

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

João Pedro Araújo Fernandes

## **Computação Especulativa em Sistemas de Inteligência Ambiente**

Tese de Mestrado em Engenharia Informática

Trabalho realizado sob a orientação de

**Paulo Novais**

Setembro 2013



Universidade do Minho

### Declaração RepositóriUM: Dissertação de Mestrado

Nome: João Pedro Araújo Fernandes

Nº Cartão Cidadão /BI: 13735523 Tel./Telem.: 927534218

Correio eletrónico: joaofernandesx@gmail.com

Curso Mestrado em Engenharia Informática Ano de conclusão da dissertação: 2013

Áreas de Especialização: Sistemas Inteligentes , Análise e Conceção de Software

Escola de Engenharia, Departamento/Centro: Departamento de Informática

#### TÍTULO DISSERTAÇÃO/TRABALHO DE PROJECTO:

Título em PT : Computação Especulativa em Sistemas de Inteligência Ambiente

Título em EN : Speculative Computation in Ambient Intelligence Systems

Orientadores : Professor Doutor Paulo Novais

Declaro sob compromisso de honra que a dissertação/trabalho de projeto agora entregue corresponde à que foi aprovada pelo júri constituído pela Universidade do Minho.

Declaro que concedo à Universidade do Minho e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha dissertação/trabalho de projeto, em suporte digital.

Concordo que a minha dissertação/trabalho de projeto seja colocada no repositório da Universidade do Minho com o seguinte estatuto (assinale um):

1.  Disponibilização imediata do trabalho para acesso universal;
2.  Disponibilização do trabalho para acesso exclusivo na Universidade do Minho durante o período de  
 1 ano,  2 anos ou  3 anos, sendo que após o tempo assinalado autorizo o acesso universal.
3.  Disponibilização do trabalho de acordo com o **Despacho RT-98/2010 c)** (embargo \_\_\_ anos)

Braga/Guimarães, 30 / 08 / 2013

Assinatura: João Pedro Araújo Fernandes

“Success consists of going from failure to failure without loss of enthusiasm.”

Winston Churchill



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Professor Paulo Novais pela disponibilidade demonstrada e por todas as críticas, sugestões e comentários sugeridos ao longo da orientação, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos meus pais pela incrível oportunidade que me deram e por todo apoio, força e conselhos sábios que me permitiram ultrapassar esta etapa tão importante da minha vida.

Ao meu irmão por todo o apoio e por todos os momentos de descontração que me proporcionou.

Aos meus avós que sempre foram um exemplo na minha vida e sempre me apoiaram e me educaram com todo o amor e carinho.

À minha namorada que com todo o amor e carinho sempre me apoiou, ajudando-me a ultrapassar os momentos mais difíceis.

Finalmente agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram na minha formação e realização desta dissertação.

Este trabalho foi desenvolvido no contexto do projeto CAMCoF - Context-aware Multimodal Communication Framework financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade - COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-028980.



## RESUMO

A tomada de decisão pode ser vista como um processo cognitivo através do qual se escolhe um plano de ação, entre vários outros, para uma situação-problema. Esta escolha pode ser baseada em vários cenários, ambientes, análises e fatores. Todo este processo produz uma escolha/decisão final em que a “saída” pode ser uma opinião ou uma ação.

Neste sentido a tomada de decisão é fundamental para a maioria das ações que realizamos diariamente de acordo com a situação e/ou problema com que nos deparamos.

Para termos a percepção de todos os cenários possíveis numa tomada de decisão é necessário que tenhamos a possibilidade de especular sobre todos os casos, de forma a que possamos medir os prós e contras consoante a ação que levamos a cabo.

Atualmente existem diversos sistemas que nos ajudam a tomar decisões de forma a aumentar a nossa qualidade de vida. Os sistemas de inteligência ambiente (Aml) são desenvolvidos para auxiliar as pessoas nas suas necessidades e tarefas pessoais. Estes ambientes dispõem de tecnologia que capta informação do ambiente de forma a ser processada para posteriormente responder às necessidades dos seus utilizadores.

O tratamento da informação capturada pelos sistemas Aml é um processo fundamental. Muitas vezes esta informação não é concreta e incompleta levando estes sistemas a funcionar de forma incorreta.

Neste sentido é necessário utilizar mecanismos para tratar informação incompleta ou incerta de forma a produzir decisões eficazes mesmo quando a informação não é conhecida. De forma a resolver este problema é introduzida a execução especulativa no âmbito dos sistemas Aml.

Resumindo, através da realização deste trabalho pretende-se desenvolver uma plataforma de raciocínio especulativo que seja capaz de responder às necessidades dos utilizadores com incapacidades visuais, auxiliando-os nas suas deslocações.

No final deste trabalho obteve-se um sistema capaz de orientar pessoas com incapacidades visuais, auxiliando-as e tornando as suas deslocações mais seguras e autónomas.





## **ABSTRACT**

The decision making can be viewed as a cognitive process through which a plan of action is choose, among several others, for a problem-situation. This choice can be based on various scenarios, environments, analyzes and factors. This whole process produces a choice / final decision in which the "outcome" may be a belief or action.

In this sense the decision making is critical for most actions we perform daily according to the situation and / or problem we face.

In order to have the perception of all the possible scenarios in decision making is required the possibility to speculate on all cases, so that we can measure the pros and cons depending on the action that we carry out.

Currently there are many systems that help us making decisions in order to increase our quality of life. The ambient intelligence (Aml) is designed to assist people in their needs and personal tasks. These environments require technology that captures information from the environment in order to be further processed to meet the needs of its users.

The processing of the information captured by the technology in smart environments is an essential process. Often this information is not concrete and incomplete leading these systems to function incorrectly.

In this sense it is necessary to use mechanisms that deal with uncertain or incomplete information in order to make effective decisions even when the information is unknown. In order to solve this problem it is introduced speculative execution in the scope of smart environments.

In short, this work aims to develop a platform of speculative reasoning, which is able to meet the needs of users with visual disabilities, helping them on their dislocations.

At the end of this work we obtained a system capable of guiding people with visual disabilities, assisting them and making their journeys safer and more autonomous.



## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIV
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Contextualização do problema .....	1
1.2. Motivação.....	2
1.3. Abordagem.....	3
1.4. Projeto ISLab.....	3
1.5. Tema e Objetivos.....	4
1.6. Metodologia de Investigação .....	5
1.7. Estrutura do Documento.....	6
2. INTELIGÊNCIA AMBIENTE (Aml) .....	7
2.1. Emergência dos Aml .....	7
2.2. O que são Sistemas de Inteligência Ambiente? .....	8
2.3. Sensorização e Detecção.....	9
2.4. Raciocínio .....	11
2.4.1. Modelação .....	11
2.4.2. Previsão e reconhecimento.....	12
2.4.3. Tomada de Decisão.....	12
2.4.4. Raciocínio espaço-temporal.....	13
2.5. Atuação.....	14
2.6. Áreas de Aplicação .....	15
2.6.1. Casas inteligentes (“ <i>Smart Homes</i> ”).....	15
2.6.2. Assistência e monitorização da saúde .....	17
2.6.3. Hospitais.....	18
2.6.4. Transportes.....	19
2.6.5. Educação .....	20
2.7. Comentário final .....	21

3.	COMPUTAÇÃO ESPECULATIVA .....	22
3.1.	Definição.....	22
3.2.	Demonstração teórica e prática .....	22
3.3.	Aplicações.....	23
3.4.	Enquadramento.....	24
3.5.	Comentário final.....	25
4.	ESPECIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO .....	26
4.1.	Modelação do Ambiente .....	26
4.2.	Caso de estudo .....	28
4.3.	Arquitetura .....	29
4.4.	Requisitos .....	30
5.	IMPLEMENTAÇÃO E TESTES – KAVI .....	33
5.1.	Captura de Informação .....	33
5.2.	Interpretação da informação .....	35
5.3.	Processamento da informação.....	37
5.4.	Decisão especulativa .....	39
5.5.	Comunicação ao utilizador.....	40
5.6.	Navegação planeada .....	41
5.7.	Testes e Validação de Resultados .....	45
6.	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....	47
6.1.	Trabalho relevante.....	47
6.2.	Síntese do trabalho realizado .....	48
6.3.	Trabalho Futuro.....	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas Científicas da Inteligência Ambiente.....	9
Figura 2 - Modelação Aml [60]. .....	26
Figura 3 - Arquitetura Aml. ....	29
Figura 4 – Exemplo de processamento no modelo especulativo. ....	30
Figura 5 - Microsoft Visual Studio <i>C#</i> . ....	32
Figura 6 - Dispositivo de captura de imagem KINECT.....	33
Figura 7 - Alimentação do KINECT.....	34
Figura 8 - Localização da câmara. ....	35
Figura 9 - Mapa de Profundidades (esquerda); Imagem Real - RGB (direita).....	36
Figura 10 - Processamento da Imagem .....	37
Figura 11 - Aplicação Android "Bussola&Pedometro" .....	43
Figura 12 - Navegação Planeada .....	44
Figura 13 - Versão Final Aplicação KAVI.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS

Aml	Ambient Intelligence
ISTAG	IST Advisory Group
PDA	Personal Digital Assistant
GPS	Global Positioning System
IBM	International Business Machines
OSGi	Open Services Gateway Initiative
RFID	Radio-Frequency Identification
RCSM	Reconfigurable Context Sensitive Middleware
CE	Computação Especulativa
API	Application Programming Interface (Interface de Aplicação de Programação)
GUI	Graphical User Interface (Interface Gráfica do Utilizador)
KAVI	Kinect Aid for Visually Impaired (Kinect Assistência a Deficientes Visuais)
CAMCoF	Context-aware Multimodal Communication Framework

## 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma visão global do trabalho desenvolvido, começando pela contextualização do problema, motivação, abordagem, tema e objetivos. Posteriormente será definida a metodologia de investigação.

### 1.1. Contextualização do problema

Na sociedade atual vivemos rodeados de informação que pode ser útil para tomarmos decisões de acordo com os nossos objetivos, direitos e deveres. A informação é o resultado do processamento, manipulação e organização de dados de tal forma que represente uma modificação, quantitativa e/ou qualitativa, no conhecimento do sistema (pessoa, animal ou máquina) que a recebe [1].

No contexto de tomada de decisão, deparamo-nos diariamente com sistemas inteligentes cujo objetivo é auxiliar as pessoas na tomada de decisão. Em computação estes sistemas estão enquadrados no paradigma de inteligência ambiente ou Aml (do inglês *Ambient Intelligence*).

Os Aml foram definidos pelo IST *Advisory Group* (ISTAG) como um novo paradigma computacional baseado no inter-relacionamento de três tecnologias: Computação Ubíqua [2], Comunicação Ubíqua [3] e Interfaces Inteligentes [4]. Este paradigma foi responsável por alterar a forma como vemos os computadores, de facto, pode dizer-se que foi a primeira vez em que os computadores começaram a trabalhar para nós em vez de sermos nós a trabalhar com eles.

Até agora, os computadores têm-se comportado como uma ferramenta, fazendo as tarefas para as quais são programados. Nada os distingue de qualquer outra das nossas ferramentas a não ser o facto de que estes podem ser reprogramados para fazer coisas diferentes.

Os sistemas de inteligência ambiente ou ambientes inteligentes colocam o utilizador no centro de um ambiente digital ciente da sua presença e contexto em que o utilizador se

movimenta, sendo sensível, adaptável e atendendo às suas reais necessidades, hábitos, atitudes e emoções, prestando-lhe serviços úteis [3] [5].

A captura de informação é fundamental para o sistema construir uma percepção, ainda que virtual, do mundo real de modo a interagir com os utilizadores respondendo às suas necessidades. Deste modo, o processamento destes sistemas baseia-se na informação capturada pelos diversos sensores que compõem o ambiente inteligente.

A qualidade da informação é muito importante para os sistemas produzirem decisões com qualidade. Assim, quando nos deparamos com qualidade insuficiente na informação ou até mesmo falta de informação a qualidade da resposta será debilitada. Desta forma, o principal problema destes sistemas baseia-se no tratamento de informação incompleta ou incerta. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de mecanismos que consigam, através de informação incompleta, produzir respostas com qualidade e rigor aos seus utilizadores.

## **1.2. Motivação**

Atualmente existem milhões de pessoas que possuem incapacidade visual, total ou parcial e que precisam de soluções eficazes para as ajudar nas suas demais tarefas diárias, nomeadamente na sua deslocação, tarefa árdua, devido ao facto de não possuírem a capacidade de ver e de muitas das estruturas e edifícios atuais não estarem totalmente adaptados a indivíduos com este tipo de deficiência.

É neste sentido que surge a necessidade de desenvolver sistemas onde o objetivo principal é o auxílio/suporte dos seus utilizadores no sentido de os ajudar a tomar decisões num determinado contexto, oferecendo-lhes uma melhor qualidade de vida e aumentando a sua confiança e autoestima. Estes sistemas são muitas vezes direcionados para pessoas que possuem algum tipo de deficiência ou incapacidade.

A qualidade de vida foi definida pela Organização Mundial de Saúde como “*a percepção do individuo da sua posição na vida, no contexto da cultura e do sistema de valores em que vive e em relação aos seus objetivos, expectativas, padrões e percepções*” [6]. A percepção visual do mundo é muito importante para qualquer pessoa, mesmo se tratando de uma pessoa com incapacidade visual.



Desenvolver sistemas que permitam melhorar a qualidade de vida dos seus utilizadores é uma das motivações para o desenvolvimento deste trabalho. Sendo a principal motivação deste trabalho o desenvolvimento de uma plataforma de raciocínio especulativo no âmbito de Aml de modo a desenvolver respostas eficazes em ambientes onde a informação pode ser incompleta.

### 1.3. Abordagem

Em computação, um ambiente inteligente (Aml) refere-se a ambientes electrónicos sensíveis que respondem à presença de pessoas [7]. Num Aml, os dispositivos captam informação do ambiente com o objetivo de oferecer suporte às pessoas nas suas atividades e tarefas diárias. No entanto, este domínio de atuação processa muitas vezes informação incompleta ou incerta.

A utilização de uma abordagem baseada em computação especulativa é fundamental para o desenvolvimento deste trabalho pois permitirá o tratamento da informação incerta ou incompleta. Este tipo de computação, aplicada em ambientes inteligentes, visa melhorar o reconhecimento e previsão das intenções do utilizador de forma a minimizar os constrangimentos nas suas ações.

Assim, este trabalho baseia-se na especificação de modelos e no desenvolvimento de um sistema seguindo o paradigma de ambientes inteligentes e computação especulativa.

### 1.4. Projeto ISLab

O trabalho desenvolvido está integrado no projeto **CAMCoF** (Context-aware Multimodal Communication Framework), que está a ser desenvolvido no Grupo de Inteligência Artificial da Universidade do Minho.

Este projeto visa desenvolver uma estrutura para modelar o contexto do utilizador, com foco no *stress*.

Outro objetivo deste projeto incide sobre a recolha e o fornecimento de informação para um ambiente virtual de forma a enriquecer os processos de comunicação entre os utilizadores.

O presente trabalho insere-se numa ramificação deste projeto, direcionada para pessoas com incapacidades visuais no sentido de as auxiliar nas suas deslocações.

## **1.5. Tema e Objetivos**

O tema principal deste trabalho incide sobre a computação especulativa em sistemas de inteligência ambiente.

Cada vez mais vivemos rodeados de sistemas inteligentes que nos ajudam a tomar decisões consoante as nossas necessidades, libertando-nos de preocupações e tornando a nossa vida mais cómoda e tranquila. Podem ser encontrados no nosso espaço doméstico vários exemplos deste tipo de ambientes, tais como: o controlo da luminosidade, o alerta de tarefas, o processamento da lista de compras e a segurança da habitação.

Noutras situações, um sistema de inteligência ambiente capta a informação do ambiente (p. ex. ambiente doméstico) de forma a auxiliar os seus utilizadores quando estes possuem algum tipo de incapacidade. Neste caso, o rigor é um requisito primordial no funcionamento destes sistemas pois uma pequena falha pode levar a situações de grande constrangimento.

No caso de pessoas com incapacidade visual, a utilização de câmaras para captar a informação do ambiente é muito útil quando aplicado num ambiente inteligente de forma a orientar as pessoas, por exemplo, no seu espaço doméstico, evitando colisões e situações imprevistas.

Em ambientes inteligentes a informação é por vezes incerta ou incompleta e os sistemas encarregues pelo processamento dessa informação não possuem capacidades para tomar decisões. É neste ponto que é introduzida a computação especulativa com o objetivo de processar informação incompleta. Com o processamento desta informação será possível prever, ainda que sem certeza absoluta, a informação que não é facultada sendo desta forma possível melhorar e prever as intenções do utilizador quando enquadrados num ambiente inteligente.

Após todos os conceitos introduzidos, são de seguida apresentados os objetivos para o desenvolvimento deste trabalho.

- Elaborar o estado da arte acerca dos sistemas já existentes que integram as abordagens pretendidas para o desenvolvimento deste trabalho;
- Especificar e modelar uma arquitetura para sistemas de inteligência ambiente, na qual deverá ser incorporada a abordagem à computação especulativa;
- Desenvolver uma aplicação capaz de auxiliar pessoas com incapacidades visuais na sua deslocação;
  - Captação de informação do ambiente;
  - Interpretação e processamento da informação;
  - Tomada de decisão e comunicação com o utilizador;
- Realização de testes para validação de resultados.

## **1.6. Metodologia de Investigação**

De modo a concretizar todos os objetivos propostos anteriormente foi seguida uma metodologia de investigação-ação [8]. Esta metodologia inicia o seu processo na identificação de um problema onde posteriormente pode ser formulada uma hipótese que será usada durante o desenvolvimento.

Posteriormente, a informação recolhida durante a investigação será recompilada, organizada e analisada continuamente de modo a desenvolver uma solução para o problema identificado.

Finalmente será possível apurar as conclusões de acordo com os resultados obtidos durante a investigação.

Durante este modelo de investigação, foram definidos seis estágios de modo a concretizar os objetivos propostos. São apresentados de seguida esses objetivos:

- Definição e especificação do problema realçando todos os detalhes;
- Atualização e investigação constante e incremental do estado da arte;
- Elaboração e desenvolvimento gradual e interativo do modelo proposto;
- Experimentação e implementação da solução de acordo com o desenvolvimento do protótipo;
- Análise de resultados e concretização de conclusões;

- Divulgação do conhecimento, dos resultados obtidos e experiências com a comunidade científica.

## **1.7. Estrutura do Documento**

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos: Introdução; Inteligência Ambiente; Computação Especulativa; Especificação e Desenvolvimento; Implementação e Testes – KAVI; Conclusões e Trabalho Futuro.

O primeiro capítulo tem por objetivo dar a conhecer o âmbito e objetivos da presente dissertação.

O segundo capítulo contextualiza o estado da arte no que diz respeito a sistemas de inteligência ambiente, começando por abordar e descrever estes sistemas bem como as suas áreas de aplicação.

O capítulo três refere-se a outra vertente deste trabalho (Computação Especulativa) onde é abordado todo o conceito e principais aplicações. Por fim, também é feito o enquadramento relativamente ao trabalho que se pretende desenvolver.

No capítulo quatro é mencionado toda a especificação e desenvolvimento relativamente ao sistema desenvolvido ao longo deste trabalho.

O quinto capítulo refere-se à implementação realizada e aos testes para validação de resultados.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões, trabalho relevante, síntese do trabalho realizado e trabalho futuro.

## **2. INTELIGÊNCIA AMBIENTE (Aml)**

Nesta seção será abordado o paradigma de inteligência ambiente (Aml) em relação à sua emergência e definição como também os componentes que compõe um sistema Aml. Posteriormente serão enunciadas algumas áreas de aplicação como alguns projetos realizados. Por fim serão realizadas críticas e comentários acerca de toda a informação enunciada.

### **2.1. Emergência dos Aml**

A comissão Europeia iniciou a investigação no campo da inteligência ambiente em 2001 [9]. Inicialmente os computadores eram muito caros e muito difíceis de perceber e utilizar. Cada computador era um recurso muito escasso e precioso. Através da evolução da tecnologia, nos anos 80, os computadores deixaram de ser utilizados por várias pessoas e passaram a ser utilizados e mantidos por um só utilizador [10].

Hoje em dia o acesso a um computador não implica necessariamente possuir apenas um portátil. Desde o avanço dos processadores, e do seu tamanho, podemos encontrar poder computacional em vários objetos e aplicações domésticas (p. ex. máquinas de lavagem, frigoríficos e micro-ondas), objetos que podemos utilizar fora de casa (p. ex. telemóveis, PDA's e tablets) e dispositivos que nos auxiliam a guiar-nos a partir da nossa casa (p. ex. carros e sistemas de navegação GPS). A utilização de dispositivos que realizam cálculos cada vez mais rápidos e com baixo consumo de energia em tarefas muito específicas estão cada vez mais distribuídos pelos diferentes níveis da nossa sociedade.

A ampla disponibilidade de recursos provocou a introdução dos ambientes inteligentes. No entanto, acesso à tecnologia não é suficiente para que uma área floresça. Nas últimas décadas as experiências dos utilizadores desenvolveram um contexto interessante em relação às expectativas dos sistemas diminuindo o medo de serem utilizados. Desta forma, a interação da sociedade com a tecnologia manipula os serviços disponibilizados de forma a adaptarem-se às necessidades dos utilizadores.

Tecnicamente, muitos de nós vivemos casas consideradas “inteligentes” por um custo muito razoável. A utilização de termóstatos e sensores de controlo de iluminação são

dispositivos muito comuns no nosso espaço doméstico. Outro exemplo podem ser os sensores de movimento ligados a um alarme de segurança para a deteção de intrusos. Os recentes avanços computacionais e eletrónicos aumentaram a autonomia dos sistemas tornando-os mais inteligentes, tendo surgido desta forma novos conceitos relacionados com ambientes inteligentes. A ideia principal dos ambientes inteligentes é o enriquecimento de tecnologia no ambiente (p. ex. sensores e dispositivos ligados em rede) de maneira a que os sistemas operem como se fossem “mordomos eletrónicos” perceptíveis das características dos utilizadores e do ambiente e raciocinando conforme a informação acumulada ao longo do tempo, com o objetivo de tomar as melhores decisões em benefício dos utilizadores presentes no ambiente.

## **2.2. O que são Sistemas de Inteligência Ambiente?**

Os sistemas de inteligência ambiente ou ambientes inteligentes têm sido caracterizados de diferentes formas pelos investigadores. Apesar das diferentes caracterizações, os ambientes inteligentes convergem de forma a serem sensíveis, ágeis, adaptáveis, transparentes, ubíquos e inteligentes [9][11].

A partir das várias definições estabelecidas, podemos ver os ambientes inteligentes como uma disciplina que é comparada e contrastada com áreas como computação ubíqua e inteligência artificial. O facto dos sistemas que integram o paradigma de ambiente inteligente serem sensíveis, ágeis e adaptáveis depende diretamente do contexto em que estão inseridos. A característica de transparência destes sistemas está relacionada com o desaparecimento do conceito dos computadores.

A noção de desaparecimento do computador está relacionada com a noção de computação ubíqua ou computação pervasiva assim definida mais tarde pela IBM [12]. Algumas publicações relacionam e interligam computação ubíqua, computação pervasiva, ou computação em qualquer lugar com ambientes inteligentes. Desta forma os ambientes inteligentes incorporam investigação em inteligência artificial com maior abrangência, possuindo também contribuições para a aprendizagem das máquinas, para o software baseado em agentes e para a área robótica. A investigação em Aml pode também incluir trabalhos baseados na audição, visão, linguagem e no conhecimento pois estão relacionados

com a inteligência humana e é neste ponto que a Aml difere da computação ubíqua, segundo Maeda e Minami [13].

Assim podemos definir ambiente inteligente como espaços eletrônicos e tecnológicos que são sensíveis e ágeis na presença dos utilizadores. A tecnologia incorporada nestes ambientes opera de modo a auxiliar as pessoas nas suas atividades diárias, nas suas tarefas e rituais utilizando a informação fornecida pela rede de dispositivos existentes.

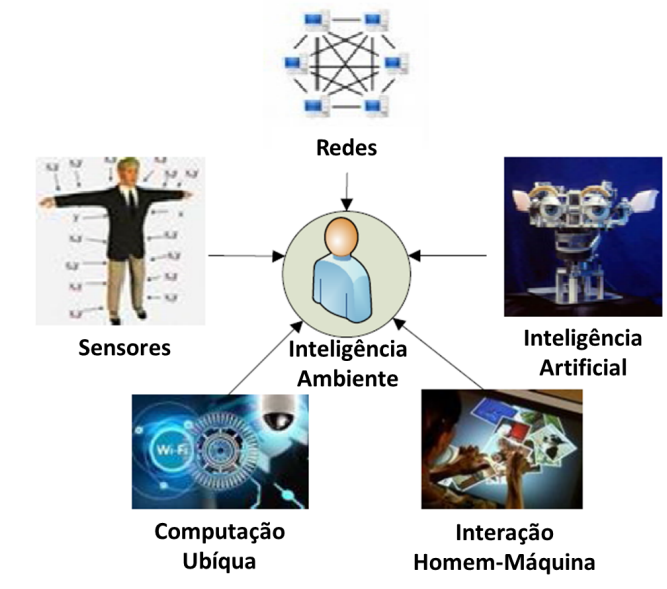


Figura 1 - Áreas Científicas da Inteligência Ambiente

### 2.3. Sensorização e Detecção

Como referido anteriormente os ambientes inteligentes referem-se a espaços físicos reais. Deste modo, como falamos do mundo real, é necessária a utilização de sensores. Apesar do raciocínio e da complexidade do processamento da informação por parte dos sistemas em ambientes inteligentes, se não houver sensores que captem a informação de nada vale o processamento e a complexidade de algoritmos presentes nestes sistemas.

A informação captada pelos sensores em ambientes inteligentes é processada e utilizada para tomar decisões de acordo com o contexto em que está inserido e com o propósito do seu desenvolvimento. Essa informação ajuda o sistema a ter uma perceção do ambiente em que se encontra de forma a agir corretamente.

A qualidade da informação nestes ambientes está diretamente relacionada com o número de sensores presentes. Quanto maior for o número de sensores maior será a informação captada e melhor será a percepção do sistema em relação ao ambiente.

Os sensores foram desenvolvidos para atuar no controlo de distâncias [14], deteção de químicos e humidade [15], avaliação de luminosidade, radiação, temperatura, som, tensão, pressão, velocidade e direção, e também deteção ao nível fisiológico para auxiliar a monitorização na saúde [16] [17]. Estes sensores são normalmente pequenos e de fácil aplicação em ambientes inteligentes.

A investigação no campo de sensores *wireless* tem crescido nos últimos anos por ser uma tecnologia prática e cómoda sem ligações físicas [18]. Um inconveniente deste tipo de sensores é a necessidade de uma fonte de energia para cada sensor. Deste modo a investigação nesta área tem seguido outro ramo no que diz respeito às alternativas de fontes de energia.

A tarefa mais complicada em sistemas Aml baseia-se no processamento de informação captada pelos sensores. É necessário para o sistema ter a noção do significado da informação que é captada e, na maioria das vezes, torna-se uma tarefa complexa.

No caso de os sensores não serem precisos a informação captada pode não ser correta e se o sensor falhar deparamo-nos com informação incompleta. Esta informação é, na maioria das vezes, tratada em tempo real o que torna o processamento do sistema mais pesado [19].

Em relação à análise dos dados, os sistemas Aml trabalham em função de uma modelação centralizada ou descentralizada [20]. Numa modelação centralizada a informação absorvida pelos sensores é transmitida para um servidor central onde é analisada. No caso de uma modelação descentralizada, cada sensor possui capacidades de processamento local, que será posteriormente transmitida para outros nodos na rede de sensores. A escolha do modelo reproduz um efeito dramático dependendo da arquitetura computacional e das tarefas que os sensores realizam num determinado sistema. Quando a informação proveniente das várias fontes é reunida torna-se mais eficaz, completa e conclusiva.



## 2.4. Raciocínio

A detecção e a ação são a ligação entre algoritmos inteligentes e o mundo real em que eles operam. Para que os algoritmos sejam ágeis, adaptáveis e benéficos para os utilizadores existem vários tipos de raciocínio que devem ser tomados em conta. Eles incluem a modelação do utilizador, previsão e reconhecimento, tomada de decisão e raciocínio espaço-temporal.

### 2.4.1. Modelação

Uma característica que separa os algoritmos computacionais gerais daqueles que são sensíveis para o utilizador é a capacidade de modelar os comportamentos do utilizador. No caso de poder ser criado um modelo, este pode ser usado para personalizar os comportamentos num sistema Aml em prol do utilizador. Quando os resultados do modelo geram uma base de conhecimento sólido, este pode proporcionar a detecção de anomalias e alterações nos padrões pré-estabelecidos. Se o modelo tiver a capacidade de se refinar o ambiente poderá adaptar-se a padrões variáveis. Neste sentido podemos caracterizar a modelação do utilizador em Aml segundo três características:

- A informação que é utilizada para construir o modelo;
- O tipo de modelo que é gerado;
- A natureza do algoritmo de construção do modelo.

Para a construção dos modelos é apenas utilizada a informação de baixo nível proveniente dos sensores. Esta informação é fácil de captar e processar. Contudo, o desafio de usar esta informação de baixo nível é a natureza volumosa da aquisição de informação. Por exemplo, no projeto de casas inteligentes *MavHome*, é capturada a informação de movimentação e luminosidade onde um pré-processador de exploração de dados identifica padrões sequenciais que são usados para construir um modelo hierárquico em relação aos comportamentos do morador [21].

### **2.4.2. Previsão e reconhecimento**

Outra característica dos algoritmos de raciocínio é a capacidade de previsão e reconhecimento de atividades em ambientes inteligentes. A maioria da investigação realizada focada em ambientes inteligentes baseia-se na utilização de sensores nestes ambientes de modo a melhorar a experiência dos utilizadores.

Em muitos projetos como, *Neural Network House* [22], Habitação Inteligente [23] e *MavHome* [24], o controlo e adaptação de ambientes domésticos é realizado de modo a antecipar a localização, as rotas e as atividades dos seus residentes. Os algoritmos de previsão desenvolvidos no contexto doméstico são muito úteis para prever o local em que o residente se encontra e as suas ações, permitindo desta forma ao sistema inserido num ambiente inteligente antecipar as necessidades do morador e auxiliá-lo desenvolvendo ou indicando uma ação.

A previsão e a antecipação estão relacionadas com a modelagem. Através da construção de modelos, o sistema consegue ter uma melhor percepção da realidade e reconhecer uma determinada atividade realizada pelo morador, prestando o apoio necessário ou lembrando-o das atividades que estão contidas na sua rotina [25].

Desta forma, a contribuição do sistema no que diz respeito à previsão e ao reconhecimento está diretamente relacionada com a qualidade dos modelos criados previamente. Durante a evolução do sistema e das previsões e antecipações desenvolvidas é também possível refinar os modelos por forma a manter a informação atualizada.

### **2.4.3. Tomada de Decisão**

Ao longo dos últimos anos, as tecnologias de suporte para ambientes inteligentes têm-se desenvolvido muito rapidamente. A tomada de decisão é a principal tarefa deste tipo de sistemas. Esta característica serve, neste contexto, para lembrar os seus utilizadores de realizar uma tarefa típica diária como também para o auxílio na realização de uma tarefa.

A tomada de decisão tem vindo a ser aplicada nestes sistemas de forma a torná-los mais eficientes. Uma das primeiras aplicações foi na Casa adaptativa de Mozer [26], que usa uma rede neural e uma máquina de aprendizagem para determinar as melhores

configurações para as luzes e para a ventilação no lar. O projeto IDorm de Hagra [27] é outro exemplo de um sistema totalmente automatizado num ambiente doméstico.

A automatização destes sistemas baseia-se na observação do comportamento do residente de forma a produzir regras. Essas regras podem ser modificadas ao longo do tempo, bem como excluídas do sistema se necessário de forma a tornar o sistema adaptativo de acordo com o comportamento do morador.

Na tomada de decisão é possível utilizar uma rede hierárquica de tarefas de forma a gerar sequências de ações e planos de contingência no algoritmo de um ambiente inteligente. Por exemplo, quando existe a necessidade de apoio médico para o residente, o sistema Aml [28] pode chamar um médico especialista na área de acordo com os sinais vitais do utilizador. Caso não obtenha resposta do especialista o sistema Aml toma a decisão de telefonar para o hospital mais próximo e requisitar assistência por ambulância.

#### **2.4.4. Raciocínio espácio-temporal**

A ocorrência de determinado evento num sistema Aml é muito importante. Muito pouco pode ser processado sem uma referência explícita ou implícita do espaço e do momento em que eventos significativos ocorreram. Para que um sistema tome as decisões mais corretas possíveis, num ambiente inteligente, é necessário saber o local do utilizador em cada momento para poder avaliar o contexto espácio-temporal. Todas as referências são importantes para o sistema, uma vez que, quando reunidas objetivam pistas significativas acerca do tipo de atividades que o utilizador desenrola diariamente. Desta forma é possível, para o sistema, tomar as decisões mais adequadas.

O raciocínio espacial e temporal são duas áreas muito focadas em Aml que têm sido alvo de grande investigação nos últimos anos [29]. Num aeroporto este raciocínio pode ser aplicado quando, por exemplo, é necessário analisar as trajetórias das pessoas dentro de um espaço e classifica-las como sendo uma trajetória correta e normal ou com sendo uma trajetória errada ou proibida [30].

Estas duas dimensões, espaço e tempo, são essenciais para compreender pontos fulcrais de uma determinada situação em desenvolvimento.

Vamos supor que existe um sistema em Aml que tem como objetivo monitorar um ambiente doméstico em relação a situações perigosas. No caso de o morador ligar o fogão, o

sistema precisa de ter a percepção do instante de tempo em que o fogão foi ligado. Em relação ao espaço, é necessário que o sistema monitorize a localização do morador de forma a prevenir algum acidente no caso de o morador abandonar a cozinha por mais de 10 minutos, por exemplo. Supondo que o morador se esquece do fogão aceso, o sistema Aml tem que tomar providências, alertando o morador que o fogão se encontra ligado.

Outro exemplo pode ser o caso de alguém tocar à campainha e o morador não atender em menos de cinco minutos. Neste caso, como o sistema sabe que o morador não apresenta qualquer deficiência auditiva e sabendo que este está presente em casa, pode-se tratar de uma emergência devendo o sistema alertar as entidades competentes para resolver um potencial problema. Assim, a frequência ou sequência com que um utilizador realiza determinada ação num instante de tempo é importante para o sistema definir regras e padrões de forma a adaptar-se às necessidades e às tarefas do morador/utilizador.

## **2.5. Atuação**

Os sistemas Aml ligam o raciocínio acerca do mundo real através da sensorização e da atuação. Os dispositivos designados inteligentes e de suporte são mecanismos que em ambientes inteligentes executam tarefas de forma a interagir com os seus utilizadores. Um mecanismo pode ser por exemplo robôs. As relações entre humanos e máquinas foram muito exploradas durante muitos anos na ficção científica.

A investigação na área robótica tem tido progressos significativos removendo as tarefas mais repetitivas do quotidiano dos humanos. Por exemplo, nas farmácias a utilização de robôs é útil quando pedimos um medicamento específico e este se encarrega de o enviar até ao balcão. Outra utilização de robôs pode ser encontrada em casas de repouso [31] para auxiliar os idosos nas suas tarefas como, por exemplo, na alimentação.

Estes dispositivos avançados são capazes de auxiliar os seus utilizadores em variadas tarefas e também influenciar as decisões humanas. A investigação em relação à atuação de robôs é muito diversificada desde a mobilidade, semelhante aos humanos, permitindo uma maior influência na sua interação.

## 2.6. Áreas de Aplicação

Existem vários sistemas no âmbito de ambientes inteligentes que interagem com a nossa vida a diferentes níveis. Nesta seção serão abordadas várias áreas onde podemos encontrar sistemas Aml bem como as tecnologias utilizadas e alguns desafios que surgiram no desenvolvimento destes sistemas. As soluções aqui apresentadas poderão também suscitar algum interesse no desenvolvimento de futuras aplicações neste âmbito.

### 2.6.1. Casas inteligentes (“*Smart Homes*”)

Um ambiente doméstico que possua sistemas que seguem o paradigma de ambientes inteligentes é considerado “*Smart Home*” (do inglês casa inteligente). Alguns equipamentos domésticos ou artefactos presentes numa habitação contêm sensores permitindo a coleção de informação relativamente ao uso que os utilizadores efetuam sobre eles chegando a agir de forma independente, sem intervenção humana. Alguns exemplos destes equipamentos podem ser, por exemplo, o fogão, o frigorífico, as torneiras, a cama, o ar condicionado ou os radiadores. Estes equipamentos ao possuírem “inteligência” resultam em vários benefícios para o utilizador, destacando-se: o aumento da segurança, conforto e economia.

O aumento da segurança deve-se ao facto destes sistemas proporcionarem prestação de assistência quando ocorre alguma situação de emergência que é reconhecida através do monitoramento diário das atividades gerando padrões de comportamento em relação ao estilo de vida dos moradores. O conforto refere-se, por exemplo, ao ajuste da luminosidade de acordo com as necessidades do morador e a economia refere-se à autonomia que estes sistemas apresentam, por exemplo, na gestão da utilização de lâmpadas. Este último ponto torna-se eficaz quando são utilizados sensores de posicionamento interior num sistema Aml.

O projeto MavHome opera sobre um ambiente como um agente inteligente, que percebe o ambiente através de sensores e atua sobre o meio ambiente através de controladores de energia elétrica [32]. Neste projeto o sistema observa as atividades dos residentes do mesmo modo que os sensores interpretam o ambiente. Através dessas atividades são extraídos padrões repetitivos de modo a identificar prováveis atividades futuras.

A tecnologia da casa inteligente Gator foi desenvolvida com o objetivo de auxiliar pessoas idosas ou pessoas com incapacidades que vivem sozinhas. A casa é equipada com

vários sensores e atuadores gerando um grande fluxo de dados no sistema Aml [33]. O fluxo de dados é processado segundo uma arquitetura OSGi de modo a manejar os dados com mais facilidade, modela-los e encripta-los [34].

O dormitório inteligente na Universidade de Essex (iDorm) é outro projeto baseado em vários sensores, atuadores, processadores e redes colocados num apartamento com duas camas [35]. Trata-se de pequenos apartamentos onde é possível realizar todas as tarefas básicas diárias (como trabalhar, dormir, comer, cuidar da higiene e diversão) com a ajuda de qualquer computador na rede do iDorm, que permite controlar os dispositivos existentes no apartamento. Este controlo é efetuado através de processos normais de Java [27].

O projeto Home Aware [26] foi desenvolvido no Instituto de Tecnologia da Geórgia. Esta casa é composta por dois espaços exatamente iguais e independentes, compostos por: dois quartos, duas casas de banho, um escritório, uma cozinha, uma sala de estar e uma lavandaria. Existe também uma cave com uma área comum de entretenimento e um quarto central com computação centralizada. Esta casa é composta por dispositivos de monitoramento da posição humana realizada através de sensores de ultrassom, tecnologia por rádio frequência e vídeo, sensores de piso e técnicas de visão.

O sistema Aml desenvolvido para esta habitação auxilia várias tarefas aos moradores como, por exemplo, encontrar objetos perdidos (chaves, carteiras, óculos e comandos de televisão). O sistema utiliza etiquetas de rádio frequência anexadas a cada um dos objetos que o morador identifica como propícios a perda e desta forma é possível para o sistema encontrar estes objetos dentro do espaço habitacional. O sistema utiliza indicadores de som para indicar a posição do objeto que o morador pretender encontrar (p. ex. “os óculos estão debaixo do sofá”). A interação com o sistema pode ser efetuada através de painéis de toque LCD.

Devido à grande popularidade das casas inteligentes, vários projetos liderados pela indústria estão também a desenvolver casas inteligentes. A Siemens tem investido nestas casas de modo a aumentar a segurança, o entretenimento e a economia. A interação com os sistemas é realizada através de ecrãs de toque, comandos por rádio frequência ou através do telemóvel pessoal. O monitoramento de crianças ao nível da segurança doméstica é outro campo de investigação da Siemens.

A Philips também já desenvolveu casas inteligentes para o mercado da tecnologia inovadora através de ecrãs interativos. A pesquisa por parte da Philips tem-se debruçado sobre

questões sociais aplicáveis em sistemas Aml de modo a serem adequados e aceitáveis para os utilizadores especialmente para idosos [36].

A Microsoft também possui um laboratório dedicado à investigação acerca da interação humana com sistemas que incorporem inteligência artificial de modo a apoiar as atividades diárias dos seus utilizadores [37].

Para além destes projetos enunciados acerca de casas inteligentes existem muitos outros que se dedicam a desenvolver sistemas Aml de modo a aumentar a qualidade de vida dos seus utilizadores.

### **2.6.2. Assistência e monitorização da saúde**

Os ambientes inteligentes podem ser utilizados em muitos contextos. Os sistemas nesta área pretendem automatizar determinadas tarefas da nossa vida, aumentar a produtividade no trabalho e personalizar as nossas experiências de compras, permitindo ainda a economia de recursos como a água e a eletricidade.

Nesta seção é focado um subconjunto de aplicações destes sistemas de vigilância e monitoramento da saúde. A importância que é dada a esta área deve-se à quantidade de investigação que é realizada neste âmbito, como empresas dedicadas ao desenvolvimento de tecnologias inteligentes para pessoas idosas.

Outra razão para a grande investigação em ambientes inteligentes baseia-se no apoio à qualidade de vida de pessoas com incapacidades e deficiências. A necessidade da evolução da tecnologia nesta área baseia-se nos futuros dados demográficos. Em 2040, prevê-se que 23% da população terá mais de 65 anos [38] e mais de 11 milhões de pessoas sofrerão de problemas psicológicos como a doença de Alzheimer [39]. As questões económicas são outro aspeto que leva ao desenvolvimento destes sistemas. A comissão das comunidades europeias afirma que através da introdução de monitorização móvel na vida de pessoas idosas ou com deficiências reduz a interação direta com os hospitais sendo possível poupar 1,5 bilhões de Euros por ano só na Alemanha [40].

Através da pesquisa realizada no âmbito de casas automatizadas é possível oferecer suporte para pessoas com deficiências físicas e mentais de modo a terem uma vida mais independente no seu próprio lar [41]. Estes sistemas visam a redução do desgaste físico e emocional por parte dos assistentes pessoais destas pessoas. Os objetivos destes sistemas

baseiam-se no reconhecimento de atividades, na monitorização da alimentação e do exercício físico e na detecção de alterações e/ou anomalias.

No âmbito da saúde, os sistemas Aml podem ser utilizados para lembrar os utilizadores das suas tarefas normais, como também uma sequência de passos para realizar determinada tarefa. Para as pessoas com limitações físicas, a automação das suas casas e do ambiente de trabalho permite-lhes viver a vida de forma mais independente. Outros sistemas permitem a avaliação das limitações cognitivas dos indivíduos. Carten e Rosen desenvolveram um sistema que permite avaliar a eficiência na realização das tarefas na cozinha [42]. Outro exemplo, utilizado por Jimison baseia-se na avaliação de indivíduos a jogar jogos de computador [43]. Essa avaliação é baseada em fatores como a dificuldade do jogo, o desempenho do jogador e o tempo que este leva para terminar o jogo.

Assim, podemos concluir que os sistemas Aml podem ser desenvolvidos para melhorar a qualidade de vida das pessoas, mesmo quando estas vivem sozinhas.

A Intel desenvolveu um grupo denominado “Grupo de Saúde Proactivo” que realiza investigação e desenvolvimento em sistemas que permitam aumentar a qualidade de vida das pessoas idosas [44]. Um aspeto importante na vida das pessoas idosas é a sua rede de amigos e interação social. Neste sentido a Intel desenvolveu um sistema que através de sensores *wireless* examina e recolhe informação da vida de uma pessoa e das suas interações com outras pessoas com o objetivo de realizar um resumo diário e oferecer conselhos para melhorar esse aspeto na vida de uma pessoa.

### **2.6.3. Hospitais**

O aparecimento de sistemas para ambientes domésticos é um avanço tecnológico muito grande. Contudo os hospitais continuam a ser necessários no sentido de possuírem equipamentos profissionais e dispendiosos para diversos tratamentos. Desta forma, o desenvolvimento de sistemas Aml continua a ser alvo de investigação. Podemos encontrar vários sistemas num hospital para realizar diversas tarefas como, por exemplo, sistemas relacionados com a segurança dos pacientes e dos profissionais de saúde e também sistemas que acompanham a evolução de um paciente após uma intervenção cirúrgica. Apesar da existência de sistemas Aml direcionados para casas inteligentes, estes podem também ser adaptados em salas ou áreas específicas dos hospitais.



Os sistemas Aml podem também ser utilizados para melhorar a experiência dos pacientes num hospital. Por exemplo, em Chicago, no hospital geral *Lutheran* foi criado o “*Yacktman Children’s CT Pavilion*” onde os pacientes são entretidos e ajudados por inteligência ambiente durante os procedimentos hospitalares [45]. Os pacientes interagem com o sistema e indicam as suas preferências e gostos que são registados em cartões RFID (cartões que possuem informação difundida por rádio frequência). Quando o sistema deteta esses cartões fica ciente da presença da pessoa que possui o cartão e adapta o espaço de acordo com as suas preferências e gostos, controlando a iluminação e projetando imagens.

Este tipo de adaptação tem como objetivo acalmar a ansiedade do paciente e orientá-lo em determinado procedimento. Por exemplo, quando estamos a lidar com uma criança e é necessário que esta suspenda a respiração durante alguns segundos, pode ser projetada uma imagem de uma criança a suspender a respiração de forma a ser imitada. Desta forma, o medo da criança é reduzido, ajudando-a também a compreender o procedimento.

Os sistemas Aml também podem ser aplicados para estabelecer comunicação com casas inteligentes. A comunidade hospitalar de Ulster, na Irlanda do Norte desenvolveu o projeto *PathFinder* com o objetivo de cuidar de pessoas idosas e vulneráveis a partir das suas casas. O objetivo do projeto seria equipar 3000 casas na comunidade com sensores de forma a monitorizar a vida das pessoas. Desta forma seria possível aumentar o nível de autonomia, independência e segurança destas pessoas, mesmo quando a sua condição médica é debilitada.

Estes sistemas, instalados em hospitais, têm também como objetivo a redução da carga de trabalho para os enfermeiros nas unidades de assistência médica e ainda consciencializa-los dos procedimentos corretos de forma a evitar erros médicos. Também podem ser utilizados sistemas de localização num hospital de forma a localizar um profissional de saúde específico numa situação urgente. Este tipo de sistemas pode usar crachás específicos de localização como sensores para realizar a localização dos profissionais [46].

#### **2.6.4. Transportes**

Os transportes possuem cada vez mais sistemas Aml com o objetivo de auxiliar os condutores e os passageiros nas suas viagens. É importante termos a percepção, em cada momento, do estado da viagem. Por exemplo, a utilização de GPS nos transportes tem

aumentado ao longo do tempo devido ao seu custo neutro de utilização e também pela qualidade de informação das direções que devemos tomar de forma a alcançar determinado destino. Além disso, estes sistemas também aumentam a segurança dos condutores pois podem avaliar a velocidade do veículo na estrada alertando quando este excede os limites legais de circulação.

O projeto I-VAIT's ajuda os condutores através da recolha de informações importantes de acordo com a forma como estes interagem com o veículo, como a pressão que o condutor exerce sobre o travão e as suas expressões faciais (estado de humor) [47]. Estas informações permitem ao sistema auxiliar o condutor na execução de manobras complicadas prevenindo acidentes.

Um sistema parecido, desenvolvido pela Pentland em parceria com o centro de investigação da Nissan em Cambridge tem a capacidade de monitorar continuamente o estado do condutor através dos movimentos das pernas e das mãos auxiliando-o na condução de forma a otimizar o desempenho do veículo [48].

### **2.6.5. Educação**

Os sistemas Aml podem ser utilizados no âmbito educacional. Estes sistemas podem ajudar os estudantes a melhorar a sua experiência de aprendizagem através da monitorização da progressão dos alunos nas suas tarefas e através da frequência da participação em eventos importantes. No projeto *Georgia Tech Classroom 2000* são fornecidas interfaces, como por exemplo, um quadro interativo que armazena todo o seu conteúdo numa base de dados [49].

Na sala de aula inteligente da Universidade Northwestern, em Illinois nos Estados Unidos são utilizados muitos dispositivos como câmaras de vídeo e microfones para capturar a informação da sala de aula [50]. Através da informação capturada é possível controlar a luminosidade da sala, reproduzir vídeos e slides complementares de acordo com a matéria lecionada.

No projeto RCSM (*Reconfigurable Context Sensitive Middleware*) da Universidade do Arizona, é previsto um reforço na aprendizagem colaborativa através da utilização de PDA's para monitorar o ruído e a luminosidade e ainda para a distribuição de materiais entre os alunos e o professor [51].

Um outro projeto da Universidade de San Francisco utiliza um sistema Aml para monitorar os comportamentos dos alunos na sala de aula [52].

A utilização destes sistemas para a aprendizagem infantil é também importante para desenvolver as capacidades cognitivas das crianças, envolvendo-as em ambientes virtuais com jogos didáticos, como por exemplo o *KidsRoom* desenvolvido pelo MIT [53].

## **2.7. Comentário final**

De acordo com os vários sistemas apresentados acima podemos concluir que vivemos rodeados de ambientes inteligentes. Podemos encontrar estes sistemas no nosso ambiente doméstico como também em ambientes no âmbito da saúde, transportes e educação. O seu desenvolvimento tem como objetivo melhorar a qualidade de vida das pessoas aumentando a sua segurança, autonomia e conforto.

### 3. COMPUTAÇÃO ESPECULATIVA

Nesta seção será introduzida a computação especulativa bem como a sua integração em ambientes inteligentes. No fim deste capítulo são apresentadas críticas e comentários de acordo com o âmbito deste trabalho.

#### 3.1. Definição

A computação especulativa (CE) é, segundo Boudol e Petri, uma técnica de implementação que tem como objetivo acelerar a execução de programas, através de subconjuntos de código, executados possivelmente em paralelo com o resto do programa, sem se ter a certeza se essa computação é realmente necessária ou obrigatória [54].

Noutro contexto, Satoh define computação especulativa como um meio para resolver problemas que possuem informação incompleta ou incerta de forma eficaz [55]. Os sistemas que integrem esta técnica permitem computar soluções por tentativas utilizando conhecimento inicial ou através da informação proveniente de agentes, no caso de sistemas multiagentes. Num sistema multiagente todos os agentes devem cooperar quando é realizado raciocínio especulativo devido ao atraso ou falta de informação por parte de um ou mais agentes.

#### 3.2. Demonstração teórica e prática

De modo a compreender melhor a execução especulativa é apresentado de seguida um exemplo neste contexto. Vamos supor que dispomos de uma proposição **X**, baseada numa base de conhecimento **B**, com **N** fontes de informação e um objetivo **O**. A execução é iniciada com base na proposição **X** com o objetivo de esta ser validada. As fontes de informação são “questionadas” acerca da veracidade da proposição **X** e, caso alguma retorne informação que a contradiga é necessário atualizar a proposição. No caso de nenhuma fonte de informação contrariar a proposição ou, caso a informação obtida seja incompleta ou incerta, a proposição é assumida como válida para o objetivo **O** pré-definido. Desta forma é possível tratar situações em que a informação é incompleta ou incerta de modo a produzir respostas, ainda que sem certeza, num determinado contexto.

Um exemplo prático que Satoh apresenta baseia-se na reserva de um espaço para a realização uma reunião. Esta reserva é realizada consoante o número de pessoas disponíveis para atender a essa mesma reunião. Ou seja, supondo que se pretende realizar uma determinada reunião com três pessoas (A, B e C), se todas as pessoas estiverem disponíveis é necessário reservar um espaço grande, caso apenas duas pessoas estiverem disponíveis é reservado um espaço mais pequeno.

Vamos então supor que apenas as pessoas A e C confirmam a sua disponibilidade para comparecer à reunião e a pessoa B ainda não confirmou a sua presença. Desta forma estamos perante uma situação de informação incompleta, onde só é possível tomar uma decisão concreta após ser recebida a confirmação da pessoa B.

Aplicando este cenário na vida real a reserva só seria realizada no instante em que B confirmasse ou não a sua disponibilidade, contudo poderíamos correr o risco de não obter qualquer espaço disponível caso a reserva fosse feita muito próxima da data da reunião. Desta forma é introduzida computação especulativa com o objetivo de reduzir riscos.

Assim, para resolver este problema é necessário processar a informação objetiva e concreta assim como as possíveis conclusões baseadas também na informação incompleta.

Através da computação especulativa seria reservada por defeito uma sala para três pessoas, ou seja, uma sala grande. Todas as pessoas seriam questionadas acerca da sua disponibilidade e caso alguma não confirmasse a computação seria mantida com a reserva da sala grande. No cenário apresentado acima apenas as pessoas A e C tinham confirmado ficando a faltar a confirmação da pessoa B. No instante em que a pessoa B desse a sua resposta a computação seria alterada pois já não disponhamos de informação incompleta. Caso a pessoa B não tivesse disponibilidade para comparecer então a computação seria alterada passando a validar a existência de uma sala menor.

### **3.3. Aplicações**

A computação especulativa foi utilizada pela primeira vez nos anos 80 para processamento paralelo de modo a melhorar os tempos de processamento [56]. Contudo, nos anos 90, começaram a aparecer projetos que usavam lógica abdutiva para sistemas multiagente.

No início do século XXI, o investigador Ken Satoh, começou a aplicar lógica abdutiva para CE com o objetivo de processar informação incompleta [57][58]. De modo a fundamentar estes sistemas, Satoh, utilizou um conceito japonês denominado “*Kiga-Kiku*” no sentido do sistema compreender uma determinada situação e tomar a decisão mais apropriada sem que lhe tenha sido informado explicitamente o que fazer.

Este conceito é aplicado quando um indivíduo é capaz de prever a intenção de outros e age proactivamente em função desse conhecimento pré-adquirido [59]. A aplicação deste conceito em sistemas que incorporam computação especulativa tem como objetivo compreender e conhecer as diversas situações em que uma resposta é utilizada, ter a percepção da intenção do utilizador, reconhecer e aprender as suas preferências e ainda ser capaz de manipular informação incompleta comum nos ambientes em que está inserido.

### **3.4. Enquadramento**

A tomada de decisão é um processo difícil quando nos deparamos com falta de informação. Nos sistemas Aml, a tomada de decisão é uma etapa fundamental para responder às necessidades dos seus utilizadores. Como referido anteriormente, estes sistemas possuem muita informação incompleta devido, por exemplo, à falha dos sensores. Em sistemas Aml que utilizam câmaras de vídeo, por exemplo, a informação do ambiente é muitas vezes incompleta devido ao ângulo de captura da câmara sendo necessária a introdução de computação especulativa para prever ou antecipar a informação que está fora do alcance da câmara.

Neste sentido, a CE pode ser introduzida em sistemas Aml, ao nível do raciocínio, com o objetivo de ultrapassar o problema da informação incompleta.

### **3.5. Comentário final**

A computação especulativa é, como podemos concluir, uma forma de processamento ou execução capaz de manipular a informação completa e incompleta.

Quando a informação transmitida pelos sensores não é concreta e explícita ao ponto de tomar decisões corretas este tipo de computação é fundamental pois através da informação prévia somos capazes, ainda sem certeza absoluta, tomar decisões e chegar a conclusões de forma a responder às necessidades dos utilizadores.

Relativamente ao enquadramento com este trabalho a especulação torna-se essencial pois muitas vezes a informação obtida do ambiente não corresponde à realidade sendo necessário informar os utilizadores independentemente da qualidade da informação obtida.

## 4. ESPECIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

Nesta seção será abordado o trabalho desenvolvido, ao nível prático, começando pela modelação do ambiente para sistemas Aml e passando pelo caso de estudo que será instanciado. Posteriormente será enunciada a respetiva arquitetura que integrará todos os conceitos abordados e o respetivo desenvolvimento.

### 4.1. Modelação do Ambiente

A modelação do ambiente é fundamental para termos a perceção do encadeamento dos vários modelos que constituem um determinado sistema. Assim, a modelação do ambiente para o sistema que se pretende desenvolver, é importante para compreender os vários modelos que o constituem assim como a sua interligação. Numa visão geral, o sistema deverá ser dividido por camadas (Figura 2), onde cada camada processa a informação de acordo com a sua função.

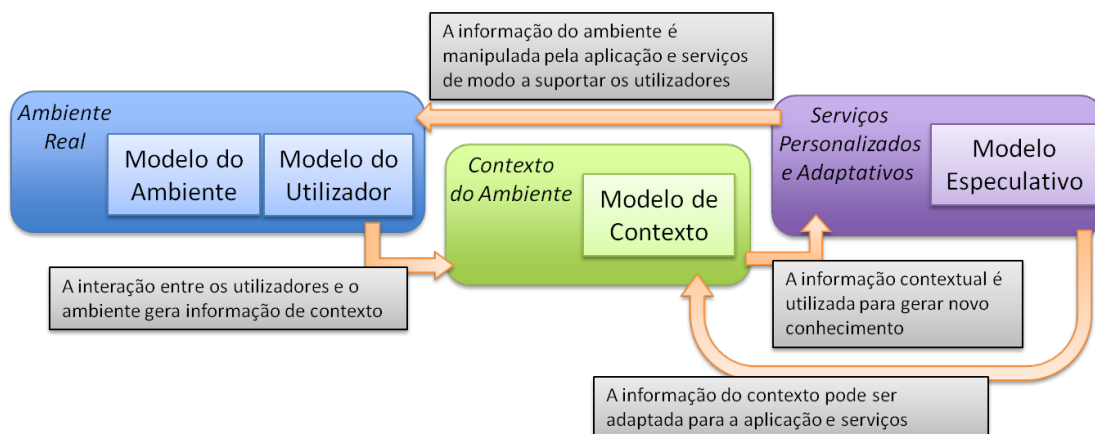


Figura 2 - Modelação Aml [60].

A primeira camada, denominada "*Ambiente Real*" (mundo físico), mantém a informação que é adquirida pelos sensores. No sistema que se pretende desenvolver a informação será adquirida através de dispositivos de captura de imagens, únicas ou em sequência, como por exemplo uma câmara de vídeo. A informação capturada será depois processada por modelos específicos.



O “*Modelo do Ambiente*” é o primeiro a interagir com a informação proveniente dos sensores de forma a manter uma representação real do ambiente num determinado instante de tempo.

O “*Modelo do Utilizador*” mantém informações específicas (variáveis) de determinado utilizador, como por exemplo: idade, altura, peso, deficiências, etc.. Estas informações são muito relevantes no sentido do sistema responder conforme as necessidades do seu utilizador.

Outro tipo de informação corresponde ao contexto em que determinado sistema está a operar (“*Contexto do Ambiente*”) de forma a produzir resultados com qualidade. É necessário informar o sistema do tipo de ambientes e quais os objetivos do utilizador na utilização do sistema. Um objetivo do utilizador pode ser, por exemplo, deslocar-se de um ponto A (localização atual) para um ponto B (destino). Parte deste tipo de informação é induzida através da conjunção de informação da primeira camada, ou seja, a informação do ambiente que em conjunto com a informação do utilizador geram a informação de contexto para determinada situação. Esta informação é mantida no “*Modelo de Contexto*” (modelo de contexto), na segunda camada, “*Contexto do Ambiente*”.

Quando toda a informação está reunida é necessário proceder à sua interpretação e processamento de modo a produzir respostas por parte do sistema. As respostas que este sistema deve produzir pretendem ajudar o utilizador a evitar obstáculos e quedas de forma a garantir a sua deslocação em segurança.

A terceira camada, “*Serviços Personalizáveis e Adaptativos*”, incorpora o modelo especulativo onde toda a informação é interpretada e processada. Depois da interpretação e processamento de toda a informação são produzidos os resultados que informarão o utilizador, das ações físicas que deve tomar de forma a deslocar-se, evitando assim os obstáculos e possíveis quedas.

A interligação de todas as camadas inicia-se na primeira camada, “*Ambiente Real*”, onde toda a informação é capturada num instante de tempo. Posteriormente, assumindo que o modelo de utilizador já contém informação, a conjunção desta informação gera informação de contexto que é introduzida na segunda camada, “*Contexto do Ambiente*”. Quando a informação do contexto é concretizada é enviada para a terceira camada, “*Serviços Personalizados e adaptativos*”, onde o modelo especulativo se encarrega de a interpretar e processar. O resultado deste processamento gera nova informação de contexto que é enviada para a segunda camada de forma a atualizar a informação anterior que esta continha. Para

além disso é transmitida à primeira camada informação resultante de forma a interagir com o utilizador com o intuito de facilitar as suas deslocações.

## **4.2. Caso de estudo**

Na sociedade em que vivemos existem muitas pessoas que possuem alguma deficiência ou incapacidade. Dentro deste conjunto encontram-se as pessoas com incapacidades visuais. Este problema afeta milhões de pessoas em todo o mundo não só à nascença como também devido a algum episódio traumático nas suas vidas.

Segundo a Organização Mundial de saúde 285 milhões de pessoas possuem incapacidade visual, das quais 39 milhões são completamente cegas e 246 milhões possuem visibilidade reduzida [61].

Com o avançar da tecnologia têm-se desenvolvido e melhorado dispositivos capazes de auxiliar estas pessoas nas suas demais tarefas e atividades diárias. A deslocação é uma atividade diária que todas as pessoas inseridas numa sociedade realizam de forma a alcançar um destino.

As pessoas com incapacidade visual necessitam deslocar-se nas suas atividades diárias, sendo que muitas vezes precisam de ajuda de terceiros para alcançar determinado destino. Contudo algumas pessoas não se sentem capazes de se deslocar autonomamente devido ao receio e insegurança de não conseguirem alcançar o destino pretendido e desta forma refugiam-se não se sujeitando a tal atividade.

A adaptação aos dispositivos desenvolvidos para estas pessoas se deslocarem é, por vezes, complicada devido a colisões, imisções e situações imprevistas, deixando-as confusas, inseguras e desmotivadas [62].

De acordo com o problema enunciado, relativamente às pessoas com incapacidade visual, pretende-se enquadrar o trabalho que será desenvolvido num sistema capaz de auxiliar estas pessoas nas suas tarefas diárias, mais concretamente nas suas deslocações.

### 4.3. Arquitetura

De seguida é apresentada uma arquitetura (Figura 3) que segue o paradigma Aml em conjunto com computação especulativa para o caso de estudo deste trabalho.

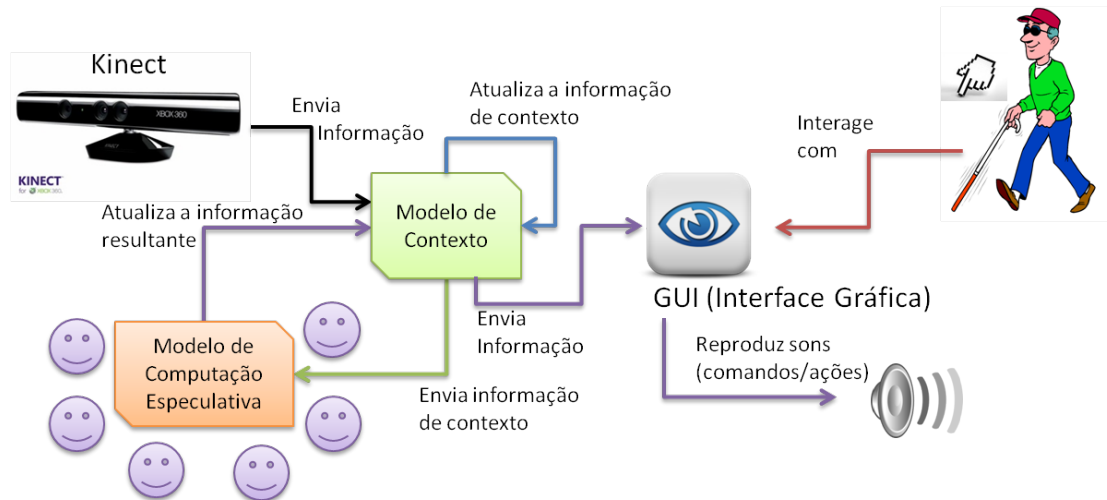


Figura 3 - Arquitetura Aml.

Como referido anteriormente, um sistema de inteligência ambiente é composto por sensores de modo a capturar informação do ambiente. Para tal é utilizada uma câmara de vídeo desenvolvida pela Microsoft para videojogos. A informação capturada pela câmara é enviada para o modelo de contexto de modo a permitir ao sistema produzir uma perceção da realidade num determinado instante de tempo. Posteriormente essa informação transita para um modelo de computação especulativa onde esta é processada e interpretada de modo a prever as ações do utilizador. No modelo especulativo a informação poderá então ser processada, como podemos visualizar na figura abaixo apresentada (Figura 4).

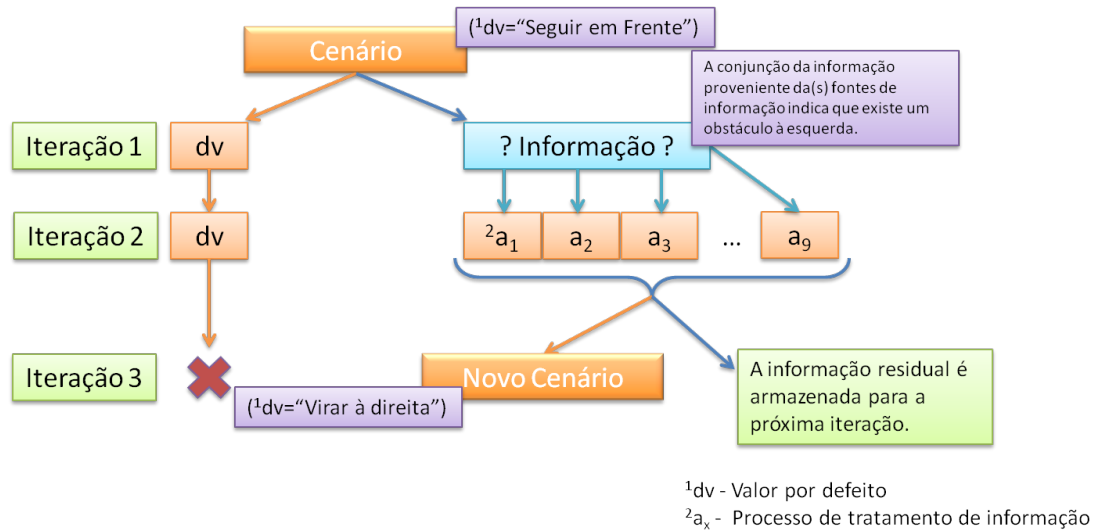


Figura 4 – Exemplo de processamento no modelo especulativo.

O processamento é iniciado com uma proposição por defeito (p. ex. “seguir em frente”). Esta proposição é considerada verdadeira até que alguma informação contradiga a sua veracidade. Na segunda etapa do processamento (Figura 4 - *Iteração 2*) a conjunção de informação proveniente dos agentes indica a existência de um obstáculo à esquerda. Desta forma a proposição é alterada para “virar à direita” de modo a que o utilizador não colida com o obstáculo existente. A informação residual deste processamento será atualizada no modelo do contexto juntamente com a proposição modificada.

Após o processamento, num instante de tempo, a informação segue para a interface do sistema e interage com o utilizador através da reprodução de comandos sonoros.

Neste momento é possível iniciar o planeamento e o desenvolvimento do que pretendemos elaborar. De seguida serão apresentados todos os requisitos, funcionalidades e decisões tomadas para o protótipo que será desenvolvido.

#### 4.4. Requisitos

Antes de iniciar o desenvolvimento do protótipo é necessário definir e esclarecer alguns pontos fulcrais relacionados nomeadamente com as funcionalidades do sistema. As principais funcionalidades do sistema residem em:

- Capturar informação do ambiente;

- Interpretar a informação capturada;
- Processar a informação e relacionar com regras pré-definidas;
- Informar o utilizador de modo a evitar obstáculos;

As funcionalidades acima referidas são o escopo principal do sistema e serão descritas e desenvolvidas durante a implementação do sistema que se encontra descrita no capítulo 5. Implementação e Testes.

### **Ambiente e Linguagem de Programação**

Para além destas funcionalidades é necessário definir o ambiente e a linguagem de programação que serão utilizados.

De acordo com a pesquisa efetuada a linguagem de programação que mais se adequa ao que se pretende desenvolver é o *C#* e deste modo o ambiente de programação escolhido foi o *Microsoft Visual Studio* (Figura 5).

Esta decisão baseiou-se na interoperabilidade entre o KINECT, dispositivo de captura de imagem utilizado no desenvolvimento deste trabalho, e a linguagem *C#* devido à API (*Application Programming Interface*) desenvolvida pela Microsoft que tem como finalidade auxiliar o desenvolvimento de sistemas que interajam com o KINECT, *Microsoft KINECT SDK*.

Outro ponto forte do *C#* é o fato de se tratar de uma linguagem orientada a objetos de modo a facilitar o desenvolvimento de sistemas por classes e módulos. Segue abaixo uma imagem do ambiente de desenvolvimento desenvolvido pela *Microsoft*.

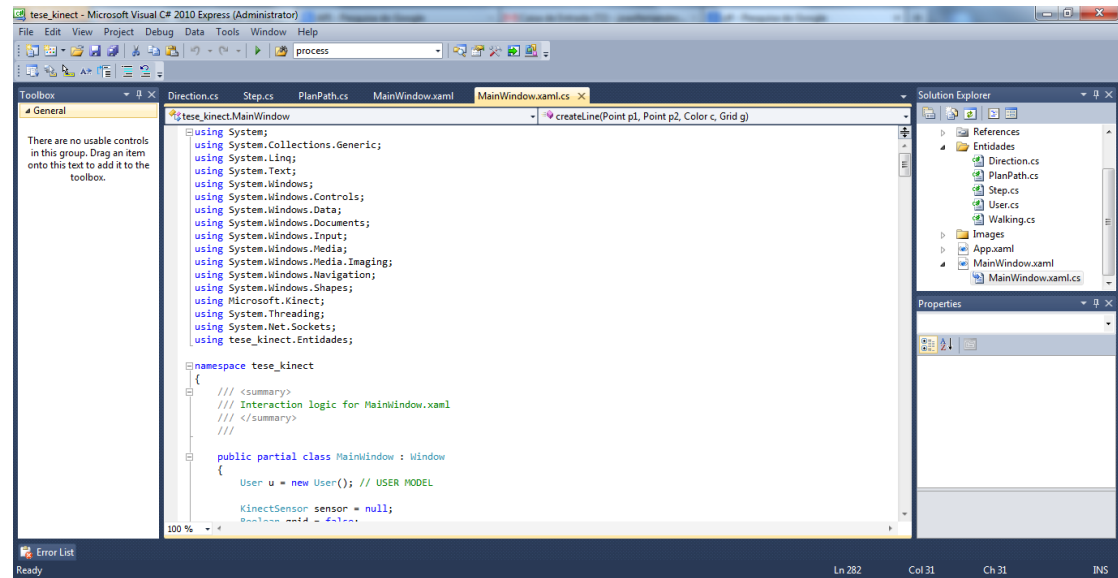


Figura 5 - Microsoft Visual Studio C#.

Após definir as principais funcionalidades e o ambiente onde será desenvolvido o sistema é necessário tomar decisões relativas à interação entre o utilizador e o sistema.

O público-alvo para este sistema são as pessoas com incapacidades visuais. Como sabemos a maioria das aplicações para pessoas invisuais ou com incapacidades visuais utilizam a via sonora para comunicar com o utilizador de modo a que este tenha a perceção do contexto e das ações que realiza. Assim, a principal decisão reside na utilização do som para comunicar e interagir com os utilizadores. Neste sentido, serão produzidos sons ou comandos quando o utilizador sobrepuser, com a ajuda de dispositivos de entrada (ex: rato), algum controlo específico da interface (GUI – *Graphical User Interface*). Outra utilização do som passa por informar o utilizador das ações que este deve tomar de modo a evitar os obstáculos.

## 5. IMPLEMENTAÇÃO E TESTES – KAVI

A partir deste momento já é possível iniciar a implementação do sistema que é proposto nesta dissertação.

De acordo com o caso de estudo este sistema foi batizado com o nome *KAVI* o qual tem como significado *KINECT Aid for the Visually Impaired*, englobando assim o público-alvo e o dispositivo principal que efetuará a recolha de dados do ambiente e do contexto em que o utilizador se encontra.

Ao longo desta dissertação foram abordados vários sistemas que incorporam ambientes inteligentes onde os componentes principais são os sensores ou dispositivos que captam e enviam a informação do ambiente para o sistema onde são produzidos resultados após a interpretação e o processamento da mesma. Sendo esse o principal objetivo deste trabalho.

### 5.1. Captura de Informação

Como referido anteriormente, o sistema de captura de imagem selecionado foi o KINECT, que permitirá obter informação útil que será depois interpretada e processada pelo sistema desenvolvido.

Inicialmente foi necessário compreender todas as funcionalidades da câmara assim como toda a informação disponibilizada pela mesma.



Figura 6 - Dispositivo de captura de imagem KINECT.

Como podemos observar na Figura 6 o KINECT trata-se de uma câmara com várias características e funcionalidades das quais as mais importantes são:

- Camara RGB – permite a captura de imagens a cores (RGB) com uma taxa máxima de 30 *frames* por segundo.
- Sensor de profundidade 3D – permite a recolha de informação tridimensional relativa ao ambiente.

Depois de compreender as funcionalidades e capacidades desta câmara foi solucionado um problema técnico, relacionado com a necessidade de alimentação contínua do dispositivo KINECT. A alimentação deste equipamento é, por defeito, realizada através de um transformador AC (220v), o que impossibilitaria os utilizadores de se poderem movimentar livremente. Desta forma foi necessário alterar o seu modo normal de alimentação passando a funcionar com uma bateria, conforme representado na imagem que se segue.

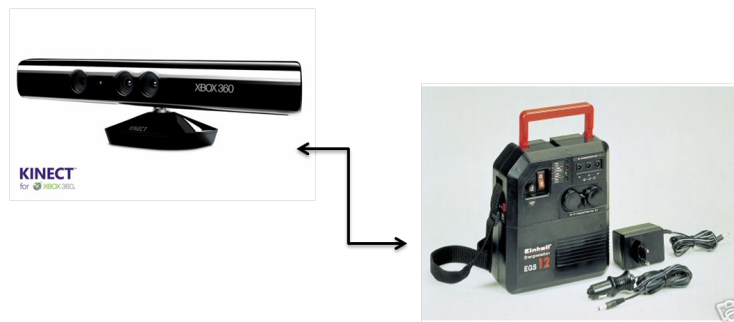


Figura 7 - Alimentação do KINECT.

Esta alteração técnica foi muito importante no sentido de tornar o KINECT num dispositivo portátil.

Por último, foi realizado um estudo relacionado com a localização da câmara no utilizador de modo a maximizar a sua performance e funcionamento, no que diz respeito à captura de imagem, de modo a recolher informação útil e com qualidade. Após analisar o funcionamento do dispositivo, posicionando-o em diversas áreas do corpo humano, concluiu-se que o melhor local para o fixar seria a cintura (Figura 8). Tal deve-se ao facto de se tratar de uma zona central do corpo onde é possível captar informação em três direções: frontal, ascendente e descendente.



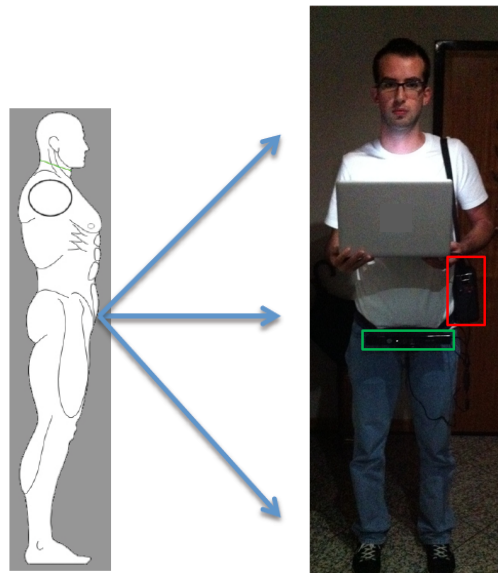


Figura 8 - Localização da câmera.

Finalmente, com todos os parâmetros de utilização do dispositivo KINECT estudados e fixados é então possível iniciar o desenvolvimento da aplicação.

## 5.2. Interpretação da informação

Inicialmente, a implementação do protótipo passou por testar e compreender o formato da informação que é captada pelos sensores. No caso do KINECT, foram realizados testes iniciais de modo a perceber o tipo e o formato de informação que era transmitido pela câmera. Constatou-se que a informação proveniente da câmera é devolvida numa estrutura linear com comprimento  $n$ :

$$n = comp * larg$$

Na qual  $comp$  e  $larg$  representam a resolução da imagem, em que  $comp$  corresponde ao comprimento da imagem e  $larg$  corresponde à largura da imagem.

A resolução da imagem consiste na qualidade da imagem capturada, tendo sido definida, na implementação, a resolução 640 x 480 pixéis (comprimento x largura).

Cada posição da estrutura linear ( $array$ ) é composta por informação correspondente à tridimensionalidade do ambiente e contexto capturado sendo desta forma possível calcular a

distância entre a câmara e o obstáculo. Esta distância corresponderá assim à distância entre o utilizador e o obstáculo. Contudo, a informação contida na estrutura é por vezes desconhecida devido a fatores externos que impossibilitam a definição da mesma. Desta forma foi necessário separar a informação útil da inútil (desconhecida).

Apesar de existir informação desconhecida esta também pode ser útil para oferecer ao sistema a perceção da informação que pode ser utilizada para posteriormente tomar decisões.

Graficamente a informação capturada numa estrutura linear é apresentada numa matriz de pixéis coloridos, conforme representado na imagem que se segue.

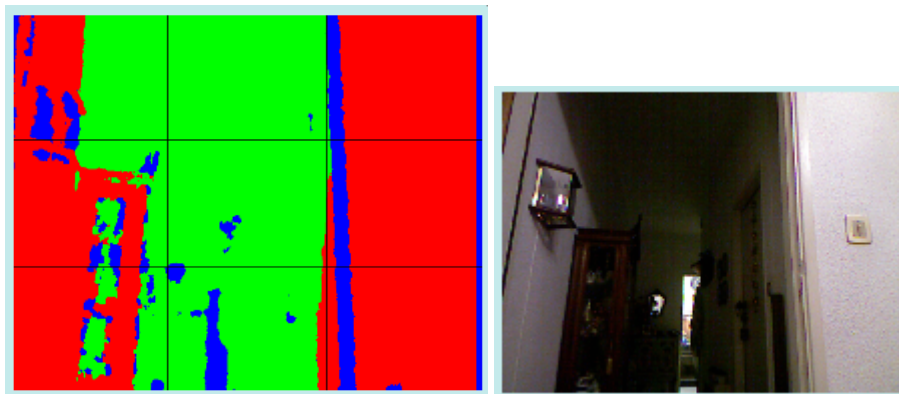


Figura 9 - Mapa de Profundidades (esquerda); Imagem Real - RGB (direita).

As cores, representadas na matriz, foram definidas com base nos intervalos de distâncias entre a câmara e os objetos, a cor verde corresponde a uma distância superior a dois metros, o vermelho corresponde ao intervalo de distância entre zero e dois metros e o azul corresponde a objetos que se encontram a uma distância desconhecida, ou seja, inferior a zero. Desta forma é possível categorizar a informação em três categorias: informação próxima (vermelho), informação longínqua (verde) e informação desconhecida (azul).

Para além desta categorização, a informação foi também dividida em blocos de processamento onde cada um dos blocos processa e preserva a informação percentual de cada uma das categorias de informação. Este tipo de divisão da informação em blocos possibilita uma melhor gestão da performance e sobrecarga do sistema.

A cada instante de receção de informação por parte do sensor cada um dos blocos processa a informação correspondente e, de acordo com um determinado fator de ativação este passa para um estado ativo. Assim, quando um bloco se encontra ativo significa que este contempla uma determinada percentagem variável de informação próxima (inicialmente

definida com 5% da informação total da informação recebida). Para a resolução definida temos:

$$Informação_{ativar\ bloco} \geq Informação_{Total} * fator_{ativação}$$

Onde,  $Informação_{Total} = comp * larg = 640 * 480 = 307200\ pixels$   
 $fator_{ativação} = 5\%$

A  $Informação_{ativar\ bloco}$  corresponde à quantidade mínima de informação próxima necessária para ativar cada um dos blocos. Na figura 9 é apresentado um exemplo onde é possível compreender o processamento da informação onde os nove blocos à direita estão diretamente relacionados com a divisão do mapa de profundidades à esquerda. A cor vermelha dos blocos à direita representa que esse bloco se encontra ativo.

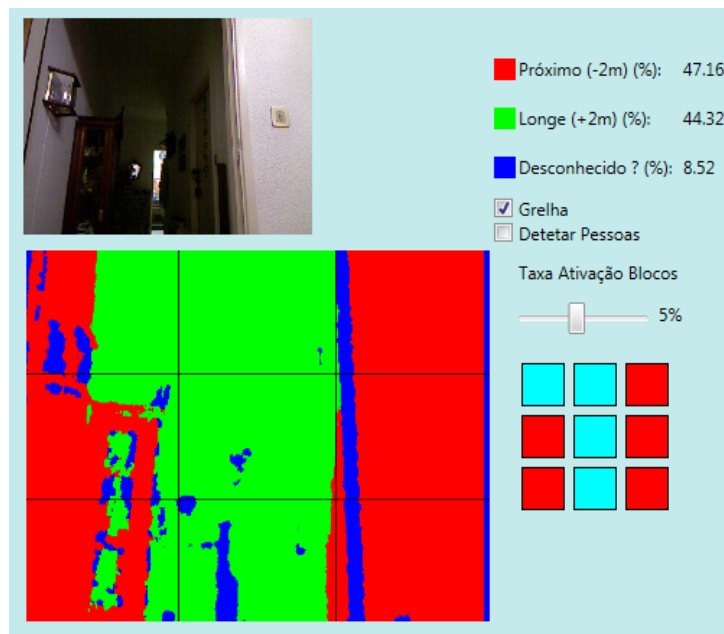


Figura 10 - Processamento da Imagem.

### 5.3. Processamento da informação

Depois de implementar o processamento e armazenamento da informação capturada pela câmara foi possível definir e implementar as regras de decisão para o sistema. Inicialmente foram definidas as possíveis decisões finais que o sistema pode atingir:

- Seguir em frente;
- Desviar à esquerda / direita;

- Virar à esquerda / direita;
- Pessoa detetada.

Cada uma das decisões apresentadas corresponde a um cenário de decisão de acordo com o contexto de possível colisão em que o utilizador se poderá encontrar.

Quando o sistema arranca, este assume que o utilizador pode incondicionalmente seguir em frente. Trata-se da primeira especulação assumida pelo sistema pois nesse momento ainda não foi transmitida qualquer informação pela câmara.

Para além da resolução da imagem enunciada anteriormente a câmara capta informação com uma frequência de 30 *frames* por segundo pois trata-se de uma câmara de vídeo. Caso o sistema analisasse toda a informação capturada, este tornava-se lento e não conseguiria processar toda a informação disponibilizada. Neste sentido, o sistema apenas processa e avalia a informação capturada em intervalos de 25 *frames* de modo a obter uma melhor performance sem ser sobcarregado.

Assim, depois do sistema ser iniciado e a navegação estar operacional a primeira informação proveniente da câmara corresponde ao 25º *frame*. Os seguintes processamentos e avaliações de informação correspondem aos *frames* múltiplos de 25:

$$\text{Avalia } X = X * 25_{frames}$$

Em que  $X$  representa cada momento de avaliação da informação.

Como abordado anteriormente foram definidas várias decisões que o sistema pode tomar de acordo com a informação disponibilizada pela câmara. Até o sistema atingir a melhor decisão para comunicar ao utilizador foi definida alguma lógica, de acordo com algumas regras que são validadas pela seguinte ordem:

- **Verificar a estrutura que contém todas as decisões possíveis do sistema** – Esta primeira verificação passa por consultar uma estrutura que contém todas as decisões que o sistema pode assumir. Quando o sistema é iniciado, esta é instanciada com todas as decisões ordenadas aleatoriamente. À medida que o sistema vai evoluindo a ordenação depende das decisões tomadas.

- **Validar se é possível assumir a última decisão** – Esta validação consiste em verificar se foi recebida alguma informação que contraria a decisão anterior tomada pelo sistema, caso tal não se verifique é assumida a última decisão;
- **Validar alguma decisão possível exceto a última** - Caso a primeira validação falhe, a estrutura de decisões é percorrida até encontrar alguma que não contrarie a última informação facultada pela câmara;
- **Alterar a estrutura que contém as decisões** – Após encontrar uma decisão válida a estrutura é atualizada caso a última decisão seja diferente da atual.
- **Manter a consistência da informação** – Toda a informação é mantida inalterada até ser recebida nova informação para de igual modo iniciar todo o processo lógico de validação.

#### 5.4. Decisão especulativa

De forma a compreender melhor a integração da computação especulativa no sistema desenvolvido é de seguida apresentado, em formato de pseudo-código, todo o processo desde a receção da informação até o sistema tomar alguma decisão e informar o utilizador.

```
var decisoes_possiveis = ['seguir em frente', propriedades]
                        ['virar à esquerda', propriedades]
                        ...
                        ['pessoa detetada' , propriedades]

// As propriedades para cada uma das decisões possíveis correspondem
às características, regras e comandos sonoros que cada decisão possui.

var ultima_decisao = 1ªIteracao ? 'seguir em frente' :
ultima_decisao_tomada;

// A última decisão na primeira iteração de processamento é sempre
'seguir em frente' pois o sistema ainda não teve acesso a qualquer
informação do ambiente. Caso não seja a 1ª iteração a última decisão
baseia-se no último processamento efetuado pelo sistema.

var informacao = informacao_disponibilizada_pelo_kinect;
distribuir_informacao ( informação , areas_processamento );
```

```
// A informação é disseminada pelas várias áreas ou blocos que irão processar e avaliar a informação correspondente.
```

```
var valida_ultima_decisão = questiona ( areas_processamento ,  
ultima_decisão );
```

```
// A última decisão é validada junto das áreas de processamento de modo a garantir a sua consistência.
```

```
if ( ! valida_ultima_decisao ) then  
    var decisao_tomada = valida_decisao ( areas_processamento ,  
decisoes_possiveis );
```

```
// Caso a última decisão não seja válida para o instante de processamento então é necessário validar outra decisão de acordo com as decisões possíveis.
```

```
if( decisao_tomada )  
    ultima_decisao = decisao_tomada;  
  
// Se não foi possível encontrar nenhuma decisão de acordo com o instante de processamento então a última decisão é mantida e a execução continua.
```

```
Informar_utilizador( ultima_decisao );  
  
// Neste momento, depois de apurar a decisão de acordo com a informação disponibilizada o utilizador é informado da ação a realizar.
```

Esta demonstração representa uma visão global da execução do sistema, contudo através do código acima exposto é possível ter uma perceção do fluxo de informação desde a sua captura, passando pela interpretação e processamento e, por fim a tomada de decisão para ser informada ao utilizador.

## 5.5. Comunicação ao utilizador

Depois de aplicar toda a lógica acima apresentada, o sistema está preparado para informar o utilizador da ação que deve realizar de acordo com o contexto em que o mesmo se apresenta/encontra, sendo assim necessário tomar decisões relativas à interação entre o utilizador e o sistema.

Esta comunicação é realizada a nível sonoro de modo a que o utilizador possa obter a informação o mais rapidamente possível e ter perceção da ação que deve realizar de forma a evitar um possível obstáculo ou queda na direção em que se encontrava inicialmente.

## 5.6. Navegação planeada

Depois de concluir a implementação correspondente ao objetivo principal do sistema (especificar e modelar uma arquitetura para sistemas em ambientes inteligentes) foi analisada a possibilidade de acrescentar uma nova funcionalidade ao mesmo.

A navegação planeada é, nos dias de hoje uma ferramenta imprescindível para qualquer pessoa se deslocar até um determinado destino desconhecido. Os seus utilizadores realizam um planeamento prévio e os sistemas produzem rotas válidas desde o ponto de partida até ao destino definido.

Neste sentido, foi analisada a possibilidade de incrementar navegação planeada ao sistema desenvolvido ao longo deste trabalho.

Em primeiro lugar, foi necessário identificar os sensores que disponibilizam informação útil para realizar navegação no contexto deste trabalho.

A bússola é o sensor primordial para este tipo de atividade pois através desta é possível definir a direção do utilizador. Outro sensor bastante útil neste campo é o pedómetro que permite ao utilizador perceber a quantidade de passos realizados num determinado espaço. A partir deste sensor é possível definir a distância percorrida através da seguinte expressão:

$$Distância_{percorrida} = tamanho_{passada} * número_{passos}$$

Deste modo, através da conjugação de informação disponibilizada pela bússola e pelo pedómetro é possível realizar navegação planeada tanto em espaços exteriores como interiores.

Atualmente existem dispositivos móveis identificados como telefones inteligentes (*SmartPhones*) onde é possível encontrar a combinação dos sensores acima referidos. Este tipo de dispositivos conjuga vários sensores e tecnologias de modo a oferecer aos seus utilizadores comodidade e portabilidade numa única ferramenta.

Perante esta abordagem foi analisada a viabilidade de integrar no sistema a funcionalidade de navegação através de um telefone inteligente que dispusesse dos sensores acima referidos. Para tal foram identificados os protocolos de comunicação disponíveis capazes de transmitir informação útil para o sistema já instanciado.

Entre eles, o protocolo TCP/IP é o mais comum nestes dispositivos pois permite a interoperabilidade entre vários sistemas e dispositivos e a transmissão de informação entre eles.

Para além deste protocolo também é importante referir a interface que revolucionou a utilização deste protocolo, a *wireless*. Esta interface consiste numa conectividade ativa entre dois ou mais sistemas sem necessidade de utilização de condutores físicos.

Depois de compreender a interoperabilidade entre o *Smartphone* e o computador onde já estava a ser desenvolvido o sistema, foi implementada noutra tecnologia/linguagem de programação, *Java*, uma aplicação capaz de captar os dados disponibilizados pelos sensores para de igual modo serem transmitidos ao sistema KAVI já instanciado.

Essa aplicação consiste em utilizar sensores de movimento e posicionamento para extrair informação relativa à direção do utilizador e quantidade de oscilações dos membros inferiores que o mesmo realiza de modo a calcular o número de passos. A cada instante de receção de informação por parte dos sensores a informação é enviada através do protocolo TCP/IP para o sistema principal onde a informação é decodificada e integrada.

Com a adição desta nova funcionalidade passamos a obter um sistema com dois dispositivos de captura de informação: KINECT e *SmartPhone*.

De seguida é apresentada a interface da aplicação desenvolvida em Java que permite transmitir a informação necessária para o sistema KAVI de modo a implementar a nova funcionalidade de navegação referida.





Figura 11 - Aplicação Android "Bussola&Podometro".

Para que esta funcionalidade fosse implementada foi necessário alterar alguns requisitos da aplicação principal.

O utilizador deve facultar ao sistema um conjunto de distâncias e direções de forma sequencial, de forma a informá-lo do local para onde deseja deslocar-se. Por exemplo, vamos supor que o utilizador pretende deslocar-se 100 metros para Norte e 50 metros para Este. Este deverá introduzir essa informação antes de iniciar a sua deslocação para que o sistema o consiga auxiliar desde o ponto de partida até ao ponto de chegada.

No entanto, a navegação implementada no sistema não sobrepõe as regras definidas anteriormente para auxiliar o utilizador na sua deslocação. Desta forma, assegurar a segurança do utilizador será a prioridade máxima do sistema. Posteriormente, caso o utilizador esteja perante uma situação sem risco, ou seja, sem obstáculos na direção que pretende seguir é processada a informação recebida pelo *Smartphone*, até que se detecte informação em contrário (obstáculo em frente).

Depois de receber e interpretar a informação transmitida, o sistema calcula a rota desde a localização atual até ao destino definido previamente. Através da direção e do espaço percorrido torna-se fácil calcular a menor rota que o utilizador tem que percorrer. Assim que o utilizador alcança o ponto de destino ou uma área próxima dele o sistema informa o utilizador que o mesmo chegou ao destino pretendido. De seguida é apresentada uma figura relativa à funcionalidade de navegação planeada.

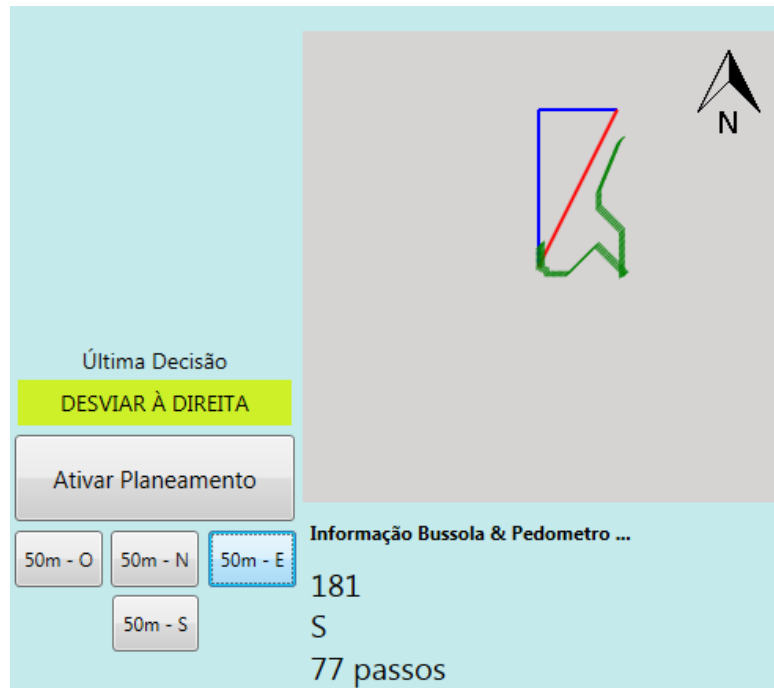


Figura 12 - Navegação Planeada.

Na área cinzenta podemos visualizar várias linhas. A linha azul representa o planeamento definido pelo utilizador; a linha vermelha representa o caminho mais curto entre o ponto inicial e o final; e por fim a linha verde representa o trajeto realizado pelo utilizador.

Para além da implementação das funcionalidades principais também foi desenvolvida a comunicação entre o sistema e o utilizador a nível sonoro em relação ao manuseamento da aplicação. Desta forma o utilizador consegue ter a perceção do contexto da aplicação e da localização do apontador na aplicação KAVI. Para finalizar o desenvolvimento é apresentada de seguida uma figura com o aspeto final da aplicação.

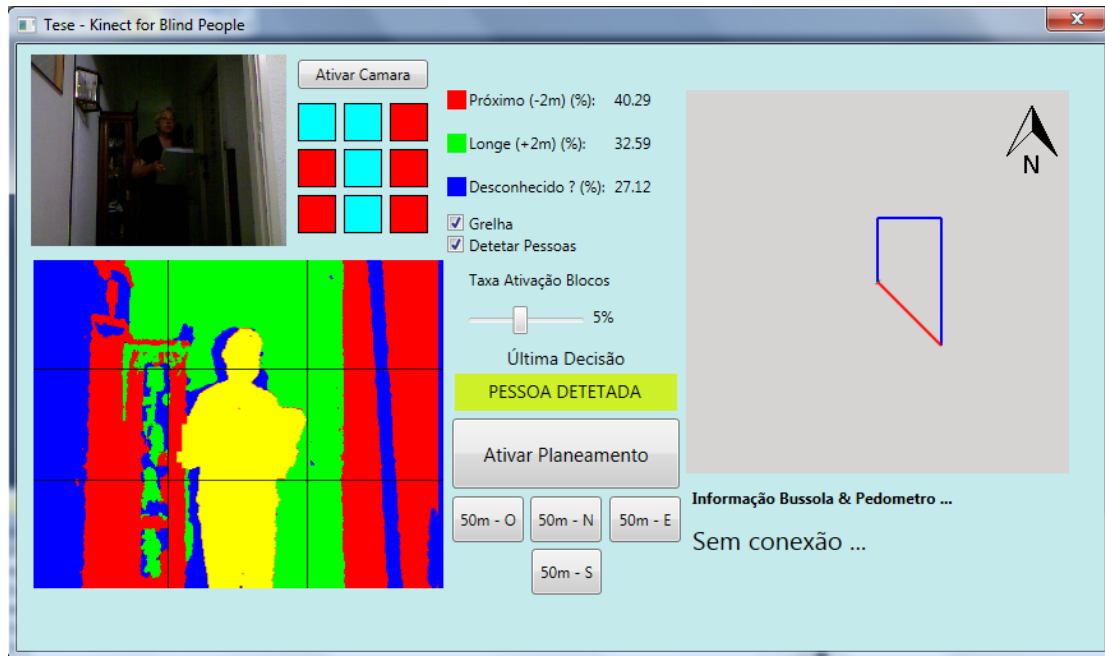


Figura 13 - Versão Final Aplicação KAVI.

## 5.7. Testes e Validação de Resultados

Depois de concluir todo o desenvolvimento prático do sistema foram iniciados os testes de modo a validar a performance do mesmo.

Os primeiros testes, os testes unitários, serviram para aperfeiçoar alguns pontos de validação do sistema e para verificar o correto funcionamento da aplicação bem como a comunicação entre os sensores e o sistema KAVI.

Posteriormente foram realizados testes num ambiente fechado com vários obstáculos de modo a validar se o sistema seria capaz de auxiliar o utilizador, num contexto real, a evitar os obstáculos existentes no ambiente.

Esses testes foram realizados por mim próprio de modo a validar o sistema desenvolvido.

Inicialmente o sistema foi testado apenas para evitar os obstáculos sem qualquer navegação planeada, ou seja, navegação livre. Iniciou-se o sistema num lugar aleatório e partir desse local este indicou as ações que tinha que realizar de modo a evitar os obstáculos. Foram realizados vários testes deste género com posições iniciais aleatórias de modo a garantir que o sistema funciona corretamente a partir de qualquer posição. O sistema foi também capaz de reconhecer pessoas e informar o utilizador da presença das mesmas.

Depois foram realizados testes com a funcionalidade de navegação planeada ativa de modo a validar o comportamento do sistema com a receção de informação por vários sensores

Para estes testes foram realizados vários planeamentos a partir de posições aleatórias de modo ao sistema indicar as direções que o utilizador deveria seguir com o objetivo de alcançar o destino planeado.

Assim, perante os testes realizados foi possível validar o correto funcionamento do sistema pois o mesmo conseguiu detetar os obstáculos nas várias direções e avisar o utilizador da ação que este deveria tomar para os evitar.

Em relação à navegação planeada foi possível verificar que o sistema indica ao utilizador as ações que este deve tomar para alcançar o destino pretendido assegurando que o mesmo não embate com qualquer obstáculo validando desta forma a segurança relativamente à integridade física do utilizador.

Desta forma, foi possível obter resultados positivos relativamente ao sistema desenvolvido.

## 6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Perante o trabalho desenvolvido é possível assumir que os sistemas inteligentes são uma mais-valia para o nosso quotidiano. Atualmente existem inúmeros sistemas capazes de auxiliar e interagir com os utilizadores satisfazendo as suas necessidades. O principal objetivo deste trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema capaz de satisfazer as necessidades de pessoas com incapacidades visuais.

### 6.1. Trabalho relevante

O trabalho desenvolvido e documentado nesta dissertação está integrado no projeto CAMCoF – Context-aware Multimodal Communication Framework que está a ser desenvolvido no laboratório de Sistemas Inteligentes (ISLab) na Universidade do Minho.

Parte do trabalho apresentado nesta dissertação foi documentado na seguinte publicação apresentada na 10<sup>a</sup> Conferência Internacional DCAI – International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence.

- J. Fernandes, J. Laranjeira, P. Novais, G. Marreiros, and J. Neves, “A Context Aware Architecture to Support People with Partial Visual Impairments,” in *Distributed Computing and Artificial Intelligence*, Springer, 2013, pp. 333–340.

Este serviu de base para a pesquisa bibliográfica necessária para a realização do sistema desenvolvido, focando o modelo e a arquitetura utilizados em conjunto com a computação especulativa.

## **6.2. Síntese do trabalho realizado**

O desenvolvimento deste trabalho foi bastante produtivo no sentido em que permitiu a aquisição e aplicação de novos conhecimentos na área de computação especulativa e de utilização de equipamentos/sensores (câmara, bússola e pedómetro).

Assim, todos os conhecimentos e conceitos obtidos nestas áreas foram essenciais para integrar e centralizar todas as tecnologias envolvidas no desenvolvimento do sistema. Deste modo foi possível fazer convergir toda a informação obtida através dos sensores utilizados numa só aplicação capaz de a interpretar e desenvolver respostas no sentido de auxiliar o utilizador com incapacidades visuais nas suas deslocações.

As principais conclusões deste trabalho incidem essencialmente sobre o sistema desenvolvido pois foi possível por em prática toda a informação adquirida através da pesquisa bibliográfica bem como o conhecimento adquirido até ao momento.

## **6.3. Trabalho Futuro**

Numa visão pessoal, em relação ao trabalho futuro, este trabalho pode ser continuado nos seguintes pontos:

- Minimizar o tamanho dos sensores de modo a permitir uma maior portabilidade do sistema;
- Conseguir identificar o tipo de obstáculos que o utilizador enfrenta;
- Aumentar a interoperabilidade entre o utilizador e o sistema;
- O sistema ser capaz de receber comandos por parte do utilizador para realizar determinadas tarefas.

Por fim, pode-se concluir que este trabalho foi bastante produtivo tanto a nível prático como teórico e ao mesmo tempo muito entusiasmante pelo fato de se desenvolver algo capaz de melhorar a qualidade de vida dos utilizadores com incapacidade visual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. P. SERRA, “Manual de teoria da comunicaçã{o},” *Portugal: Universidade da Beira Interior*, 2007.
- [2] G. Riva, F. Vatalaro, F. Davide, and M. Alcañiz, “Ambient intelligence.” IOS Press, 2005.
- [3] M. Weiser, R. Gold, and J. S. Brown, “The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s,” *IBM systems journal*, vol. 38, no. 4, pp. 693–696, 1999.
- [4] K. Ducatel, M. Bogdanowicz, F. Scapolo, J. Leijten, and J. C. Burgelman, “Scenarios for ambient intelligence 2010, ISTAG report, European Commission,” *Institute for Prospective Technological Studies, Seville, available from: ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/istagscenarios2010.pdf*, 2001.
- [5] D. Preuveneers and P. Novais, “A survey of software engineering best practices for the development of smart applications in Ambient Intelligence,” *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. Volume 4, no. Number 3, pp. 149–162, 2012.
- [6] Z. Bittencourt and E. Hoehne, “Qualidade de vida de deficientes visuais,” vol. 39, no. 2, pp. 260–264, 2006.
- [7] B. De Ruyter and E. Aarts, “Ambient intelligence: visualizing the future,” *Proceedings of the working conference on ...*, pp. 203–208, 2004.
- [8] W. Carr, “Philosophy , Methodology and Action,” vol. 40, no. 4, 2006.
- [9] I. A. Group., “Scenarios for ambient intelligence,” 2010.
- [10] D. Cook, J. Augusto, and V. Jakkula, “Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities,” *Pervasive and Mobile Computing*, pp. 1–38, 2009.
- [11] E. Aarts and J. Encarnação, Eds., “True Visions,” 2006.
- [12] P. Krill, “IBM research envisions pervasive computing,” *InfoWorld*, 2000.
- [13] E. Maeda and Y. Minami, “Steps toward ambient intelligence,” *NIT Technical Review*, 2006.
- [14] R. F. Wolfenbuttel, “Compliant capacitive wrist sensor for use in industrial robots,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements*, vol. 39, no. 6, pp. 991 – 997, 1990.

- [15] G. Delapierre, H. Grange, B. Chambaz, and L. Destannes, "No Polymer-based capacitive humidity sensor: characteristics and experimental results," *Sensors and Actuators*, vol. 4, pp. 97–104, 1983.
- [16] B. Najafi, S. Inst. for Biomed. Eng., Swiss Fed. Inst. of Technol.-Lausanne, Lausanne, K. Aminian, and P. Paraschiv-Ionescu, A.; Loew, F.; Bula, C.J.; Robert, "Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: monitoring of daily physical activity in the elderly," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 50, no. 6, pp. 711–723.
- [17] V. Stanford, "Biosignals offer potential for direct interfaces and health monitoring," *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 3, no. 1, pp. 99–103, 2004.
- [18] W. Integrated and N. Sensors, "INTEGRATED NETWORK," vol. 43, no. 5, pp. 51–58, 2000.
- [19] S. Madden and M. J. Franklin, "Fjording the stream: an architecture for queries over streaming sensor data," *Browse Conference Publications > Data Engineering, 2002. Proce ... Help Fjording the stream: an architecture for queries over streaming sensor data This content is outside your institutional subscription Learn more about subscription options Already purch*, pp. 555–566, 2002.
- [20] I. F. Akyildiz, G. Georgia Inst. of Technol., Atlanta, and E. Weilian Su; Sankarasubramaniam, Y.; Cayirci, "A survey on sensor networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, 2002.
- [21] G. M. Youngblood, "Automating inhabitant interactions in home and workplace environments through data-driven generation of hierarchical partially-observable markov decision processes," University of Texas at Arlington, Arlington, TX, USA, 2005.
- [22] D. Cook, M. Youngblood, and S. Das, "A multi-agent approach to controlling a smart environment," *Designing smart homes*, pp. 165–182, 2006.
- [23] V. Lesser, M. Atighetchi, B. Benyo, B. Horling, A. Raja, R. Vincent, T. Wagner, P. Xuan, and S. X. Q. Zhang, "The intelligent home testbed," *environment*, vol. 2, p. 15, 1999.
- [24] S. K. Das, D. J. Cook, A. Battacharya, E. O. Heierman III, and T. Y. Lin, "The role of prediction algorithms in the MavHome smart home architecture," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 9, no. 6, pp. 77–84, 2002.
- [25] S. Helal, B. Winkler, C. Lee, Y. Kaddoura, L. Ran, C. Giraldo, S. Kuchibhotla, and W. Mann, "Enabling location-aware pervasive computing applications for the elderly," in *Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on*, 2003, pp. 531–536.
- [26] D. Cook and S. Das, *Smart environments: Technology, protocols and applications*, vol. 43. Wiley-Interscience, 2004.



- 
- [27] H. Hagaras, V. Callaghan, M. Colley, G. Clarke, A. Pounds-Cornish, and H. Duman, "Creating an ambient-intelligence environment using embedded agents," *Intelligent Systems, IEEE*, vol. 19, no. 6, pp. 12–20, 2004.
- [28] F. Amigoni, N. Gatti, C. Pinciroli, and M. Roveri, "What planner for ambient intelligence applications?," *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, vol. 35, no. 1, pp. 7–21, 2005.
- [29] A. Galton, *Qualitative spatial change*. Oxford University Press Oxford,, UK, 2000.
- [30] J. Liu, J. C. Augusto, H. Wang, and J. B. Yang, "Considerations on uncertain spatio-temporal reasoning in smart home systems," in *Proceedings of the 7th International Conference on Applied Artificial Intelligence*, 2006.
- [31] J. Pineau, M. Montemerlo, M. Pollack, N. Roy, and S. Thrun, "Towards robotic assistants in nursing homes: Challenges and results," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 42, no. 3, pp. 271–281, 2003.
- [32] G. M. Youngblood and D. J. Cook, "Data mining for hierarchical model creation," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, vol. 37, no. 4, pp. 561–572, 2007.
- [33] S. Helal, W. Mann, H. El-Zabadani, J. King, Y. Kaddoura, and E. Jansen, "The gator tech smart house: A programmable pervasive space," *Computer*, vol. 38, no. 3, pp. 50–60, 2005.
- [34] M. H. Ali, W. G. Aref, R. Bose, A. K. Elmagarmid, A. Helal, I. Kamel, and M. F. Mokbel, "NILE-PDT: A phenomenon detection and tracking framework for data stream management systems," in *Proceedings of the 31st international conference on Very large data bases*, 2005, pp. 1295–1298.
- [35] F. Doctor, H. Hagaras, and V. Callaghan, "A fuzzy embedded agent-based approach for realizing ambient intelligence in intelligent inhabited environments," *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, vol. 35, no. 1, pp. 55–65, 2005.
- [36] B. de Ruyter, "Social interactions in Ambient Intelligent environments," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 3, no. 2, pp. 175–177, 2011.
- [37] E. Horvitz, P. Koch, and J. Apacible, "BusyBody: creating and fielding personalized models of the cost of interruption," in *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work*, 2004, pp. 507–510.
- [38] S. Lanspery and J. Hyde, *Staying put: Adapting the places instead of the people*. Baywood Publishing Company, 1997.

- [39] L. E. Hebert, P. A. Scherr, J. L. Bienias, D. A. Bennett, and D. A. Evans, "Alzheimer disease in the US population: prevalence estimates using the 2000 census," *Archives of neurology*, vol. 60, no. 8, p. 1119, 2003.
- [40] E. Commission and others, "Ageing well in the information society-an i2010 initiative-action plan on information and communication technologies and ageing," 2007.
- [41] M. E. Pollack, "Intelligent technology for an aging population: The use of AI to assist elders with cognitive impairment," *AI magazine*, vol. 26, no. 2, p. 9, 2005.
- [42] J. Carter and M. Rosen, "Unobtrusive sensing of activities of daily living: A preliminary report," in *[Engineering in Medicine and Biology, 1999. 21st Annual Conf. and the 1999 Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Soc.] BMES/EMBS Conference, 1999. Proceedings of the First Joint*, 1999, vol. 2, p. 678–vol.
- [43] H. B. Jimison, M. Pavel, and J. Pavel, "Adaptive interfaces for home health," in *Proceedings of the International Workshop on Ubiquitous Computing for Pervasive Healthcare*, 2003.
- [44] S. Ciroux and H. Pigot, "Ubiquitous Computing to Support Older Adults and Informal Caregivers," in *From Smart Homes to Smart Care: ICOST 2005, 3rd International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, 2005, vol. 15, p. 11.
- [45] S. Marzano, "People as a source of breakthrough innovation," *Design Management Review*, vol. 16, no. 2, pp. 23–29, 2005.
- [46] S. Mitchell, M. D. Spiteri, J. Bates, and G. Coulouris, "Context-aware multimedia computing in the intelligent hospital," in *Proceedings of the 9th workshop on ACM SIGOPS European workshop: beyond the PC: new challenges for the operating system*, 2000, pp. 13–18.
- [47] A. Rakotonirainy and R. Tay, "In-vehicle ambient intelligent transport systems (i-vaits): Towards an integrated research," in *Intelligent Transportation Systems, 2004. Proceedings. The 7th International IEEE Conference on*, 2004, pp. 648–651.
- [48] A. Pentland, "Perceptual environments," *Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications*, pp. 345–359, 2005.
- [49] G. D. Abowd, "Classroom 2000: An experiment with the instrumentation of a living educational environment," *IBM Systems Journal*, vol. 38, no. 4, pp. 508–530, 1999.
- [50] D. Franklin, "Cooperating with people: The intelligent classroom," in *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*, 1998, pp. 555–560.
- [51] S. S. Yau, S. K. S. Gupta, F. Karim, S. I. Ahamed, Y. Wang, and B. Wang, "Smart classroom: Enhancing collaborative learning using pervasive computing technology," *// American Society of Engineering Education (ASEE)*, 2003.

- [52] E. Lank, A. Ichnowski, and S. Khatri, "Zero knowledge access to a smart classroom environment," in *Proceedings of the Workshop on Ubiquitous Display Environments*, 2004.
- [53] A. F. Bobick, S. S. Intille, J. W. Davis, F. Baird, C. S. Pinhanez, L. W. Campbell, Y. A. Ivanov, A. Schütte, and A. Wilson, "The KidsRoom: A perceptually-based interactive and immersive story environment," *Presence*, vol. 8, no. 4, pp. 369–393, 1999.
- [54] G. Boudol and G. Petri, "A theory of speculative computation," *Programming Languages and Systems*, pp. 165–184, 2010.
- [55] H. P. Lam, G. Governatori, K. Satoh, and H. Hosobe, "Distributed Defeasible Speculative Reasoning in Ambient Environment," *Computational Logic in Multi-Agent Systems*, pp. 43–60, 2012.
- [56] F. W. Burton, "Speculative computation, parallelism, and functional programming," *Computers, IEEE Transactions on*, vol. 100, no. 12, pp. 1190–1193, 1985.
- [57] K. Satoh, K. Inoue, K. Iwanuma, and C. Sakama, "Speculative computation by abduction under incomplete communication environments," in *MultiAgent Systems, 2000. Proceedings. Fourth International Conference on*, 2000, pp. 263–270.
- [58] K. Satoh, "Speculative Computation and Abduction for an Autonomous Agent," *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E88-D, no. 9, pp. 2031–2038, Sep. 2005.
- [59] K. Satoh, "Kiga-kiku computing and speculative computation," *awareness-mag.eu*, 2012.
- [60] J. Fernandes, J. Laranjeira, P. Novais, G. Marreiros, and J. Neves, "A Context Aware Architecture to Support People with Partial Visual Impairments," in *Distributed Computing and Artificial Intelligence*, Springer, 2013, pp. 333–340.
- [61] "WHO - Visual impairment and blindness," *Fact Sheet N°282*. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>.
- [62] L. Bastos and R. Gaio, "Técnicas de orientação e mobilidade para pessoas cegas: reflexões na perspectiva da educação física," *Movimento e Percepção*, pp. 120–147, 2010.