantly to make our lives more digital, with all the

perks and risks that this encompasses. One of the most serious risk is that of an authorized individual gaining physical access to our mobile device and, potentially, to all the applications and personal data it contains. Most of mobile devices are protected using some kind of password, that can be easily spotted by unauthorized users or even guessed. In the last years, new authentication mechanisms have been proposed, such as those using traditional biometrics or behavioral biometrics. In this paper we propose a new continuous authentication mechanism for mobile devices based on behavioral biometrics that monitors user interaction behavior for classifying the identity of the user.

- **Rocha, R.**, Carneiro D., Novais P. (2019) The Influence of Age and Gender in the Interaction with Touch Screens. In: Moura Oliveira P., Novais P., Reis L. (eds) Progress in Artificial Intelligence. EPIA 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11805. Springer, Cham.

DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-30244-3_1

Indexing ISI, DBLP, Scopus

Abstract Touch screens are nowadays one of the major interfaces in the interaction between humans and technology, mostly due to the significant growth in the use of smartphones and tablets in the last years. This broad use, that reaches people from all strata of society, makes touch screens a relevant tool to study the mechanisms that influence the way we interact with electronic devices. In this paper we collect data regarding the interaction patterns of different users with mobile devices. We present a way to formalize these interaction patterns and analyze how aspects such as age and gender influence them. The results of this research may be relevant for developing mobile applications that identify and adapt to the users or their characteristics, including impairments in fine motor skills or in cognitive function.

- **Rocha, R.**, Carneiro D., Pinheiro A.P., Novais P. (2019) A Customizable Game-Inspired Application for Memory Stimulation. In: Novais P. et al. (eds) Ambient Intelligence – Software and Applications –, 9th International Symposium on Ambient Intelligence. ISAmI2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 806. Springer, Cham.

DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-01746-0_33

Indexing ISI, DBLP, Scopus

Abstract Demographic changes are leading to a growing older population (>65 years), with repercussions on age-related conditions. From a Computer Science perspective, this also means that there will soon be a significant number of users with changes in perceptual and

motor skill capacities. The goal of this work is to develop an environment to support the preservation of memory and functional capacities of the elderly. Health professionals will be able to set up and personalize immersive and realistic scenarios with high ecological validity composed of visual, auditory, and physical stimuli. Patients will navigate through and interact with these scenarios and stimulate memory functions by later recalling distinct aspects of the different exercises of the tool. The long-term goal is to build a behavioral model of how older users interact with technology.

Para além dos três artigos mencionados, foi ainda submetido um artigo para publicação na revista internacional *Neurocomputing*, revista com um fator de impacto de 4.072. Seguem-se os detalhes do artigo submetido, cuja aceitação ainda não é conhecida:

- **Rocha, R.**, Carneiro, D., Novais, P. (2020) Continuous authentication with a focus on explainability. Submitted to *Neurocomputing Journal*, Elsevier.

DOI <https://www.journals.elsevier.com/neurocomputing>

Indexing ISI, DBLP, Scopus

Abstract Traditional explicit authentication mechanisms, in which the device remains unlocked after the introduction of some kind of password, are slowly being complemented with the so-called implicit or continuous authentication mechanisms. In the latter, the user is constantly monitored in one or more ways, in search for signs of unauthorized access, which may happen if a third party has access to the phone after it has been unlocked. There are some different forms of continuous authentication, some of which based on Machine Learning. These are generally black box models, that provide a decision but not an explanation. In this paper we propose an approach for continuous authentication based on behavioral biometrics, machine learning, and that includes domain-dependent aspects for the user to interpret the actions and decisions of the system. It is non-intrusive, does not require any additional hardware, and can be used continuously to monitor user identity.

Com estas publicações esperamos ter contribuído para enriquecer e transmitir novos conhecimentos na área da biometria comportamental em dispositivos móveis, e demonstrar como esta área pode ser útil e aplicada para para diversas e distintas aplicações.

Importa ainda referir que foi submetido um projeto de investigação com base no trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação, no âmbito do programa Portugal2020 (Aviso N° 02/SAICT/2017). Infelizmente este projeto não recebeu financiamento:

- **Título:** *CoStI - Environment to Design and Implement Personalized Cognitive Stimulation Interventions for Older Adults*

Consórcio: Instituto Politécnico do Porto, Faculdade de Psicologia da Universidade de Lisboa, Universidade do Minho

Orçamento: 222 625,80 €

6.2 Trabalho Futuro

Os próximos passos no desenvolvimento deste trabalho consistirão em recolher dados de um número maior de utilizadores, para estudar como evolui a precisão dos modelos desenvolvidos com um aumento do número de utilizadores.

Outro objectivo futuro é acrescentar novas funcionalidades aos serviços, que permitam fazer download do modelo de interação, e assim a classificação e validação dos utilizadores possa ser realizada localmente no dispositivo, quando não existe conexão ao servidor.

Outro objetivo futuro é melhorar e criar funcionalidades que permitam distinguir integradores, para que seja possível aplicar restrições e configurações de produto para cada integrador, como por exemplo definir limites de validações e atualizações dos modelos por tempo e por utilizador.

Este estudo foi realizado num contexto de aplicações, pelo que pretendemos também estudar a possibilidade de integrar os nossos serviços de autenticação num *smartphone*, englobando todas as interações realizadas no mesmo.

Em suma, pretende-se validar os serviços e a sua precisão com o aumento significativo de utilizadores, determinar como o sistema pode escalar, aplicar melhorias, para posteriormente pensar num produto que possa ser comercializado. Após a consolidação do produto pretende-se aplicar esta abordagem noutros sistemas operativos de dispositivos móveis como por exemplo *IOS*;

7 Bibliografia

- [1] Seeing beyond visibility: A four way fusion of user authentication for efficient usable security on mobile devices. *2014 IEEE Eighth International Conference on Software Security and Reliability-Companion, Software Security and Reliability-Companion (SERE-C)*, page 121, 2014.
- [2] Continuous user authentication on mobile devices: Recent progress and remaining challenges. *IEEE Signal Processing Magazine, Signal Processing Magazine, IEEE, IEEE Signal Process. Mag*, (4):49, 2016.
- [3] Addressing smartphone-based multi-factor authentication via hardware-rooted technologies. *2017 IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), Distributed Computing Systems (ICDCS), 2017 IEEE 37th International Conference on, ICDCS*, page 1910, 2017.
- [4] Creating an ambient intelligence network using insight and merged reality technologies. *2017 Computing Conference, Computing Conference, 2017*, page 469, 2017.
- [5] Iot driven ambient intelligence architecture for indoor intelligent mobility. *2018 IEEE 16th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 16th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 4th Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress(DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech), Dependable, Autonomic and Secure Computing, 16th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 4th Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress(DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech), 2018 IEEE 16th Intl, DASC-PICOM-DATACOM-CYBERSCITECH*, page 451, 2018.
- [6] Juan Carlos Augusto and Paul J McCullagh. Ambient intelligence: Concepts and applications. *Comput. Sci. Inf. Syst.*, 4(1):1–27, 2007.
- [7] M Bick and T-F Kummer. Ambient intelligence and ubiquitous computing. In *Handbook on Information Technologies for Education and Training*, pages 79–100. Springer, 2008.
- [8] Davide Carneiro, Paulo Novais, José Miguel Pêgo, Nuno Sousa, and José Neves. Using mouse dynamics to assess stress during online exams. In *International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems*, pages 345–356. Springer, 2015.

- [9] Cagatay Catal, Min Song, Can Muratli, Erin Hea-Jin Kim, Mestan Ali Tosuner, and Yusuf Kayikci. Cross-cultural personality prediction based on twitter data. *JSW*, 12(11):882–891, 2017.
- [10] Gokul Chittaranjan, Jan Blom, and Daniel Gatica-Perez. Who’s who with big-five: Analyzing and classifying personality traits with smartphones. In *2011 15th Annual international symposium on wearable computers*, pages 29–36. IEEE, 2011.
- [11] Daxiang Dai, Qun Liu, and Hongying Meng. Can your smartphone detect your emotion? In *2016 12th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD)*, pages 1704–1709. IEEE, 2016.
- [12] Yves-Alexandre de Montjoye, Jordi Quoidbach, Florent Robic, and Alex Sandy Pentland. Predicting personality using novel mobile phone-based metrics. In *International conference on social computing, behavioral-cultural modeling, and prediction*, pages 48–55. Springer, 2013.
- [13] UN DeSA et al. World population prospects: the 2012 revision. *Population division of the department of economic and social affairs of the United Nations Secretariat, New York*, 18, 2013.
- [14] Ken Ducatel, Union européenne. Technologies de la société de l’information, Union européenne. Institut d’études de perspectives technologiques, and Union européenne. Société de l’information conviviale. Scenarios for ambient intelligence in 2010.
- [15] Taiamiti Edmunds and Alice Caplier. Motion-based countermeasure against photo and video spoofing attacks in face recognition. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 50:314 – 332, 2018.
- [16] T. Feng, X. Zhao, B. Carbunar, and W. Shi. Continuous mobile authentication using virtual key typing biometrics. In *2013 12th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, pages 1547–1552, July 2013.
- [17] Tao Feng, Ziyi Liu, Kyeong-An Kwon, Weidong Shi, Bogdan Carbunar, Yifei Jiang, and Nhung Nguyen. Continuous mobile authentication using touchscreen gestures. *2012 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security (HST)*, page 451, 2012.

- [18] Bruce Ferwerda and Marko Tkalcić. You are what you post: What the content of instagram pictures tells about users' personality. In *The 23rd International on Intelligent User Interfaces, March 7-11, Tokyo, Japan, 2018*.
- [19] Joshua Foer. *Moonwalking with Einstein: The art and science of remembering everything*. Penguin, 2012.
- [20] Evgeny Getmantsev, Boris Zhurov, Timothy V Pyrkov, and Peter O Fedichev. A novel health risk model based on intraday physical activity time series collected by smartphones. *arXiv preprint arXiv:1812.02522*, 2019.
- [21] Lewis R Goldberg, John A Johnson, Herbert W Eber, Robert Hogan, Michael C Ashton, C Robert Cloninger, and Harrison G Gough. The international personality item pool and the future of public-domain personality measures. *Journal of Research in personality*, 40(1):84–96, 2006.
- [22] Dejan Chandra Gope and Md. Shafiqul Islam. Interaction with large screen display using fingertip virtual touch screen. *2015 International Conference on Computer Information Engineering (ICCIE)*, page 17.
- [23] Matthew J Hertenstein, Rachel Holmes, Margaret McCullough, and Dacher Keltner. The communication of emotion via touch. *Emotion*, 9(4):566, 2009.
- [24] Kristoffer Jensen and Andrea Valente. Development of a memory training game. In *Technologies of Inclusive Well-Being*, pages 25–38. Springer, 2014.
- [25] Nicole Jochems. Designing tablet computers for the elderly a user-centered design approach. In *International Conference on Human Aspects of IT for the Aged Population*, pages 42–51. Springer, 2016.
- [26] Hassan Khan, Aaron Atwater, and Urs Hengartner. Itus: An implicit authentication framework for android. In *Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom '14*, pages 507–518, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [27] Mohammed Khwaja and Aleksandar Matic. Personality is revealed during weekends: Towards data minimisation for smartphone based personality classification. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, pages 551–560. Springer, 2019.

- [28] J. Krumm. *Ubiquitous Computing Fundamentals*. CRC Press, 2018.
- [29] Matthew Lakier, Dimcho Karakashev, Yixin Wang, and Ian Goldberg. Augmented unlocking techniques for smartphones using pre-touch information. *arXiv preprint arXiv:1908.09165*, 2019.
- [30] Christopher Langlois, Saideep Tiku, and Sudeep Pasricha. Indoor localization with smartphones: Harnessing the sensor suite in your pocket. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(4):70–80, 2017.
- [31] Ken Leeming, Will Swann, Judith Coupe, and Peter Mittler. *Teaching language and communication to the mentally handicapped*. Routledge, 2018.
- [32] L. Lu and Y. Liu. Safeguard: User reauthentication on smartphones via behavioral biometrics. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2(3):53–64, Sept 2015.
- [33] Abhinav Mehrotra, Robert Hendley, and Mirco Musolesi. Towards multi-modal anticipatory monitoring of depressive states through the analysis of human-smartphone interaction. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*, pages 1132–1138. ACM, 2016.
- [34] Bjarke Mønsted, Anders Mollgaard, and Joachim Mathiesen. Phone-based metric as a predictor for basic personality traits. *Journal of Research in Personality*, 74:16–22, 2018.
- [35] Douglas C Montgomery, George C Runger, and Verônica Calado. *Estatística Aplicada E Probabilidade Para Engenheiros*. Grupo Gen-LTC, 2000.
- [36] J Nader, A Alsadoon, PWC Prasad, AK Singh, and A Elchouemi. Designing touch-based hybrid authentication method for smartphones. *Procedia Computer Science*, 70:198–204, 2015.
- [37] Rodrigo De Oliveira, Mauro Cherubini, and Nuria Oliver. Influence of personality on satisfaction with mobile phone services. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 20(2):10, 2013.
- [38] Avar Pentel. Predicting age and gender by keystroke dynamics and mouse patterns. In *Adjunct Publication of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, pages 381–385. ACM, 2017.

- [39] Gonçalo Pereira, Manuel Ninaus, Rui Prada, Guilherme Wood, Christa Neuper, and Ana Paiva. Free your brain a working memory training game. In *International Conference on Games and Learning Alliance*, pages 132–141. Springer, 2014.
- [40] John Kangchun Perng, Brian Fisher, Seth Hollar, and Kristofer SJ Pister. Acceleration sensing glove (asg). In *Digest of Papers. Third International Symposium on Wearable Computers*, pages 178–180. IEEE, 1999.
- [41] Ronald C Petersen, Barbara Caracciolo, Carol Brayne, Serge Gauthier, Vesna Jelic, and Laura Fratiglioni. Mild cognitive impairment: a concept in evolution. *Journal of internal medicine*, 275(3):214–228, 2014.
- [42] André Pimenta, Davide Carneiro, José Neves, and Paulo Novais. A neural network to classify fatigue from human–computer interaction. *Neurocomputing*, 172:413–426, 2016.
- [43] Robert W Proctor and Kim-Phuong L Vu. Human information processing: an overview for human-computer interaction. In *The human-computer interaction handbook*, pages 69–88. CRC Press, 2007.
- [44] Frederic Raber and Antonio Krueger. Towards understanding the influence of personality on mobile app permission settings. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, pages 62–82. Springer, 2017.
- [45] Giuseppe Riva, Francesco Vatalaro, and Fabrizio Davide. *Ambient intelligence: the evolution of technology, communication and cognition towards the future of human-computer interaction*, volume 6. IOS press, 2005.
- [46] Napa Sae-Bae, Kowsar Ahmed, Katherine Isbister, and Nasir Memon. Biometric-rich gestures: A novel approach to authentication on multi-touch devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pages 977–986, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [47] Hyeong Pil Seo, Young Sub Kim, Yohan Lim, and Young Joong Yoon. Improving phase continuity in electromagnetic gradient surface for large reflecting structures. In *Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, pages 1–2. IEEE, 2012.

- [48] C. Shen, Y. Zhang, X. Guan, and R. A. Maxion. Performance analysis of touch-interaction behavior for active smartphone authentication. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 11(3):498–513, March 2016.
- [49] G. Sinha, R. Shahi, and M. Shankar. Human computer interaction. In *2010 3rd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*, pages 1–4, Nov 2010.
- [50] Jacopo Staiano, Bruno Lepri, Nadav Aharony, Fabio Pianesi, Nicu Sebe, and Alex Pentland. Friends don’t lie: inferring personality traits from social network structure. In *Proceedings of the 2012 ACM conference on ubiquitous computing*, pages 321–330. ACM, 2012.
- [51] Pin Shen Teh, Ning Zhang, Andrew Beng Jin Teoh, and Ke Chen. A survey on touch dynamics authentication in mobile devices. *Computers & Security*, 59:210 – 235, 2016.
- [52] Athanasios Vasilakos and Witold Pedrycz. *Ambient Intelligence, Wireless Networking, And Ubiquitous Computing*. Artech House, Inc., Norwood, MA, USA, 2006.
- [53] Yafang Yang, Bin Guo, Zhu Wang, Mingyang Li, Zhiwen Yu, and Xingshe Zhou. Behave-sense: Continuous authentication for security-sensitive mobile apps using behavioral biometrics. *Ad Hoc Networks*, 84:9 – 18, 2019.
- [54] Nick Yee, Nicolas Ducheneaut, Les Nelson, and Peter Likarish. Introverted elves & conscientious gnomes: the expression of personality in world of warcraft. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 753–762. ACM, 2011.
- [55] Lina Zhou, Yin Kang, Dongsong Zhang, and Jianwei Lai. Harmonized authentication based on thumbstroke dynamics on touch screen mobile phones. *Decision Support Systems*, 92:14–24, 2016.