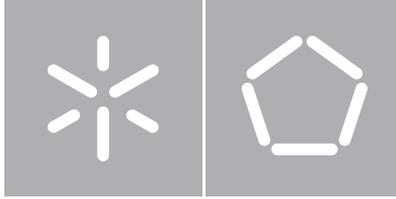


Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Cátia Alexandra da Silva Braga

Deteção, identificação e caracterização de movimento em espaços interiores



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Cátia Alexandra da Silva Braga

**Deteção, identificação e caracterização de
movimento em espaços interiores**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Informática

Trabalho realizado sob orientação de

Professor Cesar Analide

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que me ajudaram na concretização deste trabalho:

Ao professor e orientador Cesar Analide, pela disponibilidade que mostrou durante todo o decorrer do trabalho e pelas sugestões e conselhos no sentido de melhorar o projeto.

Aos membros do ISLab, Fábio Silva e Ângelo Costa, pelas indicações e explicações relacionadas com detalhes técnicos do equipamento utilizado.

Aos amigos mais próximos, que contribuíram para os momentos de distração e faço um agradecimento especial à Dalila, pelas inúmeras conversas que tivemos nos últimos tempos.

À minha família, que sempre manifestou interesse pelo meu trabalho e pelo que consegui atingir até agora.

À minha Mãe e ao meu Pai, pelo apoio e por terem tornado possível que eu progredisse os meus estudos e concluir esta fase académica.

À minha irmã Carolina a quem já incuti o vício pelos computadores e pela informática, pela paciência e compreensão pelo facto de eu nem sempre ter podido jogar quando ela queria.

Ao meu namorado Nuno, pelo carinho, apoio, ajuda técnica no desenvolvimento deste trabalho e principalmente muita paciência nos momentos mais difíceis.

Resumo

A evolução da sociedade aponta para um envelhecimento e isolamento da população. O número de idosos aumenta a cada ano que passa e um número crescente de pessoas prefere viver sozinhas. Estes grupos sociais correm o risco de sofrerem algum acidente que os deixe incapacitados ou inconscientes, não existindo outras pessoas dentro do espaço onde se inserem que as possam socorrer. Esta dissertação aborda este tópico, apresentando um protótipo de um sistema de monitorização, capaz de detetar e identificar períodos de movimento do utilizador. O objetivo é alertar para potenciais situações de perigo, geradas quando o utilizador está parado há bastante tempo e facilitar a intervenção nestes casos, já que nestas situações pode ser impossível o utilizador pedir auxílio devido a inconsciência ou incapacidade. O controlo é feito meramente pela identificação de algum movimento do utilizador, sem recorrer à análise de sinais vitais. O sistema é composto por duas aplicações, sendo uma local, dentro do espaço onde se fará a monitorização e a outra, associada a entidades de emergência, para identificar períodos sem movimento.

Palavras chave: Monitorização, Sensorização, Sistemas Inteligentes

Abstract

The evolution of society points towards the ageing and isolation of the population. The number of elderly people is increasing with each passing year and an increasing number of people choose to live on their own. These social groups are at risk of any kind of accident that would leave them incapacitated or unconscious, as there are no other people who can come to their aid. This dissertation addresses this issue, presenting a prototype of a monitoring system, which can detect and identify periods of time when the user is moving. The main objective is to warn about potential dangerous situations, triggered when the user hasn't been moving for some time and to provide an easier intervention. In these cases, it may be impossible for the user to call for help due to disablement or unconsciousness. The process of monitoring is made by simply identifying any type of motion from the user, without the need to analyze vital signs. The system has two applications: a local one, which would be placed where the monitoring would occur, and the other one would be associated with emergency entities, in order to identify periods without any type of movement.

Keywords: Monitoring, Sensing, Intelligent Systems

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice.....	v
Índice de figuras	viii
Índice de tabelas.....	x
Abreviaturas	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Calendarização.....	4
1.4. Metodologias de Investigação	5
1.5. Estrutura do Documento.....	6
2. Conceitos técnicos	7
2.1. Redes de sensores sem fios	7
2.1.1. Desafios no planeamento de uma rede de sensores sem fios	8
2.1.2. Topologias de comunicação em redes de sensores sem fios.....	10
2.1.3. Redes de sensores sem fios aplicadas à telemedicina	14
2.2. Tecnologias Wireless	15
2.2.1. Bluetooth.....	16
2.2.2. Wi-Fi.....	17
2.2.3. ZigBee.....	18
2.2.4. UWB.....	18
2.3. Inteligência Ambiente	19

3. Estado da arte	21
3.1. TrueKare	21
3.2. CAALYX.....	22
3.3. ALARM-NET.....	23
3.4. ActionView	25
3.5. Sistema de deteção de movimento	26
3.6. Outros projetos.....	27
4. Tecnologias utilizadas	29
4.1. Java	29
4.2. JADE.....	30
4.3. Joda-Time	30
4.4. C#	31
4.5. ZedGraph.....	32
4.6. MySQL.....	32
4.7. Hibernate.....	33
4.8. Sensores.....	33
4.9. Síntese.....	34
5. Desenvolvimento do protótipo	35
5.1. Modelo de dados.....	35
5.2. Arquitetura do sistema	37
5.3. Colocação dos sensores	38
5.4. Aplicação local do utilizador.....	38
5.5. Estação de controlo.....	42
5.5.1. Rotinas.....	42
5.5.2. Regras gerais.....	43
5.5.3. Agente de monitorização.....	43

5.6.	Interfaces.....	44
5.7.	Dificuldades apresentadas.....	46
5.7.1.	Local onde se realizaram os testes.....	47
5.7.2.	Interferência de ZigBee	48
5.8.	Síntese.....	50
6.	Análise de resultados	52
6.1.	Experiência 1	53
6.2.	Experiência 2	54
6.3.	Síntese.....	56
7.	Conclusão	57
7.1.	Síntese do trabalho realizado.....	57
7.2.	Discussão do trabalho futuro	58
	Referências.....	60
	Anexo A.....	65
	Anexo B.....	66

Índice de figuras

Figura 1 - Estrutura de uma rede de sensores sem fios, adaptado de (Dargie & Poellabauer, 2010).....	8
Figura 2 - Topologia em estrela, adaptado de (Townsend & Arms, 2005).....	11
Figura 3 - Topologia em mesh, adaptado de (Townsend & Arms, 2005).....	12
Figura 4 - Topologia híbrida, adaptado de (Townsend & Arms, 2005).....	13
Figura 5 - Topologia ponto a ponto.....	13
Figura 6 - Topologia em árvore.....	14
Figura 7 - Sistema TrueKare, adaptado de (True-Kare™ (2), 2014).....	21
Figura 8 - Arquitetura do sistema CAALYX, adaptado de (Boulos, et al., 2007).....	23
Figura 9 - Exemplo de deploy do sistema ALARM-NET, adaptado de (Wood, et al., 2006).....	24
Figura 10 - Arquitetura do sistema Action View, adaptado de (Lin, Hsieh, Chen, & Chang, 2009)	25
Figura 11 - Diagrama lógico do sistema, adaptado de (Sfichi, Graur, Popa, Finis, & Petrariu, 2012).....	26
Figura 12 - Sistema Aura da Withings, adaptado de (Withings (2), 2014).....	28
Figura 13 - Modelo de dados do sistema de monitorização.....	36
Figura 14 - Arquitetura do sistema de monitorização.....	37
Figura 15 - Aplicação local dos utilizadores.....	45
Figura 16 - Estação de controlo.....	46
Figura 17 - Espaço onde decorreram os testes do sistema.....	47
Figura 18 - Alocação dos canais de Wi-Fi e ZigBee, adaptado de (Smith, 2011).....	49
Figura 19 - Análise das redes Wi-Fi presentes no local onde se realizaram os testes do sistema, utilizando Wifi Analyzer.....	50
Figura 20 - Colocação de alguns sensores no espaço monitorizado.....	52
Figura 21 - Representação gráfica de uma posição aproximada da posição real a medir.....	54
Figura 22 - Representação gráfica que traduz a experiência 2.....	55
Figura 23 - Mockup 1 da estação local dos utilizadores.....	66
Figura 24 - Mockup 2 da aplicação local dos utilizadores.....	67
Figura 25 - Mockup 3 da aplicação local dos utilizadores.....	68

Figura 26 - Mockup 1 da estação de controlo	69
Figura 27 - Mockup 2 da aplicação de controlo	70

Índice de tabelas

Tabela 1 - Calendarização.....	4
Tabela 2 - Dados recolhidos em 5 medições sem qualquer filtro aplicado	39
Tabela 3 - Dados obtidos a partir da experiência 1	53
Tabela 4 - Dados obtidos a partir da experiência 2	55

Abreviaturas

- API** Application Programming Interface
- BD** Base de dados
- ISLab** Intelligent System Lab
- JADE** Java Agent Development Framework
- JDBC** Java Database Connectivity
- POJO** Plain Old Java Object
- RSSF** Rede(s) de sensores sem fios
- SQL** Structured Query Language
- XML** Extensible Markup Language

1. Introdução

A tendência nos futuros anos para a evolução da sociedade assenta no isolamento social, que pode consistir em pessoas a viverem sós, quer sejam jovens adultos quer sejam idosos (Instituto Nacional de Estatística (4), 2014). Viver só não é sinónimo de solidão, pode ser uma escolha.

No entanto, quando a vida nos dá cada vez mais provas da fragilidade do ser humano, viver só pode não ser opção. Escorregar na casa-de-banho, um acidente vascular cerebral silencioso ou até outros acidentes mais triviais podem significar situações perigosas como a perda de consciência ou outros casos mais graves. Em certas situações, uma ajuda rápida pode ajudar ou salvar a vítima, mas muitas vezes, o acidente não é notável e passa despercebido a quem vive mais próximo.

A comunicação social bombardeia-nos com notícias de pessoas, principalmente idosos, encontrados sem vida nas próprias casas mas em pleno século XXI, esta situação é inadmissível. Em 2012, os ministérios da Segurança Social e da Administração Interna elaboraram um protocolo com instituições de solidariedade social para acompanhamento de idosos em risco, no entanto persistem estas circunstâncias sociais (Lusa, 2012).

Assim sendo e numa tentativa de contrariar estes casos, é vantajoso o desenvolvimento de uma aplicação inteligente, que detete o movimento de uma ou várias pessoas em espaços interiores. Seria uma abordagem diferente das já existentes, que se focam no controlo de aspetos vitais, como o batimento cardíaco, pressão sanguínea entre outros.

1.1. Motivação

A caracterização e identificação de movimento poderia ser útil para vários grupos de utilizadores, nomeadamente idosos, pessoas a viverem sozinhas, doentes com dificuldades de mobilidade ou famílias com crianças.

Durante os últimos anos, foi possível observar a tendência do envelhecimento da população portuguesa (Instituto Nacional de Estatística (4), 2014). Segundo os Censos 2011, o número de idosos é de 2 milhões (Instituto Nacional de Estatística (2), 2013), enquanto o total da população residente é 10,5 milhões (Instituto Nacional de Estatística (1), 2013) (Instituto Nacional de Estatística (2), 2013). Este fenómeno deve-se ao decréscimo da taxa de natalidade (mais evidente em tempos de crise), à redução da taxa de mortalidade e ao aumento da esperança de vida. Aliado a esta tendência, mais de metade da população idosa vive sozinha ou na companhia de outros do mesmo grupo etário (Instituto Nacional de Estatística (2), 2013). A desertificação e a transformação do papel da família nas sociedades modernas contribuíram para explicar estes números.

Os Censos 2011 (Instituto Nacional de Estatística (3), 2012) registam que mais de 850 000 portugueses constituem famílias unipessoais. Tanto neste grupo populacional como no grupo dos idosos, existem riscos por viverem sós. Referindo pessoas idosas, quase três mil foram encontrados sem vida em casa ao longo de 2011 e existe uma forte inclinação para estes números aumentarem (Paiva, 2012).

Ainda de acordo com os Censos 2011 (Instituto Nacional de Estatística (1), 2013), existem 1,5 milhões menores, com idade inferior a 15 anos. Neste caso, a identificação do movimento seria útil nas situações em que as crianças poderão ficar sozinhas em casa durante algum tempo.

Existem algumas tecnologias que integram sensores físicos ou outros dispositivos (como pulseiras ou balanças) com aplicações para *smartphone* ou para computador. Estes aparelhos recolhem informação corporal e/ou ambiental e esta é comunicada para a aplicação móvel. É o caso da Fitbit (Fitbit Inc. (2), 2014) e da Withings (Withings (1), 2014). Em particular, a Withings desenvolveu um dispositivo (Withings (2), 2014) que, colocado debaixo do colchão, permite identificar estágios do sono em paralelo com outro dispositivo que controla as condições do ambiente (nível de ruído, luz e temperatura ambiente). Os dados podem ser acedidos através de uma aplicação móvel.

Apesar de já estarem no mercado algumas soluções de monitorização, como o CAALYX (Boulos, et al., 2007) do INESC Porto ou o TrueKare (True-Kare™ (1), 2014) da PT, discutidos

com mais detalhe no capítulo 3, estes focam-se no controlo de aspetos fisiológicos e sinais vitais, como a pressão arterial e ritmo cardíaco e têm grande foco nos idosos. A abordagem proposta é menos invasiva para o utente, focando-se no controlo do movimento pelo espaço definido. Caso não tenha sido detetado movimento durante um certo período de tempo ou existam outras anomalias, a identidade de controlo seria imediatamente avisada e tomaria medidas adequadas de socorro.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste projeto é o desenvolvimento de um sistema de monitorização, composto por duas aplicações:

- Uma estação de controlo para entidades de emergência, como hospitais;
- Uma aplicação local para os utilizadores.

A estação de controlo permite efetuar a monitorização contínua e remota da posição de um utente num espaço definido, alertando, caso necessite, em situações de perigo. Considera-se uma situação de perigo a falta de movimento durante um certo período de tempo. Seguindo uma abordagem que não recolhe informação sobre os aspetos vitais do utente, o foco do trabalho será o controlo da sua posição (ou a ausência de movimento). As posições dos utilizadores serão apresentadas em formato de coordenadas X, Y e Z e serão analisadas pela estação de controlo. Os valores das coordenadas são provenientes de uma aplicação local, situada no espaço onde o utente se encontra, que efetuará o controlo dos sensores localmente.

A monitorização será bastante importante para alerta de situações de perigo, como por exemplo a falta de movimento durante um longo período de tempo por parte dos utilizadores. Para além da deteção e monitorização, seria possível caracterizar o movimento no espaço, verificando a dependência do contexto, que varia de situação para situação.

A aplicação local tem como principal função o controlo dos sensores e a recolha de informação dada por estes. Esta aplicação será personalizável, permitindo que os utilizadores adicionem informações sobre eles próprios, bem como os espaços a monitorizar.

Paralelamente ao objetivo principal, incluem-se outros objetivos como a monitorização de várias pessoas dentro do mesmo espaço, assim como a criação de uma representação gráfica desses espaços, visualizando graficamente a posição do utente.

1.3. Calendarização

Tal como foi definido no início do projeto, o desenvolvimento deste decorreu em 4 fases distintas, como se pode verificar na tabela 1. Foi necessário definir os pontos a elaborar e o tempo necessário para cada tarefa, de modo a que o prazo final fosse cumprido.

2013			2014								
Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Levantamento do estado de arte											
		Planeamento de uma solução de monitorização									
					Desenvolvimento do protótipo						
				Escrita da dissertação							

Tabela 1 - Calendarização

A primeira fase corresponde à análise de bibliografia e levantamento do estado de arte. Este é um processo iterativo e é necessária constante leitura, recolha de informação e consequente atualização, caso surja algum tópico importante e relevante ao tema que ainda não foi estudado.

Depois na segunda fase, foi feito o planeamento e primeira conceção de uma solução de monitorização, tendo em conta os projetos já desenvolvidos. Esta fase foi útil para definir funcionalidades e tomar decisões quanto às tecnologias mais apropriadas a utilizar. Esta tarefa alargou-se até abril, visto terem surgido alguns desafios relativamente às tecnologias a utilizar.

O desenvolvimento do protótipo foi feito na terceira fase, sendo implementado o sistema de monitorização da aplicação local e da estação de controlo, com as funcionalidades definidas na fase anterior.

Por último e em paralelo com o desenvolvimento do protótipo, está a escrita do documento final, que corresponde a esta dissertação, relatando a literatura, decisões referentes à implementação do protótipo e resultados finais.

Este plano não foi totalmente cumprido, já que o desenvolvimento do protótipo e a escrita da tese tiveram a sua conclusão em outubro. As razões deste atraso devem-se aos erros obtidos pelos sensores, tardiamente identificados, e conseqüente resolução, sendo que esta informação será abordada com mais detalhe no capítulo 5.

1.4. Metodologias de Investigação

Esta dissertação foi elaborada seguindo uma metodologia de ação-pesquisa (Somekh, 2006), sendo esta uma metodologia iterativa, flexível em ciclo, em oposição à rigidez de uma metodologia linear por passos. Depois de identificado e definido o problema, o ciclo começa pela seleção de informação sobre o tópico de investigação e elaboração de uma análise e interpretação sobre esses dados, o que constitui a fase de diagnóstico. Depois avança-se para o planeamento de uma solução e pela implementação ou ação. No final, é feita uma avaliação, o que permite gerar conclusões sobre o problema e a solução apresentada. Neste ponto, é retomado o início do ciclo.

Esta metodologia também suporta a colaboração de intervenientes e investigadores, este ponto corresponde às discussões com o supervisor, ou neste caso o orientador, sobre a informação recolhida.

1.5. Estrutura do Documento

Este documento está dividido em 7 capítulos, sendo que o primeiro aborda a motivação por detrás do desenvolvimento do sistema proposto, bem como os objetivos a atingir.

O segundo capítulo oferece uma visão mais técnica de alguns conceitos investigados, para o melhor desenvolvimento do projeto.

O terceiro capítulo expõe os projetos que suscitaram interesse e que estão relacionados com o tema da monitorização. É descrita a arquitetura e os princípios de cada projeto e são analisados também os seus pontos fortes.

No quarto capítulo, são apresentadas as tecnologias utilizadas no desenvolvimento do sistema de monitorização e são explicadas as razões de escolha de cada tecnologia.

O quinto capítulo fornece detalhes sobre o sistema, desde a sua arquitetura até às interfaces concebidas, referindo também o funcionamento e toda a lógica do sistema. São também apresentadas as dificuldades que surgiram no processo de desenvolvimento.

No sexto capítulo, são descritas as experiências realizadas que constituem a análise de resultados.

O sétimo e último capítulo sintetiza o trabalho desenvolvido e resultados obtidos e são feitas reflexões e considerações sobre o trabalho futuro.

O documento termina com a compilação das referências bibliográficas, bem como os anexos relativos ao trabalho desenvolvido.

2. Conceitos técnicos

Esta secção procura enquadrar tecnicamente o sistema de monitorização proposto, nos temas das redes sem sensores sem fios, suas características e aplicações e ainda nas tecnologias *wireless*.

2.1. Redes de sensores sem fios

Os sensores são a ponte entre o mundo digital e físico, capturando informação para mais tarde ser processada, armazenada e estudada. Um sensor é um dispositivo que transforma parâmetros ou eventos do mundo físico em sinais ou dados que podem ser medidos e analisados. Paralelamente a estes dispositivos, podem existir atuadores, que controlam o ambiente diretamente, conforme a informação obtida pelos sensores (Dargie & Poellabauer, 2010).

Estes aparelhos são geralmente categorizados consoante os dados que estão a monitorizar, mas também podem ser classificados pela necessidade de fonte de alimentação externa e pelos fenómenos elétricos que utilizam para converter propriedades físicas em sinais elétricos (Dargie & Poellabauer, 2010).

Os sensores são usados nas mais variadas áreas, desde a medicina até à monitorização subterrânea de minas. Na área da saúde, a utilização dos sensores prende-se com o controlo de características fisiológicas dos pacientes, como os níveis de oxigénio, pressão sanguínea, termómetros e sensores de controlo da respiração (Dargie & Poellabauer, 2010).

Muitos sensores estão ligados aos seus controladores e estações de processamento diretamente, no entanto a sensorização e monitorização remotas são cada vez mais evidentes, sendo que várias aplicações necessitam de centenas ou até milhares de sensores em áreas remotas ou inacessíveis. Os sensores utilizados nestes casos tem capacidades de processamento, comunicação e armazenamento, para além da recolha de informação. Um conjunto de sensores, que remota e cooperativamente realiza a monitorização de um ambiente,

constitui uma rede de sensores sem fios. Nesta rede, os sensores comunicam entre si e com a estação base, que se encarrega de enviar os dados recolhidos para posterior processamento e análise (Dargie & Poellabauer, 2010).

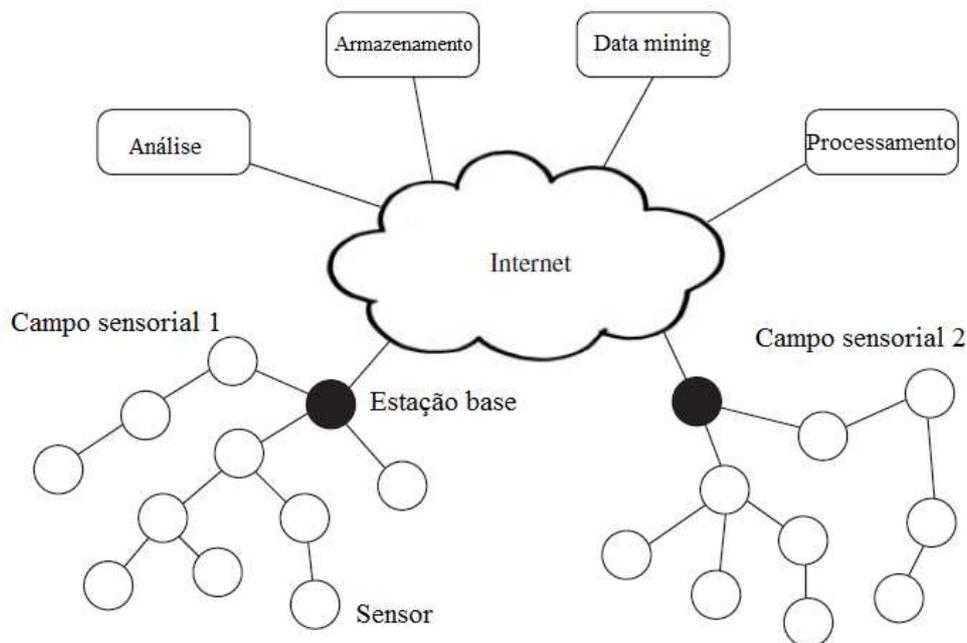


Figura 1 - Estrutura de uma rede de sensores sem fios, adaptado de (Dargie & Poellabauer, 2010)

Uma rede de sensores sem fios tem alguns componentes essenciais, sendo estes um conjunto de sensores sem fios, ligados à estação base; uma rede de comunicação, com protocolos de rede; um ponto central de *clustering* de informação e um conjunto de recursos computacionais com a função de processar e analisar os dados obtidos, podendo fazer *data mining* (Sohraby, Minoli, & Znati, 2007). A estrutura de uma RSSF é representada na figura 1.

2.1.1. Desafios no planeamento de uma rede de sensores sem fios

As redes de sensores sem fios (RSSF) estão sujeitas a vários desafios, que podem influenciar a sua qualidade. Ao planejar uma RSSF, é necessário ter em conta os seguintes aspetos (Dargie & Poellabauer, 2010):

- Energia - os sensores têm baterias incorporadas que devem ser recarregadas ou substituídas caso seja necessário. Em algumas situações, estas opções não são válidas e os sensores são descartados depois de atingirem o fim da bateria. Os protocolos de rede, e principalmente o reenvio de informação quando existem colisões, levam a um desgaste mais rápido de bateria, assim como alguma computação que é efetuada nos sensores. Logo, é necessário encontrar um compromisso entre a comunicação e a computação.
- Autogestão - os sensores devem ser capazes de se reconfigurarem, recolherem informação, colaborar com outros sensores e adaptarem a mudanças no ambiente ou falhas sem intervenção humana.
- Rede *wireless* - obstáculos entre o percurso e distâncias muito longas do nodo e a estação base levam a uma intensificação da força do sinal de transmissão, o que provoca um desgaste mais rápido da bateria. Assim é mais eficiente reformular a rede e dividir uma distância maior em várias mais curtas, o que conduz à implementação de comunicações *multihop*. Este tipo de comunicação requer que os nodos cooperam uns com os outros na identificação de rotas eficientes.
- Gestão descentralizada - Algoritmos executados na estação base são impraticáveis e por isso surge a necessidade da colaboração entre os sensores para tomarem decisões localizadas, sem o conhecimento global. Os resultados destas decisões não são ótimos, no entanto são mais eficientes em termos energéticos do que soluções centralizadas.
- Restrições de desenho - O desenho de sensores sem fios deve ter em conta o tamanho, o preço e a eficiência dos dispositivos. O objetivo é criar aparelhos de custo baixo, de pequeno tamanho e eficientes energeticamente. Desta forma, certos componentes mais avançados não são incluídos no aparelho, já que contrariam o objetivo principal. Para além dos componentes, certos protocolos, algoritmos e outras soluções de software devem ser reformulados de modo a não afetarem negativamente o desempenho do sensor.
- Segurança - A colocação de sensores em locais remotos, sem posterior intervenção humana, faz destes alvos fáceis de ataques maliciosos e intrusões. Para além disso, as

comunicações sem fios são suscetíveis a escutas de informação transmitida pelos sensores. As soluções de segurança implicam um peso computacional, comunicação e armazenamento que poderá ser impraticável devido às restrições de recursos dos sensores.

O planeamento de uma RSSF deve ainda considerar se os sensores estão fixos ou se estão colocadas em objetos móveis (veículos, robots, entre outros). No último caso, os sensores têm a responsabilidade de fazer as adaptações necessárias em termos de routing e seleção das melhores rotas, considerando os vizinhos mais próximos.

A heterogeneidade de sensores é igualmente um fator a ter em conta, dado que os sensores efetuam diversas funções dependentes do contexto e do ambiente onde se inserem e necessitam de diferentes recursos e hardware específico consoante o seu papel.

Por último, deve-se avançar na criação standards relativamente a protocolos para chegar à interoperabilidade de sistemas e soluções (Dargie & Poellabauer, 2010).

2.1.2. Topologias de comunicação em redes de sensores sem fios

Existem diferentes topologias de comunicação para redes de sensores sem fios, cuja utilização depende de certas restrições, como a bateria limitada, latência, qualidade de comunicação e recursos limitados (Sharma, Kumar, & Kishore, 2013).

2.1.2.1. Rede em estrela

Nesta configuração (Townsend & Arms, 2005), uma única estação base comunica (enviando e recebendo mensagens) para os nodos remotos. Estes não podem trocar mensagens entre si, estão restritos à comunicação apenas com a estação base. Esta configuração, representada na figura 2, é simples de manter e de expandir (Sharma, Kumar, & Kishore, 2013)

e minimiza o desgaste da bateria dos sensores. Garante baixa latência na troca de mensagens entre os nodos remotos e a estação base.

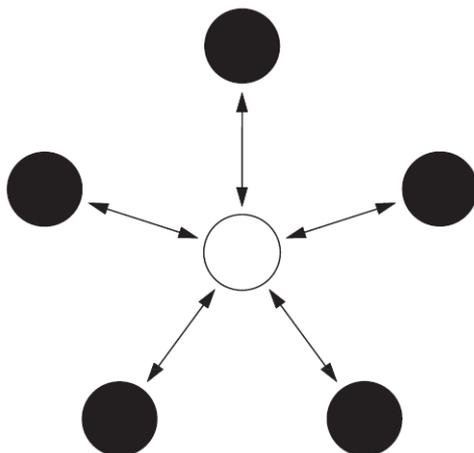


Figura 2 - Topologia em estrela, adaptado de (Townsend & Arms, 2005)

Os pontos fracos deste tipo de topologia são a distância entre a estação base e os nodos e a robustez, já que a estação base deve estar dentro do alcance de transmissão de rádio de todos os nodos, e apenas um sensor gere a rede, não existindo caminhos alternativos para alcançar os nodos (Townsend & Arms, 2005) (Sharma, Kumar, & Kishore, 2013).

2.1.2.2. Rede em *mesh*

Nesta topologia (Townsend & Arms, 2005), qualquer nodo pode comunicar com outros nodos, desde que estejam dentro do alcance de transmissão de rádio. Caso um nodo pretenda enviar mensagens para um outro nodo fora do alcance, pode usar um ou vários intermediários até atingir o nodo desejado.

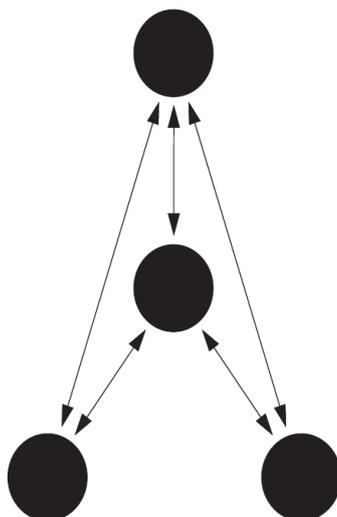


Figura 3 - Topologia em mesh, adaptado de (Townsend & Arms, 2005)

Esta configuração, representada na figura 3, assegura redundância e escalabilidade. Em caso de falha de um nodo, um outro nodo remoto continuará a comunicar dentro do seu alcance e encaminhar mensagens até ao nodo destino. É possível escalar o sistema e expandir a rede facilmente, adicionando mais nodos.

A desvantagem nesta topologia é o desgaste de bateria dos nodos que implementam estas comunicações *multihop*. O tempo de chegada de uma mensagem depende do número de nodos até chegar ao destino: quantos mais nodos a mensagem atravessar, maior será a latência do sistema, principalmente se os nodos operarem a baixos níveis de consumo de bateria.

2.1.2.3. Rede híbrida

Uma configuração híbrida, representada na figura 4, combina as configurações em estrela e *mesh* (Townsend & Arms, 2005), garantindo uma comunicação versátil e robusta e mantendo o desgaste de bateria dos sensores em níveis mínimos. Os nodos com baixos níveis de bateria não são utilizados no encaminhamento de mensagens. Os outros nodos são dotados de capacidades *multihop*, podendo transmitir mensagens de nodos mais exteriores até aos nodos destino. Geralmente, os nodos que efetuam comunicações *multihop* têm maior

capacidade de bateria e podem estar ligados a fontes de energia elétrica. A tecnologia ZigBee implementa este tipo de configuração.

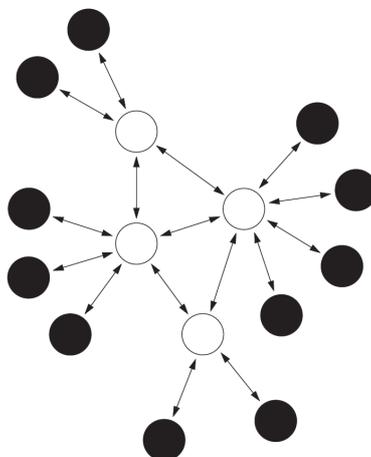


Figura 4 - Topologia híbrida, adaptado de (Townsend & Arms, 2005)

2.1.2.4. Rede ponto a ponto

Esta topologia (Sharma, Kumar, & Kishore, 2013), representada na figura 5, consiste numa ligação sem fios de alta capacidade e de longo alcance entre dois nodos de sensores. Tanto a sua principal vantagem como desvantagem prende-se com o único canal de comunicação. Por ser único, é seguro o estabelecimento da comunicação, no entanto em caso de falha, a comunicação é completamente perdida entre os dois nodos.



Figura 5 - Topologia ponto a ponto

2.1.2.5. Rede em árvore

Nesta topologia (Sharma, Kumar, & Kishore, 2013), os sensores são agrupados numa estrutura em árvore, como se pode verificar na figura 6. Assim, existem dois tipos de nodos: o

nodo pai e o nodo filho ou folha. Os pacotes de dados são enviados a partir de nodos folha para os seus nodos pai. Um nodo intermédio ou recetor recebe informação dos seus nodos folha e envia-a ao seu nodo pai.

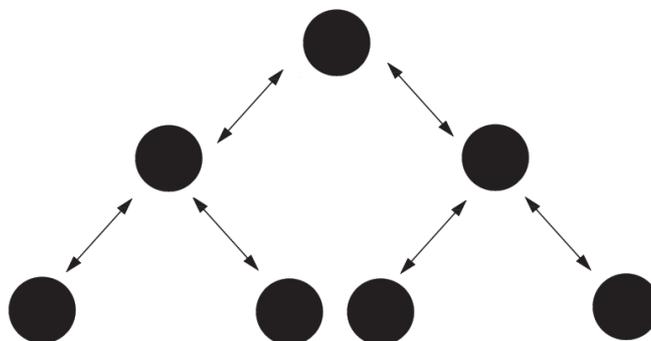


Figura 6 - Topologia em árvore

Uma rede em árvore consome menos energia que redes implementadas com outras topologias. No entanto, as desvantagens são muitas já que esta topologia é bastante custosa pois é necessário a formação da árvore. A distribuição de consumo não é uniforme, visto que os nodos mais próximos da estação base desgastam mais rapidamente a sua bateria do que os nodos folha. Em caso de falha de um nodo pai, toda a sua subárvore fica incomunicável. Por último, pode existir um longo *delay* no que toca a enviar dados de um nodo folha para o nodo raiz, já que a informação irá atravessar todos os nodos desse grupo.

2.1.3. Redes de sensores sem fios aplicadas à telemedicina

As redes de sensores sem fios têm especial utilidade quando aplicadas à telemedicina ou monitorização remota de saúde. O controlo do utilizador dentro da sua habitação através destas tecnologias garante maior conforto e menos gastos, já que as redes serão autónomas do ponto de vista de gestão e manutenção, continuando a recolher as informações necessárias e mantendo um historial médico.

As vantagens para a utilização de RSSF são enumeradas por (Virone, et al., 2006):

- Portabilidade e discrição: aparelhos de pequenas dimensões são utilizados para recolher dados e estabelecer a comunicação sem fios. Estes dispositivos são discretos e podem ser transportados pelo utilizador ou estarem envolvidos no ambiente. O pequeno tamanho dos sensores torna a monitorização do utilizador mais confortável.
- Facilidade de instalação e escalabilidade: a instalação de um grande número de sensores não deve ser complexa nem dispendiosa. Uma RSSF tem menos custos de instalação que uma rede com fios, e esta última pode ser impraticável dependendo do ambiente a monitorizar. Os aparelhos são colocados, ligados e iniciam a sua calibração e gestão automaticamente.
- Monitorização contínua: Dados fisiológicos e ambientais devem ser monitorizados continuamente, garantindo resposta de emergência imediata. Os dados recolhidos constituem um histórico e são utilizados para colmatar falhas no histórico tradicional do utilizador. Os sensores devem utilizar uma gestão inteligente e eficiente e ativação a pedido de modo a poupar energia.
- Reconfiguração e auto-organização: A adição e remoção de sensores deve instantaneamente reconfigurar a rede, permitindo que os sensores se auto-organizem para formar rotas, colaborar no processamento de dados e estabelecer hierarquias.

2.2. Tecnologias Wireless

As tecnologias com fios têm uma utilização predominante em infraestruturas de dados, onde não existem margens para falhas, em oposição aos espaços onde o utilizador se desloca. De facto, as pessoas deslocam-se e a tecnologia acompanha com sucesso este movimento, libertando do que a restringia - fios e cabos.

As vantagens das tecnologias sem fios são evidentes (Gast, 2005):

- Mobilidade: os dados são armazenados centralmente, permitindo a qualquer utilizador aceder à informação enquanto se desloca e evitando a necessidade da ligação por cabo;

- Facilidade de implantação: por vezes, torna-se difícil efetuar uma instalação com fios, principalmente em edifícios antigos ou históricos, onde as leis de preservação podem proibir a colocação de equipamento. Este contratempo pode ser eliminado com tecnologia sem fios;
- Flexibilidade: as redes sem fios utilizam estações base para conectar os utilizadores a uma rede existente. Depois da colocação destas estações no seu devido lugar, a adição do utilizador à rede é uma questão de autorização, já que podem ser necessárias credenciais de acesso. Adicionar um utilizador a uma rede sem fios envolve configurações de infraestrutura, no entanto não envolve ligar cabos. Em espaços públicos, é comum que o acesso à Internet seja disponibilizado mas torna-se impraticável e impossível servir todos os clientes via cabo;
- Custos: os custos de implantação de redes com fios, aliados a possíveis remodelações de edifícios, são mais elevados que a colocação de equipamento exterior, estações base e interface sem fios.

As principais tecnologias sem fios são apresentadas de seguida.

2.2.1. Bluetooth

Bluetooth é uma tecnologia sem fios, utilizada sobretudo em aparelhos móveis, como telemóveis, *smartphones* e computadores portáteis. Opera na banda de frequências entre 2,4 e 2,485 GHz, que corresponde a uma banda sem licença utilizada para fins industriais, científicos e médicos (ISM) (Pothuganti & Chitneti, 2014). O alcance é dependente da aplicação, no entanto é geralmente curto, com valores de 1 metro, 10 metros que são encontrados em dispositivos móveis, e 100 metros. Este último valor do alcance é utilizado para fins industriais (Bluetooth SIG, Inc., 2014).

Esta tecnologia é de baixo consumo energético e os sinais podem ser desligados quando inativos. Uma versão do Bluetooth, o Bluetooth *low energy*, foi otimizada para dispositivos com tempo máximo de bateria em vez de uma alta taxa de transferência de dados, consumindo entre 1/2 e 1/100 da energia utilizada na versão normal de Bluetooth (Bluetooth SIG, Inc., 2014).

A interferência com outras tecnologias dentro da banda é reduzida, através de *adaptive frequency hopping*. Outros aparelhos dentro do espectro são detetados e evitam-se as frequências em que estão a operar. Utilizando intervalos de 1 MHz, é possível reduzir a interferência e permitir transmissões mais eficientes dentro do espectro (Bluetooth SIG, Inc., 2014).

2.2.2. Wi-Fi

Wi-Fi é uma tecnologia sem fios bastante eficiente, otimizada para grandes transferências de informação, com baixa latência e alta velocidade. Tal como o Bluetooth, opera na banda de frequência de 2,4 GHz, assim como 5 GHz (Pothuganti & Chitneti, 2014). A sua integração num sistema é bastante complicada, já que são necessários vários drivers e é rigidamente tolerante a falhas para assegurar o desempenho. A certificação é bastante custosa em comparação com outras tecnologias (Smith, 2011).

Esta tecnologia é eficiente e adequada para descarregamentos de grandes quantidades de dados, no entanto o consumo de bateria é bastante alto e a sua utilização não é recomendada para dispositivos de pequeno tamanho, pois é necessária uma bateria de grandes dimensões. Esforços estão a ser feitos para minimizar o consumo de energia. O alcance de Wi-Fi em ambiente aberto é de 150 metros em média. A taxa de transferência de dados ronda os 6 Mbps, um valor demasiado alto para fins de monitorização. A latência é baixa, sendo de 1,5 ms, no entanto implica que o recetor esteja sempre em escuta, o que aumenta a energia necessária (Smith, 2011).

Wi-Fi possui tecnologia de coexistência, quando integrado num dispositivo com Bluetooth, reduzindo as taxas de transferências quando são detetadas interferências (Smith, 2011).

2.2.3. ZigBee

ZigBee é uma especificação sem fios, com especial utilização em medidores inteligentes, automatização de habitações e monitorização de saúde. A complexidade e os requisitos de energia tornam o ZigBee inapropriado para dispositivos sem manutenção que necessitem de operar durante longos períodos de tempo, com fontes de energia limitadas. Os canais de ZigBee têm 2 MHz de largura e são separados por intervalos de 5 MHz, contribuindo para o desperdício do espectro. Não é uma tecnologia de *frequency hopping*, logo requer planeamento cuidadoso para evitar possíveis interferências. Esta tecnologia sofre interferência tanto a partir de outras operando na mesma banda, como até de corpos humanos (Smith, 2011).

Tem um alcance de 100 metros em ambiente aberto, uma latência de 20 ms e uma taxa de transferência de 100 kbps, o que torna o ZigBee uma boa tecnologia para soluções de monitorização e controlo (Smith, 2011).

O ZigBee não implementa um sistema de coexistência, no entanto tem a capacidade de escutar continuamente até não encontrar interferências e poder enviar a informação. Se o canal está excessivamente carregado, a taxa de transferência e a latência são afetadas negativamente, podendo parar o envio de dados (Smith, 2011).

2.2.4. UWB

UWB refere-se a Ultra Wide Band, uma tecnologia sem fios de baixo alcance mas alta taxa de transferência, que pode ter valores entre 110 Mbps e 480 Mbps. A sua utilização está relacionada com a ligação sem fios entre múltiplos aparelhos para a transmissão de vídeo e áudio, como por exemplo sistemas de vigilância de vídeo e áudio em ambiente fechados. Esta tecnologia complementa outras de longo alcance como o Wi-Fi, na retransmissão de dados de um dispositivo *host* para outros dispositivos numa área muito próxima (Kaur & Sharma, 2013) (Fernández, Blasco, Hernández, & Montón, 2009).

Não sofre nem causa influência às tecnologias sem fios de Bluetooth, Wi-Fi e ZigBee, devido à sua operação na banda de frequências entre 3,1 e 10,6 GHz e também ao seu

mecanismo de coexistência idêntico ao Bluetooth, denominado *adaptive frequency hopping* (Pothuganti & Chitneti, 2014).

O seu alcance é baixo, sendo de apenas 10 metros, e o número de nodos numa rede é igualmente pequeno, contando com um nodo *master* e 7 *slaves*. Estas características, juntamente com os altos consumos de energia, fazem desta tecnologia recomendada para transmissão de grandes quantidades de dados em habitações ou outros espaços fechados de pequenas dimensões (Kaur & Sharma, 2013) (Pothuganti & Chitneti, 2014).

2.3. Inteligência Ambiente

Inteligência Ambiente caracteriza-se pela utilização de tecnologia escondida e embebida num ambiente, sendo sensível e adaptativa à presença de pessoas e objetos. Garante assistência inteligente e implícita, preservando a segurança, privacidade e confiança enquanto utiliza informação necessária e apropriada. Esta tecnologia corresponde a um suporte ao utilizador, oferecendo informação e orientação sempre que necessário, melhorando assim o controlo do espaço que o rodeia (Weber, Rabaey, & Aarts, 2005).

De um ponto de vista mais técnico, inteligência ambiente corresponde a inteligência eletrónica distribuída, sendo que o objetivo é camuflar os dispositivos necessários no ambiente. Estes aparelhos, na sua maioria sensores, são de pequeno tamanho, baixo consumo energético, leves e de baixo custo, colaborando com outros aparelhos. São redundantes e tolerantes a falhas, o que implica que em caso de falha de um dispositivo, o sistema como um todo não falha. Utilizam-se, na sua maioria, aparelhos sem fios, logo são necessários tecnologias sem fios para efetuar a comunicação e transferência de informação (Weber, Rabaey, & Aarts, 2005).

A inteligência ambiente capta o estado do ambiente e dos utilizadores através de sensores, executa raciocínios sobre os dados recolhidos com algoritmos seleccionados e atua sobre o ambiente, de maneira que os algoritmos atinjam os seus objetivos (Cook, Augusto, & Jakkula, 2009).

Existem 5 áreas que contribuem para a Inteligência Ambiente (Cook, Augusto, & Jakkula, 2009):

- Sensorização;
- Raciocínio;
- Atuação;
- Interação humano-máquina;
- Privacidade e segurança dos dados.

Um dos focos desta dissertação é a sensorização, que corresponde à recolha de informação sobre o ambiente e os utilizadores. Os algoritmos de inteligência ambiente necessitam de dados sensoriais, para depois raciocinar e atuar para alterar o estado do ambiente. Os sensores utilizados para analisar os mais diversos tipos de dados constituem redes de sensores em fios, para situações de monitorização do ambiente ou alerta para situações específicas (Cook, Augusto, & Jakkula, 2009).

Para analisar a informação proveniente de sensores, são necessárias grandes quantidades de dados sensoriais, tendo que em conta que estes dados podem não ser precisos ou completos. Ao efetuar a análise, os sistemas de inteligência ambiente podem optar por modelos centralizados ou distribuídos. Num modelo centralizado, os sensores enviam os dados para um servidor central, que combina e analisa os dados que recebe, enquanto que num modelo distribuído, cada sensor possui capacidades de processamento e efetua alguma computação ao nível do tratamento de dados, antes de enviá-los a outros nodos na RSSF. Neste último modelo, há que ter conta o consumo de energia ao fazer computação, visto que em muitos casos torna-se impossível recarregar ou trocar a fonte de energia dos sensores. O processo constituído pela filtragem, remoção de ambiguidades e interpretação de dados antes destes serem utilizados nos módulos de tomada de decisões designa-se por *middleware*. Assim, dados recolhidos de diferentes fontes são combinados e integrados para produzir informação mais refinada e completa (Cook, Augusto, & Jakkula, 2009).

3. Estado da arte

Foram estudados projetos dentro do tema de monitorização de indivíduos e seleccionados os trabalhos que, de facto, suscitaram mais interesse e apresentaram maior relevância para o tema, em termos de tecnologias ou algoritmos utilizados.

3.1. TrueKare

O sistema TrueKare (True-Kare™ (1), 2014), apresentado na figura 7, consiste num telemóvel de especto minimalista e ergonómico, configurável através do portal de serviço online. As duas interfaces - telemóvel e portal online - são sincronizadas a cada 15 minutos e a comunicação entre elas é assegurada por um cartão SIM específico. O utilizador pode efetuar chamadas normais, através da utilização de um cartão SIM do operador telefónico da sua preferência (True-Kare™ (2), 2014).



Figura 7 - Sistema TrueKare, adaptado de (True-Kare™ (2), 2014)

O telemóvel tem como funcionalidades uma agenda, lista de contactos, aplicações multimédia e alertas de medicamentos, entre outros. É possível a ligação a outros aparelhos para efetuar a medição de indicadores de saúde, como a pressão arterial e os níveis de glicose.

Existe um botão de SOS incorporado no telemóvel e caso o utilizador se perca, é possível verificar a sua localização GPS no portal online (True-Kare™ (2), 2014).

3.2. CAALYX

O projeto CAALYX (Boulos, et al., 2007) tem como objetivo o aumento da autonomia dos idosos, desenvolvendo para isso um aparelho de leve portabilidade. Este dispositivo é capaz de medir certos sinais vitais, identificar quedas e comunicar em tempo real em caso de emergência, estando o idoso na sua habitação ou fora dela.

O CAALYX engloba três componentes, estando a arquitectura do sistema representada na figura 8:

- o sistema de monitorização móvel, que controla discretamente o utilizador nas suas atividades diárias, na sua habitação como no exterior. Sinais vitais, quedas e a posição geográfica são comunicados ao Centro de Controlo em caso de emergência, para que uma unidade de socorro possa ser prontamente enviada;
- o sistema de monitorização na habitação, que integra outros dispositivos e permite novas funcionalidades, como a comunicação por vídeo utilizando o aparelho de televisão. Não só é possível a comunicação mas também é assegurada a monitorização remota e vinculação a serviços como entregas de compras, limpeza da casa e consultas periódicas com um profissional de saúde;
- o centro de controlo, que recebe alertas dos utilizadores do sistema. O responsável pelo idoso irá avaliar quando os alertas devem ser comunicados ao serviço de emergência. Neste caso, a posição geográfica e os dados sobre o tipo de emergência são fornecidos, para que a equipa de socorro possa atuar da melhor maneira. Além deste serviço, a comunicação por vídeo com o idoso é assegurada, bem como a configuração de alertas para medicamentos e planeamento de visitas.

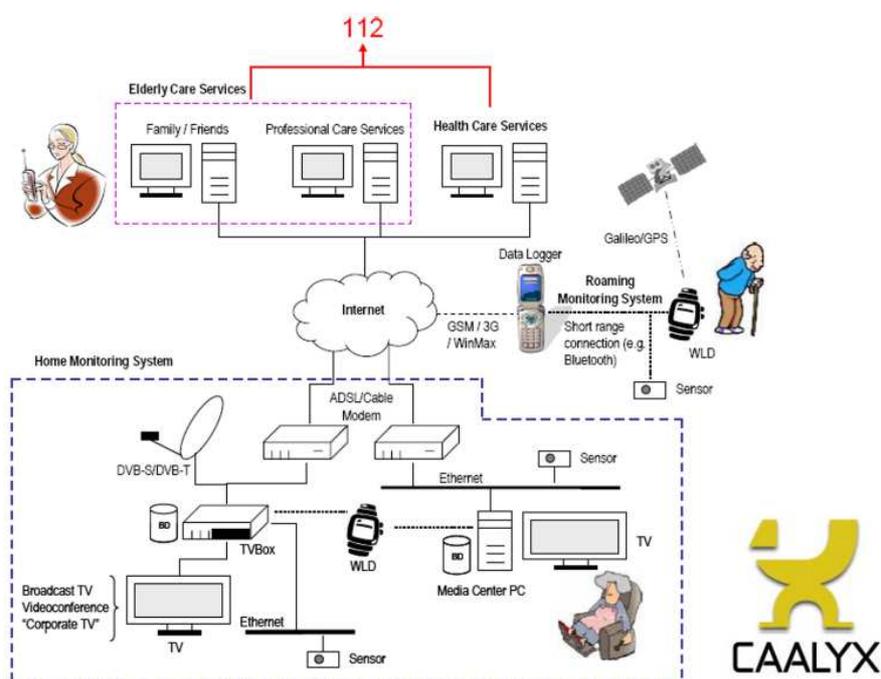


Figura 8 - Arquitetura do sistema CAALYX, adaptado de (Boulos, et al., 2007)

O CAALYX não utiliza sensores de queda fixos num local (numa habitação) como por exemplo sensores infravermelhos ou câmaras, que estão colocados fisicamente e configurados para a habitação do idoso. Em vez disso, recorre a sensores de queda usáveis com GPS, que acompanham a pessoa onde quer que ela vá.

3.3. ALARM-NET

O ALARM-NET (Wood, et al., 2006) é um sistema de monitorização residencial, recolhendo dados ambientais e fisiológicos através de uma rede de sensores sem fios.

A arquitetura do sistema engloba:

- sensores sem fios utilizados pelo utente para controlo de aspetos vitais e de atividade, conforme a necessidade do utente;

- sensores sem fios fixos, colocados na habitação do utilizador, que monitorizam aspetos do ambiente, como a temperatura, luz, pó e movimento, que em particular permite contextualizar as atividades do paciente e controlar a sua localização. Um exemplo de configuração dos sensores é apresentado na figura 9;
- aplicações AlarmGate, que gerem operações de sistema e são *gateways* ao nível da aplicação entre os sensores sem fios e as redes IP. Estes nodos permitem que a aplicação do utilizador se conecte, autentique e interaja com o sistema;
- sistemas de *back-end*, que efetuam a análise online dos dados recolhidos pelos sensores e armazenam configurações de sistema, dados dos utentes, políticas de privacidade e registos áudio. Um programa específico de análise processa dados armazenados na base de dados, para efetuar a aprendizagem de comportamentos;
- interface do utilizador, que permite a um utilizador registado visualizar dados dos sensores, estando sujeito a políticas de privacidade.

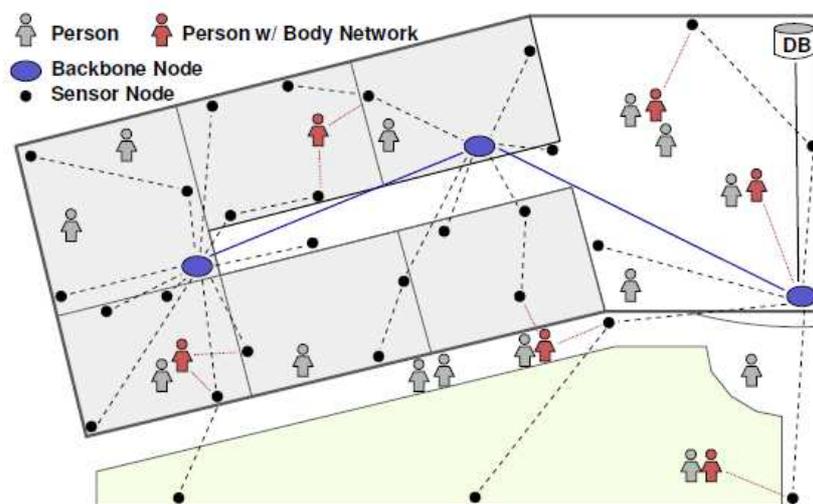


Figura 9 - Exemplo de deploy do sistema ALARM-NET, adaptado de (Wood, et al., 2006)

Na minha opinião, este projeto tem como principal vantagem o desenvolvimento de um programa de análise de ritmos circadianos, para recolher informação sobre a rotina do utente e efetuar aprendizagem sobre esses dados. A contribuição da aprendizagem é fundamental para distinguir períodos de sono e para detetar anomalias significativas na rotina (período de sono

maior, saltar uma refeição), que possam vir a interferir no declínio de saúde do utente ou revelar outras patologias.

3.4. ActionView

O ActionView (Lin, Hsieh, Chen, & Chang, 2009) desenvolve um sistema de monitorização do movimento do utente, especializado no reconhecimento de quedas. Resolve alguns problemas existentes em trabalhos anteriores da mesma área, como a transação de posturas (por exemplo quando o utente está sentado e levanta-se) e melhora a precisão da deteção de ações dinâmicas como andar ou correr.

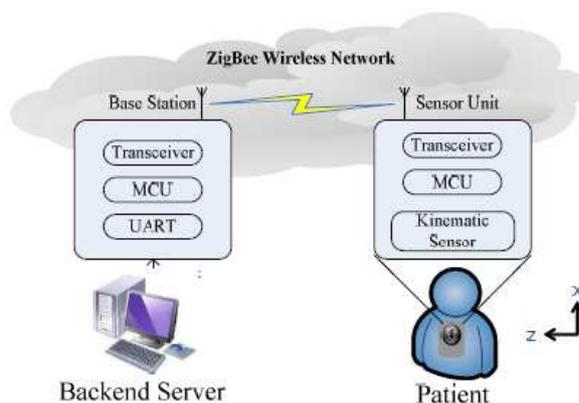


Figura 10 - Arquitetura do sistema Action View, adaptado de (Lin, Hsieh, Chen, & Chang, 2009)

O sistema utiliza um sensor específico, incorporado com um acelerómetro e um giroscópio e envia os dados através de uma rede de sensores sem fios, como se verifica na figura 10. O sensor composto mede as mudanças na orientação e aceleração da parte superior do corpo do utente e comunica a informação em tempo real para um servidor remoto, para se fazer a análise do movimento através de um algoritmo de reconhecimento de postura. Para além de detetar a ocorrência de movimento, o sistema também guarda o tempo aproximado gasto em executar certa atividade, contribuindo para uma estimativa do metabolismo do utilizador, que pode ser um dos indicadores de saúde do indivíduo. Movimentos fora do normal podem ser detetados imediatamente e são tomadas ações apropriadas por parte do pessoal médico.

3.5. Sistema de deteção de movimento

Este sistema de deteção de movimento (Sfichi, Graur, Popa, Finis, & Petrariu, 2012) combina a utilização de duas tecnologias para efetuar a deteção de movimento e identificação de pessoas dentro de uma área habitacional. O sistema utiliza infravermelhos passivos e ZigBee, conectado através de uma rede de sensores sem fios, e baseia-se no princípio de deteção de infravermelhos. O objetivo é oferecer uma solução de custo baixo (que é comprovado pela escolha das tecnologias), modular e de fácil manutenção.

Numa primeira abordagem, o sistema focava-se unicamente na deteção de movimento e comparação com as horas de sono e intervalos de movimento. É de referir que apenas uma pessoa podia ser monitorizada dentro de um certo espaço.

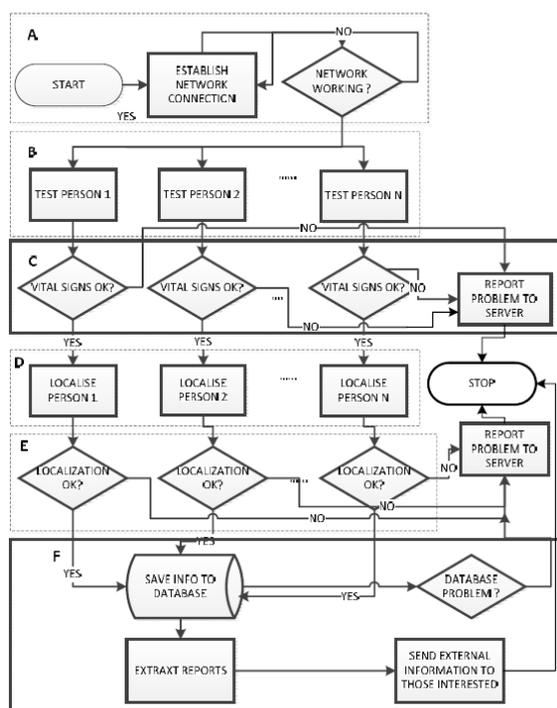


Figura 11 - Diagrama lógico do sistema, adaptado de (Sfichi, Graur, Popa, Finis, & Petrariu, 2012)

Após o refinamento do projeto, cujo diagrama lógico é representado na figura 11, é desenvolvido um relógio de pulso ZigBee, que diferencia os utilizadores e que comunica com o servidor e analisa os dados vitais destes. Após este passo, é feita a localização do utilizador. O algoritmo de localização ZigBee não é preciso, necessitando de informação dada pelos

infravermelhos e o algoritmo de localização para conseguir combater essa desvantagem. Os dados recolhidos são constantemente enviados para o servidor. Em caso de irregularidades, tanto na análise de dados vitais como na localização, os problemas são reportados.

Num caso real de aplicação, será necessário considerar o espaço onde vai ser efetuada a monitorização e selecionar os melhores sítios a colocar os sensores de infravermelhos passivos. Os utilizadores terão de utilizar o relógio de pulso e caso abandonem o espaço pré-estabelecido, o sistema irá dar um alerta.

Na minha opinião, este sistema tem como vantagem a utilização de duas tecnologias diferentes que se complementam na localização do indivíduo. O algoritmo ZigBee por si só não é suficiente para localizar com precisão, logo é necessário a adição de infravermelhos passivos para colmatar as falhas na localização.

3.6. Outros projetos

A Fitbit (Fitbit Inc. (2), 2014) desenvolve aparelhos como pulseiras, para controlo da atividade do utilizador. Os dispositivos recolhem informação sobre o número de passos dados, a distância percorrida, as calorias queimadas, entre outros. A pulseira também é utilizada para medir a qualidade e o tempo de sono do indivíduo, podendo servir de despertador. É possível ligar os aparelhos ao computador através de software específico (Fitbit Inc. (1), 2014).

A Azumio (Azumio Inc., 2013) desenvolve aplicações para *smartphone*, que com a ajuda da câmara do aparelho, medem o número de batimentos cardíacos por minuto, podendo calcular os níveis de stress do indivíduo. O utilizador coloca o dedo na câmara e através da passagem da luz do flash pelo dedo, é possível calcular o ritmo cardíaco (Azumio Inc., 2012). Também desenvolve aplicações de controlo para diabéticos, aplicações de apoio à prática de exercício físico e aplicações de monitorização do sono.

A Withings (Withings (1), 2014) também fabrica pulseiras para controlo da atividade e balanças. Apresenta um sistema de monitorização do sono (Withings (2), 2014), representado na figura 12, constituído por um sensor colocado por baixo do colchão, um dispositivo colocado ao lado do utilizador enquanto dorme e uma aplicação móvel.



Figura 12 - Sistema Aura da Withings, adaptado de (Withings (2), 2014)

O sensor colocado debaixo da cama monitoriza os ciclos de sono, analisando movimentos corporais, respiração e ritmo cardíaco. O outro dispositivo capta os níveis de som, luz e temperatura durante a noite, identificando possíveis degradações na qualidade do sono. Também atua como despertador, através de uma iluminação e som suaves. A aplicação móvel apresenta os dados recolhidos e avalia a qualidade de sono.

4. Tecnologias utilizadas

No sentido de melhorar o desenvolvimento do projeto e a qualidade do sistema, foram utilizadas tecnologias específicas. Estas vão ser apresentadas de seguida, assim como as suas vantagens e as razões da escolha.

4.1. Java

O desenvolvimento da estação de controlo foi feito recorrendo a Java, umas das linguagens de programação mais utilizadas nos tempos que correm (Appcelerator Inc., 2012). Java enquadra-se nas linguagens de programação orientadas ao objetos, com base em classes, e insere-se tanto no desenvolvimento de aplicações web tanto como aplicações desktop offline. As razões da adesão a Java prendem-se com a reutilização de código, modularidade e portabilidade, sendo possível adicionar e alterar componentes com relativa facilidade. Através do *Java Runtime Environment*, é possível tirar partido da interoperabilidade entre plataformas (Flanagan, 2005).

O Java tem embutido em si algumas características que o tornam bastante atrativo, sendo estas a gestão de memória, permitindo paralelismo e concorrência e o *garbage collector*, processo automático de limpeza de memória (Flanagan, 2005).

Para o sistema de monitorização proposto, a utilização de Java foi bastante vantajosa, pela sua integração com as *frameworks* Hibernate, uma ferramenta de mapeamento de um modelo orientado a objetos para uma base de dados relacional, e JADE, uma ferramenta para a implementação de sistemas multiagente. Estas *frameworks* foram desenvolvidas para uma utilização em Java, e é esta a principal razão pela qual esta linguagem foi escolhida.

4.2. JADE

JADE é uma *framework* desenvolvida em Java, sendo que o seu foco é a programação orientada ao agente. Este paradigma relaciona as teorias da inteligência artificial com sistemas distribuídos, através de componentes denominados agentes (Bellifemine, Caire, & Greenwood, 2007).

Um agente é um componente de software com autonomia, oferecendo uma interface interoperável a um sistema arbitrário. Estes elementos têm como principais características (Bellifemine, Caire, & Greenwood, 2007):

- Autonomia: opera sem intervenientes humanos ou outros e tem controlo sobre as suas ações e estado interno;
- Comunicação: coopera com humanos ou outros agentes para completar as suas tarefas;
- Reatividade: analisa o ambiente e responde a alterações;
- Pro-atividade: não atua somente em função do ambiente mas toma iniciativa para atingir os seus objetivos.

Um agente pode operar sozinho no ambiente ou constituir sistemas multiagentes, podendo resultar em cooperação ou conflitos entre os componentes (Bellifemine, Caire, & Greenwood, 2007).

A escolha da utilização de agentes prende-se com a facilidade de configuração e utilização e a experiências prévias favoráveis com esta tecnologia. De facto é possível colocar bastantes regras lógicas em agentes (mesmo que seja apenas um) para que estes analisem os dados de forma autónoma e reativa.

4.3. Joda-Time

Apesar da linguagem de programação Java suportar as classes `Date` e `Time`, estas não são as mais eficientes e fáceis de utilizar. Deste modo, foi necessário procurar outras alternativas.

Joda-Time é uma biblioteca desenvolvida com o objetivo de colmatar as falhas das classes correspondentes do Java. Tem suporte para vários calendários (incluindo gregoriano, islâmico e budista) e permite interoperabilidade entre as classes do *Java Development Kit* (The Joda project, 2014).

Para o sistema de monitorização, era necessário, entre outros, verificar se uma hora se inseria num intervalo de horas e esta biblioteca satisfaz as necessidades surgidas com eficiência e facilidade de utilização, deixando uma boa impressão para aplicações futuras.

4.4. C#

O desenvolvimento da estação de controlo foi feito recorrendo a C#, uma linguagem de programação orientada a objetos. Apesar desta linguagem ser independente de plataforma, foi escrita para trabalhar bem com a *framework* .NET da Microsoft, sendo que aplicações desenvolvidas em C# são tipicamente executadas num ambiente Windows. No entanto, a interoperabilidade está presente em cenários em que código escrito em C# é executado do lado do servidor e gera HTML, que pode ser executado em qualquer plataforma, tal como acontece com ASP.NET. Código nesta linguagem de programação pode correr em vários *runtimes* e também em clientes que suportem Microsoft Silverlight (Albahari & Albahari, 2012).

Esta linguagem de programação assenta em princípios básicos do paradigma orientado a objetos, ou seja, estão embutidas as noções de objeto e classe, encapsulamento, polimorfismo e herança.

A razão de escolha desta tecnologia relaciona-se estritamente com a API dos sensores utilizados. A API foi disponibilizada nas linguagens C, C++ e C# e a preferência caiu em C#, pela experiência passada com linguagens de programação orientadas ao objeto.

4.5. ZedGraph

Durante o desenvolvimento da representação gráfica para a aplicação local, foram primeiramente utilizadas as ferramentas de *charting*, próprias da linguagem de programação C#. De facto, estas ferramentas apresentaram problemas na questão da atualização em tempo real. Logo, houve a necessidade de encontrar novas tecnologias.

ZedGraph é uma biblioteca de *charting* para C#, compatível com as versões mais antigas da *framework* .NET. Oferece um conjunto de funcionalidade para gráficos de vários tipos (barras, linhas e *pie charts*) e é customizável em termos visuais. Algumas opções extra correspondem aos zooms para melhor visualização do gráfico, a possibilidade de cópia para imagem e gravação, também em imagem, do gráfico, bem como a sua impressão (Champion, 2007).

Esta é uma ferramenta bastante flexível, fácil de utilizar e customizável, que satisfaz as necessidades surgidas, deixando uma boa impressão para aplicações futuras.

4.6. MySQL

MySQL é um sistema de gestão de bases de dados relacionais, sendo *open-source* e suportando múltiplas *threads* em execução. Garante uma fácil integração com as aplicações desenvolvidas em C#, através do *Connector/NET*, e em Java, através do JDBC ou da *framework* Hibernate (Dyer, 2008).

Existem vários sistemas de gestão de bases de dados, no entanto foi escolhido este devido à sua facilidade de utilização, flexibilidade, estabilidade e boa performance, e sobretudo o facto de ser *open-source*.

O MySQL fornece opções de construção de modelos de dados, com suporte para exportação e criação de uma base de dados a partir desse modelo, através da técnica *forward engineering*. A opção contrária, *reverse engineering*, também está presente na ferramenta e consiste na criação do modelo de dados a partir de informação existente na base de dados.

4.7. Hibernate

Hibernate é uma *framework* para a camada de dados, responsável pelo mapeamento de um modelo orientado a objetos para uma base de dados relacional. Este mapeamento centra-se na criação de ficheiros XML de acordo com as classes Java. O Hibernate também suporta anotações em Java, sendo uma maneira de fornecer metadados ao mapeamento. Todos os metadados são colocados no ficheiro POJO, juntamente com o código que ajuda na compreensão da estrutura da tabela e do POJO em si. Para se fazer o mapeamento, é necessário definir a classe do objeto, criar uma relação correspondente na base de dados e fazer uso do ficheiro XML ou das anotações (Red Hat, Inc., 2014).

Foi utilizado Hibernate em substituição à tradicional ferramenta de JDBC e o mapeamento foi feito através de anotações. Todavia, não se exploraram todas as funcionalidades desta *framework*, como por exemplo a sua linguagem própria de *queries*, sendo que muitos destes foram escritos em SQL.

4.8. Sensores

Os sensores utilizados foram disponibilizados pelo Intelligent Systems Lab, no Departamento de Informática. Foram desenvolvidos pela empresa Nebusens e fazem parte da gama de produtos n-Core. Quando combinados, constituem uma rede de sensores sem fios, comunicando através de ZigBee (Nebusens S. L. (2), 2014). A utilização deste tipo de dispositivos relaciona-se com a automatização de habitações, monitorização remota, monitorização e controlo do ambiente e localização em tempo real (Nebusens S. L. (1), 2014). Os sensores utilizados são do tipo n-Core Sirius B (Nebusens, S. L. (3), 2014) e n-Core Sirius D (Nebusens, S. L. (4), 2014), e apesar das designações diferentes, estes têm características idênticas.

Estes sensores possuem características já discutidas no capítulo 2.1.3, que tornam a sua utilização apelativa tais como a escalabilidade, já que outros sensores podem ser facilmente adicionados; portabilidade, devido ao pequeno tamanho dos sensores e monitorização contínua.

No entanto, alterações à rede de sensores sem fios deve ser feita através da ferramenta de configuração, necessitando assim de intervenção humana.

4.9. Síntese

Em grande parte, as tecnologias apresentadas foram selecionadas por livre escolha, de entre um vasto conjunto que existe atualmente.

As bibliotecas Joda-Time e ZedGraph revelaram-se bastante úteis, pois apesar dos conceitos básicos de cada uma estarem presentes nas respetivas linguagens de programação, estas falham em certos aspetos. Logo, houve a necessidade de procurar novas alternativas que pudessem colmatar esses defeitos.

Não é compreensível a API dos sensores utilizados não conter a versão para Java, sendo esta uma linguagem de grande adesão mundial.

A utilização da ferramenta de configuração é necessária sempre que se quer compor a redes de sensores sem fios, fazer alterações à mesma, como adicionar ou remover sensores, modificar o seu tipo de operação ou as suas posições fixas, ou simplesmente reiniciar a rede.

5. Desenvolvimento do protótipo

O sistema de monitorização é composto por duas aplicações: uma estação de controlo, utilizada por entidades de saúde e emergência, e as aplicações locais, colocadas nos espaços onde se quer monitorizar. A monitorização é baseada na recolha de informação pelas aplicações locais através dos sensores, que depois será analisada pela estação de controlo. Em caso de situação de perigo, é dado um alerta sobre o utilizador, na estação de controlo.

5.1. Modelo de dados

O modelo de dados é uma representação abstrata da informação contida na base de dados, assim como as relações entre as entidades. Toda a informação relativa a grupos, utilizadores, divisões dos espaços a monitorizar e rotinas dos utilizadores está armazenada numa base de dados.

Cada utilizador está obrigatoriamente associado a um grupo, a uma faixa etária e poderá estar numa divisão do espaço onde se faz a monitorização. É apenas guardada a posição e data do último movimento identificado para cada utilizador, pois a estação de controlo necessita apenas dos dados relativos ao último movimento para efetuar os seus testes.

As rotinas estão relacionadas com os utilizadores, podendo existir várias para cada um. Têm associada uma divisão do espaço onde se faz a monitorização, uma hora de início e de fim.

Cada grupo terá um conjunto de utilizadores e um conjunto de divisões, onde será feita a monitorização.

Alguns atributos são utilizados para enquadrar o utilizador nas regras gerais, tais como a faixa etária deste, o tipo de divisão associado à divisão onde se encontra e o tipo de grupo relacionado com o grupo onde se insere.

É apresentado o modelo de dados do sistema de monitorização na figura 13.

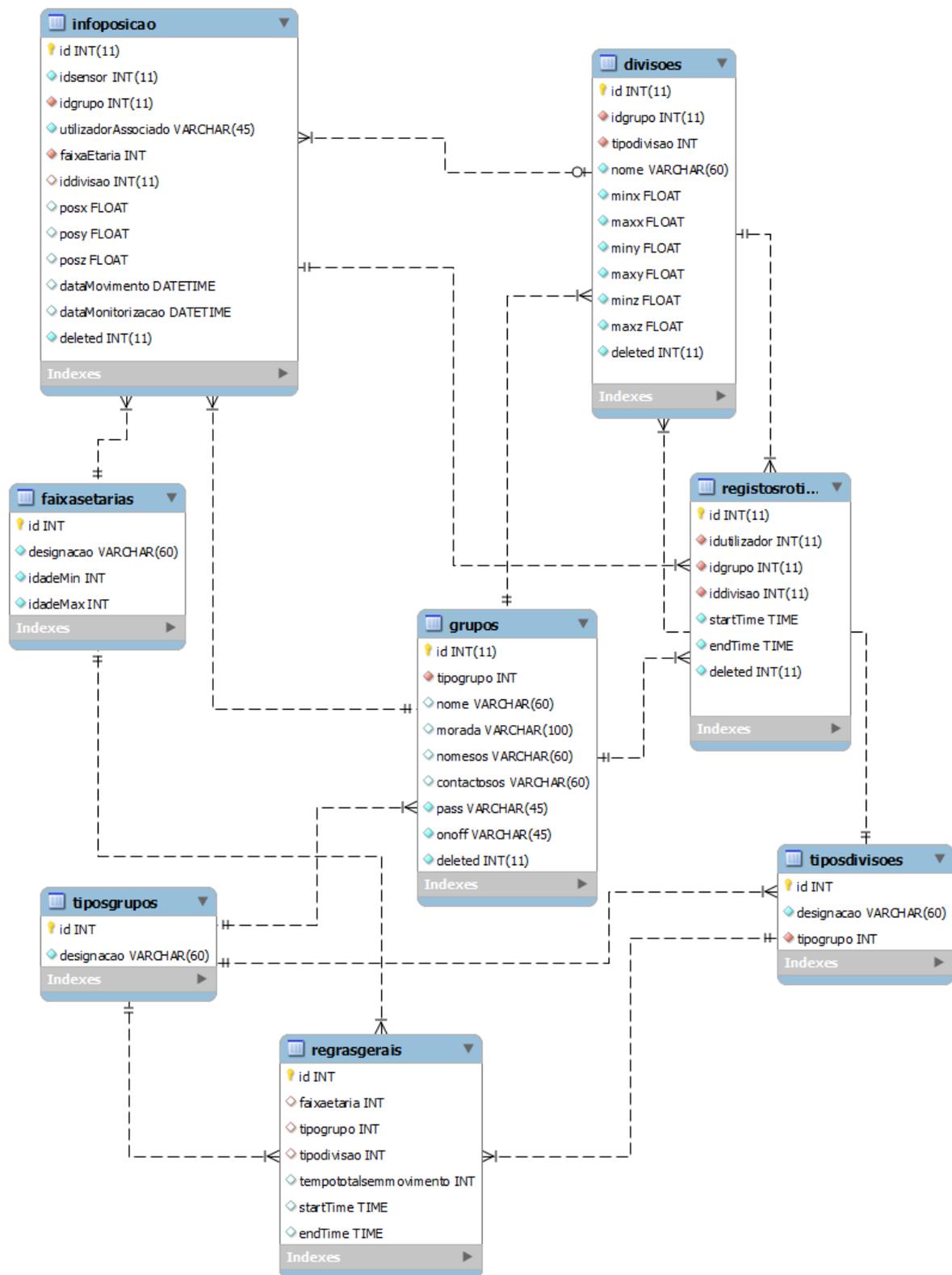


Figura 13 - Modelo de dados do sistema de monitorização

Este modelo de dados facilita a compreensão da estrutura usada pela base de dados, que foi utilizado tanto pela aplicação local como pela estação de controlo.

5.2. Arquitetura do sistema

A arquitetura proposta para o sistema baseia-se no modelo cliente-servidor. As aplicações locais seriam executadas nos espaços a monitorizar, fazendo a comunicação com a servidor através da rede. O servidor de base de dados poderia estar ligado diretamente à estação de controlo (visto existir apenas uma estação) ou então separado. Os dados dos utilizadores poderiam ser acedidos e utilizados por máquinas diferentes.

No entanto, esta arquitetura não está completamente implementada. O foco foi a criação do protótipo e testar as teorias propostas para a monitorização, e não desenvolver um sistema maduro, pronto a ser colocado no mercado, pois é um projeto académico. Logo, a lógica por detrás do servidor não foi implementada e os testes durante o desenvolvimento do sistema consistiam nas duas aplicações a serem executadas localmente, com uma base de dados também ela local. Para facilitar a compreensão, é apresentada a arquitetura do protótipo na figura 14.

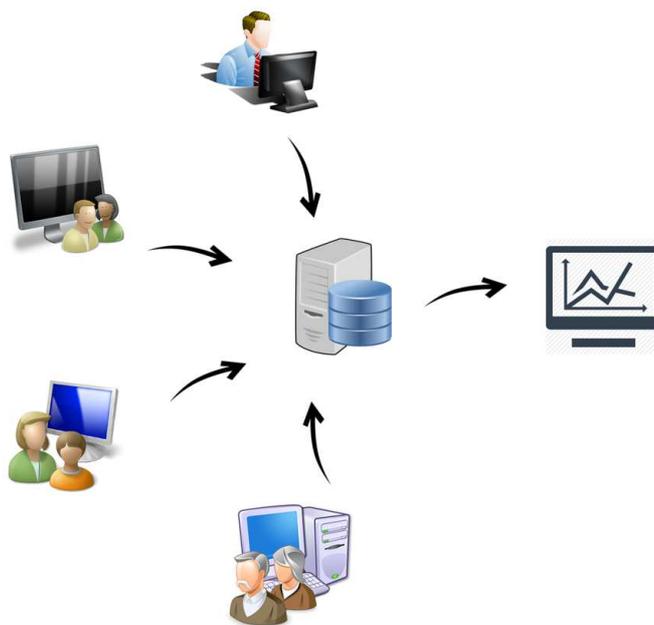


Figura 14 - Arquitetura do sistema de monitorização

Cada aplicação local do utilizador recolhe informação proveniente dos sensores. Esses dados seriam guardados no servidor de base de dados, para posterior acesso e análise pela estação de controlo.

5.3. Colocação dos sensores

Antes de se iniciar a monitorização a partir da aplicação local dos utilizadores, é fundamental que os sensores estejam colocados nos seus devidos sítios, constituindo assim uma rede de sensores sem fios. O fabricante dos sensores recomenda a colocação dos mesmos nos cantos de cada divisão ou espaço a monitorizar, assim como a colocação no teto e no chão do espaço, de modo a obter alturas diferentes. Assim, todo o espaço a monitorizar estará dentro do alcance dos sensores.

Os sensores estão divididos em 3 tipos, sendo eles o sensor coordenador, os sensores *router* ou também denominados por sensores fixos, e por último os sensores *tag*, que acompanham o utilizador. É imprescindível que o sensor coordenador esteja ligado ao computador que irá conter e executar a aplicação local dos utilizadores, pois é este sensor que recebe as informações provenientes dos outros sensores. De modo, forma-se uma rede centralizada, em forma de estrela.

5.4. Aplicação local do utilizador

A captura e o cálculo das coordenadas X, Y e Z são feitos na aplicação dos utilizadores. Ao iniciar a aplicação, é necessário que sejam inseridas informações de *login*, como o identificador de grupo e a password associada.

A aplicação é personalizável, permitindo que os utilizadores adicionem informações sobre eles próprios, bem como os espaços a monitorizar. Estas informações são obrigatórias, ou seja, é necessário que exista pelo menos um utilizador e um espaço para se efetuar a monitorização. Foi possível alargar a monitorização a vários utilizadores. O utilizador pode inserir

rotinas, que depois serão analisadas na estação de controlo, e informação acerca da morada do espaço e entidades a contactar em caso de emergência.

Os dados recolhidos englobam as coordenadas X, Y e Z e o dia e hora dessa medição. As coordenadas constituem uma posição, à qual se tentará atribuir um espaço a partir dos inseridos pelo utilizador. A informação recolhida é inserida na base de dados, para posterior análise pela estação de controlo.

É disponibilizada nesta aplicação uma representação gráfica dos espaços inseridos pelo utilizador. A representação é feita através de um componente ZedGraph, mostrando os espaços definidos, bem como onde os sensores fixos estão colocados. Acompanha igualmente o movimento dos utilizadores pelos espaços, sendo que a representação é atualizada constantemente em tempo real.

Durante as primeiras experiências, foi detetado que em situações onde o sensor *tag* estava parado, o que correspondia à falta de movimento, a aplicação local continuava a atribuir posições diferentes para a mesma posição real. O erro não era estável, podendo ir de apenas alguns centímetros até alguns metros. Assim, surgiu a necessidade de implementar filtros na aplicação local. Os filtros são aplicados logo após as coordenadas X, Y e Z terem sido recebidas dos sensores, sem qualquer tratamento. Foi detetado também que as primeiras posições recebidas pelos sensores eram as mais discrepantes, logo todos os filtros descartam as 10 primeiras posições recebidas para cada utilizador.

X	Y	Z	Ano	Mês	Dia	Hora	Minuto	Segundo
575,165	219,983	158,357	2014	9	16	15	44	36
444,732	170,506	148,629	2014	9	16	15	44	37
459,549	173,466	150,178	2014	9	16	15	44	38
473,837	176,232	151,644	2014	9	16	15	44	40
473,201	176,028	151,613	2014	9	16	15	44	41

Tabela 2 - Dados recolhidos em 5 medições sem qualquer filtro aplicado

A tabela 2 apresenta um excerto dos dados recolhidos, sem nenhum filtro aplicado. Foram desenvolvidos 3 filtros, no entanto apenas se selecionou um para estar implementado na versão final da aplicação local.

O primeiro filtro desenvolvido consiste em calcular uma média das últimas 10 posições recebidas. O objetivo deste filtro é atenuar os erros que são recebidos dos sensores de uma forma bastante simples e que não requer muita computação. Neste caso, a posição atribuída ao utilizador seria a média das últimas 10 posições recebidas, e não a posição lida pelo sensor naquele momento. Este filtro tem como principal desvantagem atribuir uma posição diferente ao utilizador por cada vez que recebe uma nova posição do sensor, como consequência dos erros dos sensores. Este filtro não permite saber se o utilizador está parado, mesmo que reduza o erro que resulta dos dados recebidos pelos sensores.

Desenvolveu-se um outro filtro, denominado de filtro de esfera. A ideia foi criar uma esfera à volta do utilizador, considerando a posição deste. Caso a nova posição recebida esteja fora da esfera ou exista um deslocamento significativo dentro da própria esfera, considera-se que houve deslocamento. O algoritmo deste filtro é o seguinte:

- Guarda-se a primeira posição lida para cada utilizador:
- Calculam-se duas distâncias, a partir da fórmula da distância euclidiana. A primeira distância calculada corresponde à distância entre a posição recebida e a primeira posição lida. A outra distância corresponde à distância entre duas posições recebidas uma após a outra. Caso esses valores ultrapassem uma distância definida de limite, faz-se a média de 10 posições lidas e atualiza-se a posição do utilizador para a posição calculada. Repete-se o processo, considerando a posição média como a primeira posição lida.
- Caso os valores das distâncias estejam dentro dos limites, considera-se que não houve deslocamento significativo. Logo, a posição do utilizador não se altera e guarda-se a última posição recebida, para posteriormente ser utilizada no cálculo da segunda distância.

A distância euclidiana é dada pela equação 1:

distancia euclidiana

$$= \sqrt{(x_{\text{posição 1}} - x_{\text{posição 2}})^2 + (y_{\text{posição 1}} - y_{\text{posição 2}})^2 + (z_{\text{posição 1}} - z_{\text{posição 2}})^2}$$

Equação 1 - Distância euclidiana

Este filtro permite identificar ausências de movimento, pois considera-se sempre a mesma posição do utilizador caso o deslocamento não seja significativo.

O último filtro denomina-se por filtro de caixa, já que se pretende formar uma caixa à volta do utilizador que vai aumentando até um certo ponto. Ao ultrapassar os limites da caixa, considera-se que houve deslocamento por parte do utilizador. Segue-se o algoritmo deste filtro:

- No início, guarda-se a primeira posição lida para cada utilizador. Nesta fase, as coordenadas X, Y e Z desta posição são consideradas tanto limites mínimos como máximos. Forma-se uma caixa contendo apenas a posição inicial;
- Compara-se a próxima posição recebida com esta posição, caso as posições estejam bastante afastadas, considera-se que houve deslocamento do utilizador. Em caso contrário, atualizam-se as coordenadas mínimas e máximas e efetua-se um novo teste. Se os limites mínimo e máximo de cada coordenadas forem superiores a um valor definido, considera-se novamente que houve deslocamento do utilizador;
- Em caso de deslocamento, faz-se a média de 10 posições lidas e atualiza-se a posição do utilizador para a posição calculada. Renovam-se também os limites mínimo e máximo. Repete-se o processo, considerando a posição média como a primeira posição lida.
- Caso não exista deslocamento, a posição do utilizador não se altera e guarda-se a última posição recebida, para posteriormente utilização.

Este filtro permite a expansão da caixa, pois sempre que se recebe uma nova posição, atualizam-se as limites mínimos e máximos de cada coordenada. Caso a caixa atinja as dimensões máximas, é identificado um deslocamento do utilizador e como consequência, renova-se a posição deste bem como dos limites de cada coordenada.

O filtro da caixa foi o filtro escolhido para ser implementação na versão final do protótipo, pois foi a que apresentou melhores resultados durante os testes efetuados.

5.5. Estação de controlo

Primeiramente, é necessário definir o que se considera ser uma situação de perigo. Sendo que a aplicação local recolhe informação sobre a posição atual dos utilizadores e a data e hora do movimento, define-se situação de perigo como a ausência de movimento fora das condições normais ou por um período de tempo definido. As condições normais correspondem a rotinas particulares do utilizadores, definidas na aplicação local e a regras gerais, que são aplicadas a todos os utilizadores do sistema.

A estação de controlo tem como principal função analisar os dados recolhidos pelas aplicações locais dos utilizadores. É na estação de controlo que se criam os grupos, sendo estes conjuntos de utilizadores a serem monitorizados. Os utilizadores são adicionados mais tarde nas aplicações locais.

Esta aplicação tem acesso à informação dos utilizadores, apenas para fins de consulta e monitorização, sendo que os dados recebidos não podem ser alterados e são atualizados pelo agente de monitorização.

O componente mais importante da estação de controlo é um agente de monitorização, que irá alertar para situações de perigo.

5.5.1. Rotinas

As rotinas são criadas nas aplicações locais dos utilizadores, no entanto revelam a sua importância na estação de controlo. A cada rotina está associado um utilizador, uma divisão, uma hora de início e de fim. O propósito das rotinas está relacionado com hábitos do utilizador dentro do espaço onde se efetua a monitorização, ou seja, poderá existir momentos em que o

utilizador não necessite de se movimentar ou deslocar. Como consequência, não se consideraram esses momentos como situações de perigo.

5.5.2. Regras gerais

Existem certos hábitos dos utilizadores que se podem generalizar para todos, constituindo assim regras gerais. As regras gerais variam na informação contida, podendo relacionar as faixas etárias dos utilizadores com os tipos de grupo ou tipos de divisões. A cada regra geral, pode ser atribuído um tempo máximo de permanência numa certa divisão ou uma hora de início e outra de fim, no entanto estes atributos são mutuamente exclusivos. As regras gerais estão assim dependentes do contexto de do ambiente onde se inserem.

Durante a noite, é bastante comum os utilizadores estarem nos seus períodos de sono sem se movimentarem, nos seus quartos. Logo, uma regra geral combinaria o tipo de grupo onde os utilizadores se inserem (neste caso, grupo doméstico), o tipo de divisão onde os utilizadores estão presentes (quarto) e uma hora de início e de fim do período de sono.

5.5.3. Agente de monitorização

O agente de monitorização foi desenvolvido usando a *framework* JADE e é composto por um *CyclicBehaviour*, já que o seu comportamento é repetido após um período de tempo definido. Deste modo, este agente atua de minuto em minuto.

O agente começa por atualizar a informação sobre grupos, utilizadores, espaços criados pelos utilizadores e rotinas. Depois irá efetuar uma avaliação a cada utilizador, para averiguar se está numa situação de perigo.

Esta avaliação consiste em tentar inserir o utilizador em alguma rotina, relacionando a data do último movimento com a hora de início e fim da rotina. Se a hora do último movimento e a hora em que é feita esta comparação estiverem contidas entre a hora de início e fim da rotina, então classifica-se como uma situação normal e não é feito um alerta para a falta de movimento, pois considera-se normal não haver movimento ou deslocamento nesse período de tempo.

Caso este teste falhe, efetua-se um teste idêntico, averiguando se o utilizador se insere em alguma regra geral. Para isso, tem-se em conta a faixa etária do utilizador, o tipo de grupo a que está associado e o tipo de divisão do espaço onde está. Se alguma regra estiver relacionada com o utilizador, então compara-se o seu tempo de permanência na divisão com o tempo de permanência máximo. Caso o tempo máximo tenha sido ultrapassado, é assinalado uma situação de perigo. Se não existir o parâmetro de tempo máximo na regra, efetua-se uma nova verificação, averiguando se a hora do último movimento e a hora em que é feita e novo teste estão inseridas entre a hora de início e fim da regra. Se estiverem, classifica-se como situação normal, em caso contrário segue-se para um último teste.

Esta última verificação consiste em comparar o tempo de permanência de um utilizador com um tempo máximo definido, sendo este valor de 15 minutos. Se este valor for ultrapassado, classifica-se como uma situação de perigo.

O alerta para uma situação de perigo é feito de maneira visual, através de uma janela *popup*, e atualização de informação respeitante ao utilizador, num componente tabela na estação de controlo.

Foi criado um diagrama de atividades para a melhor compreensão do algoritmo de testes do agente de monitorização e encontra-se em anexo, por razões de tamanho da imagem.

5.6. Interfaces

Numa primeira fase de reflexão, foram elaboradas algumas *mockups*, que mais tarde deram origem às interfaces que estão atualmente implementadas na aplicação local do utilizador. As *mockups* estão incluídas na secção de anexos.

A interface desenvolvida para a aplicação local tem como objetivo ser orientada ao utilizador comum, minimizando os termos técnicos. A interface impede os erros por informação incorreta ou em falta e ajuda o utilizador a compreender onde falhou, através de mensagens de erro que identificam o problema.

Esta interface é composta por vários separadores, de maneira a manter a informação estruturada e fácil de aceder. Os dados dos utilizadores, rotinas e divisões são apresentados no formato de tabela, sendo que as informações relativas às deslocações dos utilizadores são atualizadas em tempo real. A figura 15 apresenta um *screenshot* da aplicação local dos utilizadores.

Um componente de *chart* da biblioteca ZedGraph é utilizado para fazer a representação gráfica do espaço a monitorizar, recorrendo às divisões especificadas pelo utilizadores. A atualização do componente é feita em tempo real. Para a compreensão dos dados, diferentes tipos de sensores têm ícones distintos.

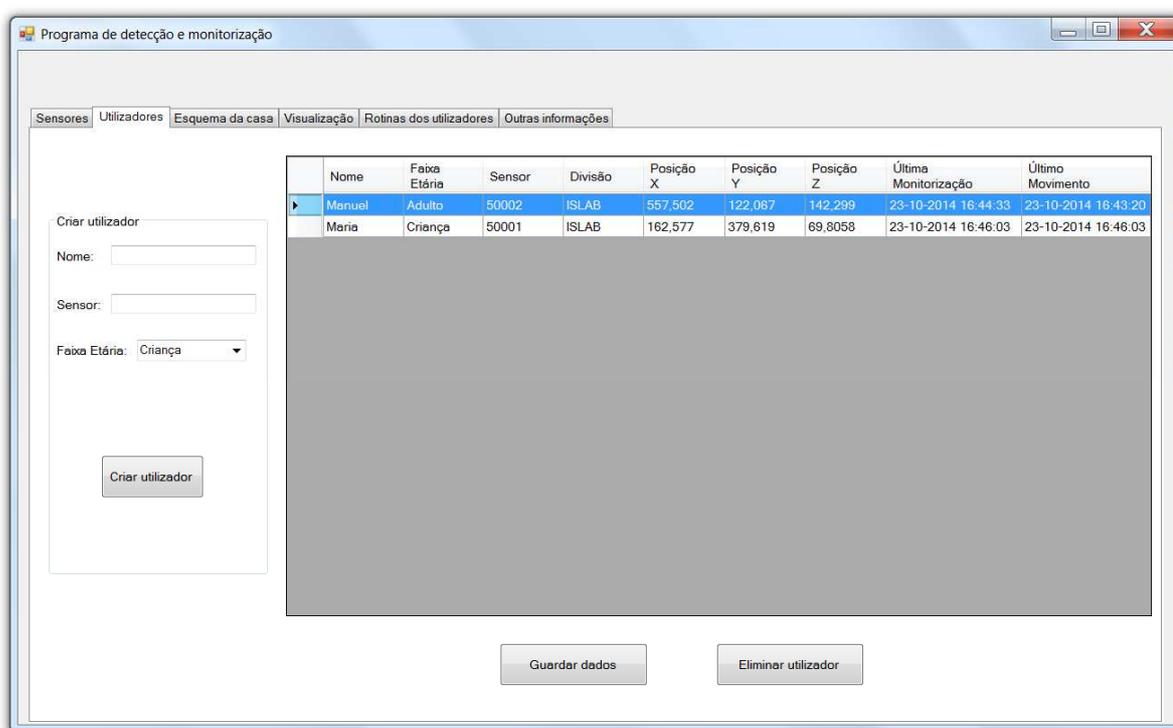


Figura 15 - Aplicação local dos utilizadores

A interface da estação de controlo segue os mesmos princípios da aplicação local, ou seja, informa o utilizador onde errou e impede a execução em caso de erro, e a informação é novamente organizada em separadores. A figura 16 apresenta um *screenshot* da estação de controlo.

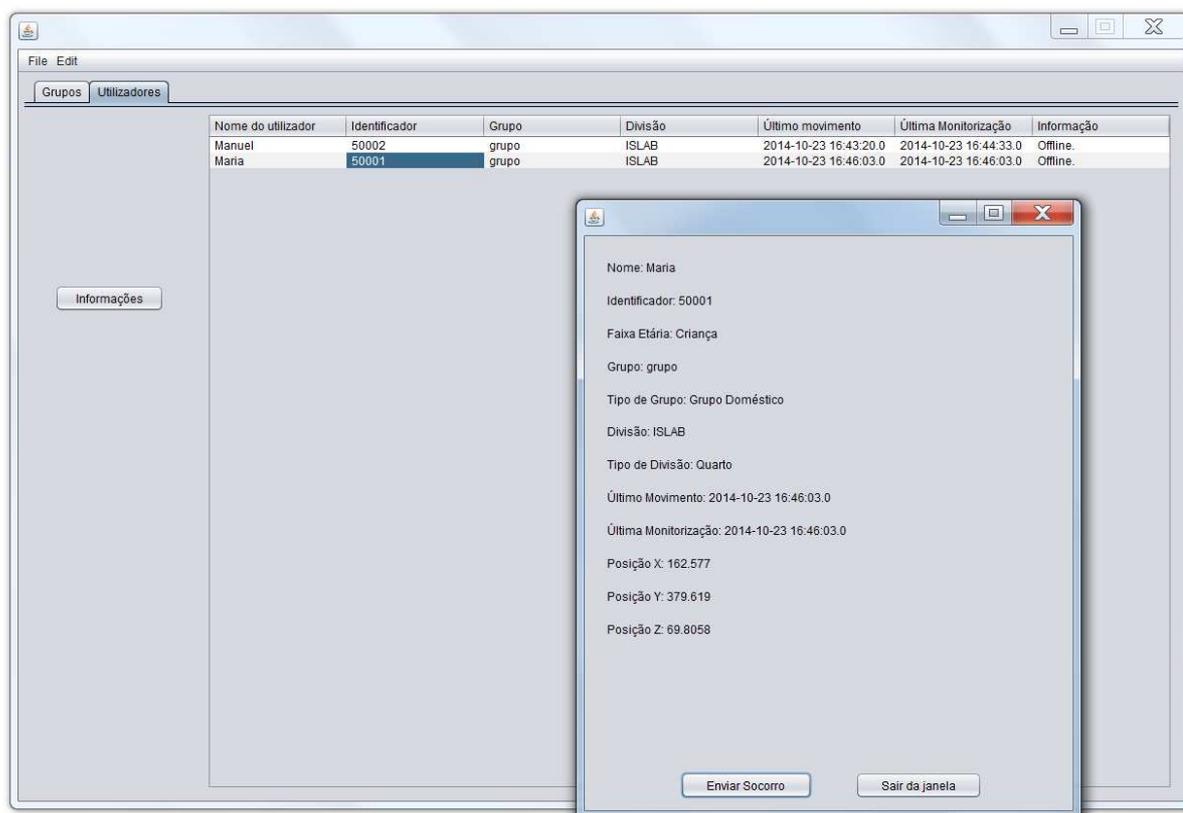


Figura 16 - Estação de controlo

Um aspeto importante a referir corresponde aos alertas variados em relação a uma situação de perigo. Para além das mensagens de *popup* que surgem sempre que o agente de monitorização identifica uma situação de perigo, a tabela que contem a informação dos utilizadores dentro do separador correspondente é atualizada de maneira a representar a realidade. É possível visualizar a informação de cada utilizador separadamente, com mais detalhe.

5.7. Dificuldades apresentadas

Durante o desenvolvimento do protótipo, foram encontrados alguns desafios relacionados com a impossibilidade de alteração do espaço onde se efetuaram os testes do

protótipo e com a habitual interferência de ZigBee com outras tecnologias, que afeta negativamente o desempenho.

5.7.1. Local onde se realizaram os testes

Os sensores utilizados para a recolha de informação são propriedade do Departamento de Informática da Universidade do Minho, estando associados ao Intelligent Systems Lab (ISLab). Não foi autorizada a utilização destes sensores fora do espaço do ISLab, logo o protótipo e todos os testes efetuados estão cingidos unicamente a este espaço, representado na figura 17.

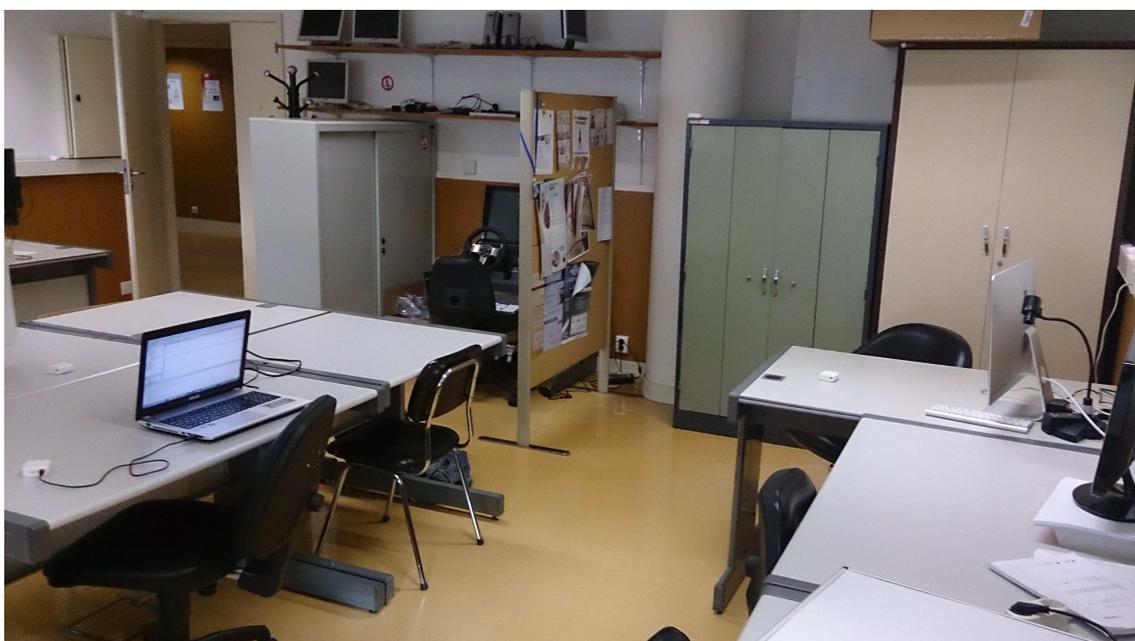


Figura 17 - Espaço onde decorreram os testes do sistema

No Departamento de Informática, existem inúmeras redes Wi-Fi e barreiras físicas, que afetam negativamente o desempenho dos sensores com ZigBee.

5.7.2. Interferência de ZigBee

Durante as experiências realizadas com os sensores, foi notada uma discrepância de valores entre as coordenadas reais e as coordenadas apresentadas pela aplicação. Estas diferenças não eram constantes, testes executados nas mesmas condições podiam dar origem a valores não justificados. Não é possível corrigir estes dados, pois eram provenientes diretamente dos sensores, sem qualquer tratamento. Logo, pensou-se tratar de algum problema ou anomalia a nível de hardware.

De facto, existe interferência entre as tecnologias ZigBee, Wi-Fi e Bluetooth já que operam na mesma banda de frequências (2.4 GHz), em paralelo com as bandas ISM, utilizadas para fins médicos, científicos e industriais em vez de telecomunicações. Isto deve-se à falta de licença em vários países para operar nesta banda de frequências (Pothuganti & Chitneti, 2014).

Cada pacote pode ser facilmente corrompido, devido a essa interferência na banda. É também de notar que esta banda é atenuada por corpos humanos (Smith, 2011).

As consequências da coexistência destas tecnologias são a interferência, colisão de pacotes e retransmissão destes. A perda de pacotes e a retransmissão levam a que os aparelhos com ZigBee percam mais rapidamente a bateria (Mardini, Khamayseh, Jaradatand, & Hijjawi, 2012).

A experiência de (Mardini, Khamayseh, Jaradatand, & Hijjawi, 2012) refere que, sem a existência e influência de quaisquer nodos Wi-Fi, o número de nodos ZigBee não influencia a perda de pacotes, no entanto origina um atraso na entrega dos mesmos conforme o número de nodos aumenta. Num outro teste elaborado pelos mesmos autores, concluiu-se que para um número fixo de nodos ZigBee, a taxa de entrega de pacotes diminui com o aumento do número de nodos Wi-Fi. O atraso na entrega dos pacotes não é afetado pelo aumento do número de nodos Wi-Fi. Os autores concluem que a interferência provocada pelas redes Wi-Fi têm um efeito adverso no desempenho das redes de nodos ZigBee.

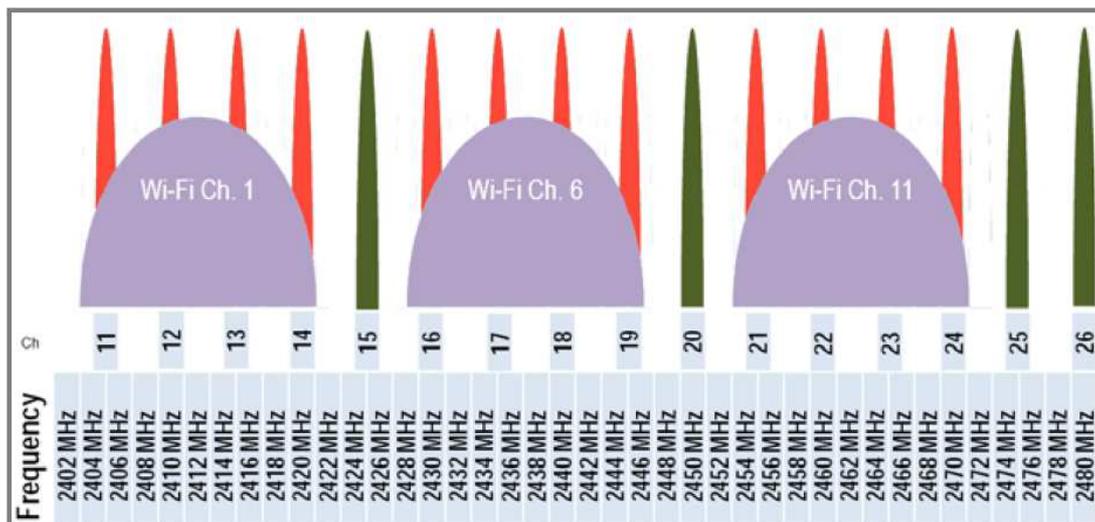


Figura 18 - Alocação dos canais de Wi-Fi e ZigBee, adaptado de (Smith, 2011)

O ZigBee é facilmente bloqueado com um ponto de acesso Wi-Fi e as redes devem ser cuidadosamente planeadas para evitar colocar as duas tecnologias juntas (Smith, 2011).

Cada canal de ZigBee tem uma largura de 2 MHz, no entanto o espaçamento e colocação dos canais de ZigBee implica que apenas 4 estão disponíveis na presença de configurações típicas de Wi-Fi (os canais 1, 6 e 11 estão definidos por omissão). A alocação dos canais é representada na figura 18. Devido à baixa taxa de transferência e inabilidade de implementar *hopping*, é muito provável que se percam os pacotes de ZigBee (Smith, 2011).

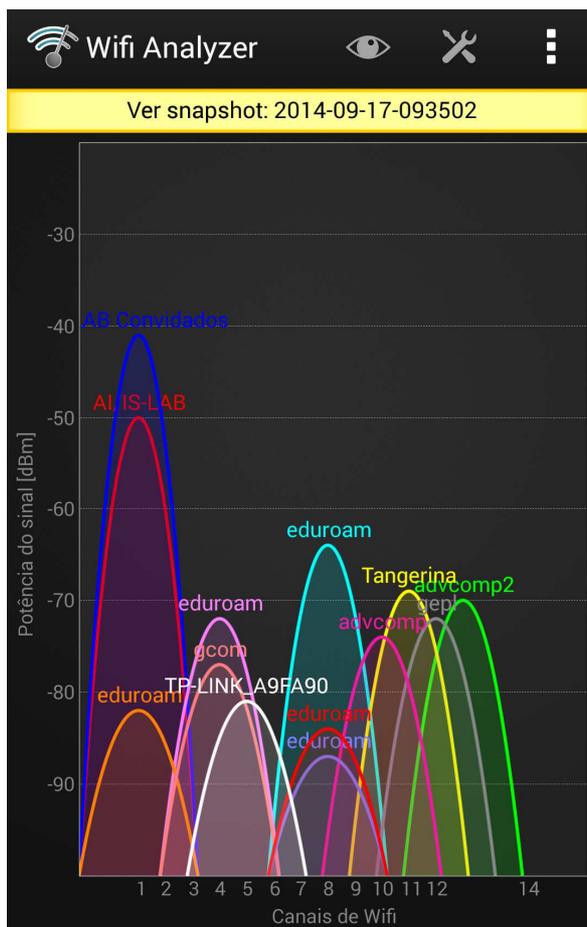


Figura 19 - Análise das redes Wi-Fi presentes no local onde se realizaram os testes do sistema, utilizando Wifi Analyzer

Os testes do protótipo decorreram no Intelligent Systems Lab e este espaço está carregado com várias redes Wi-Fi, comprovado pela figura 19, que corresponde a um *screenshot* de uma aplicação de análise de redes Wi-Fi tirado num dos momentos de maior atividade. A aplicação em questão é Wifi Analyzer, desenvolvida por farproc.

5.8. Síntese

Neste capítulo, foi apresentado o sistema de monitorização, através de uma explicação mais detalhada dos dois componentes, a estação de controlo e a aplicação local dos utilizadores. O maior desafio nesta fase correspondeu aos erros provenientes dos sensores, devido à interferência ZigBee e Wi-Fi.

É possível identificar períodos de movimento do utilizador ou justificar a ausência de deslocamento, através das rotinas ou regras gerais. Se não houver uma justificação para a falta de movimento, dada pelas rotinas ou regras gerais, são lançados alertas a partir da estação de controlo.

6. Análise de resultados

Para comprovar os erros de posições, foram colocados 6 sensores em posições distintas dentro do espaço monitorizado, que corresponde ao Intelligent Systems Lab. As instruções de colocação foram dadas pelo fornecedor e foi feito um esforço por segui-las, no entanto revelou-se impossível colocar um sensor *router* no teto. A alternativa seguida foi atribuir vários valores diferentes para cada sensor, relativos à coordenada Z, ou seja, colocar os sensores em alturas distintas. As posições, dadas em centímetros, para cada sensor fixo são as seguintes:

- Sensor 100: X=0, Y=0, Z=115;
- Sensor 102: X=550, Y=0, Z=115;
- Sensor 103: X=0, Y=634, Z=115;
- Sensor 104: X=592, Y=634, Z=115;
- Sensor 105: X=120, Y=397, Z=60;
- Sensor 107: X=580, Y=196, Z=162.

O posicionamento de alguns sensores é apresentado na figura 20.

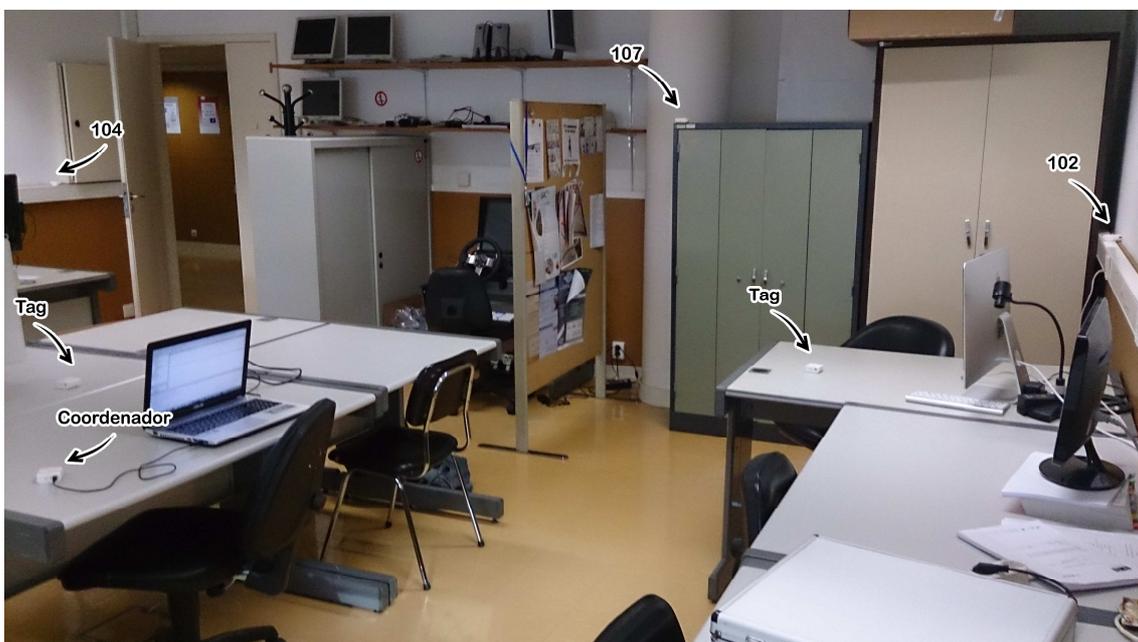


Figura 20 - Colocação de alguns sensores no espaço monitorizado

Foram medidas 2 posições reais e foram efetuados 4 testes para cada posição real, que correspondem ao teste sem filtro e um teste para cada filtro desenvolvido. As experiências tiveram a duração de 10 minutos cada, o que corresponde, em teoria, a 600 posições por experiência. Devido à quantidade de dados retirados dos sensores, apenas foi selecionado um excerto dos resultados, apresentados na tabela 2.

6.1. Experiência 1

Foi colocado um sensor *tag* no centro do espaço monitorizado, o que corresponde à posição X=323, Y=313 e Z=78. Para cada posição recolhida nos testes efetuados, foi calculada a distância euclidiana dessa posição à posição esperada. A fórmula seguida já foi apresentada na secção 5.4.1. Os dados apresentados na tabela 3 referem-se à média e desvio padrão das distâncias entre as posições recolhidas e a posição real, para cada filtro.

	Média (cm)	Desvio padrão (cm)
Sem filtro	197,2	13,3
Filtro da média	220,3	9,7
Filtro da esfera	241,4	9,2
Filtro da caixa	231,5	0

Tabela 3 - Dados obtidos a partir da experiência 1

Pela análise dos dados da tabela 3, apesar da utilização dos filtros contribuir para o aumento da distâncias entre as posições recolhidas e a posição real, o desvio padrão diminui, o que nos sugere que de facto os filtros contribuem para uma normalização da posição e melhor identificação de casos em que o utilizador está parado. Para além de ajudar na melhor identificação de falta de movimento do utilizador, os filtros não deixam de identificar as deslocações quando de facto elas existem.

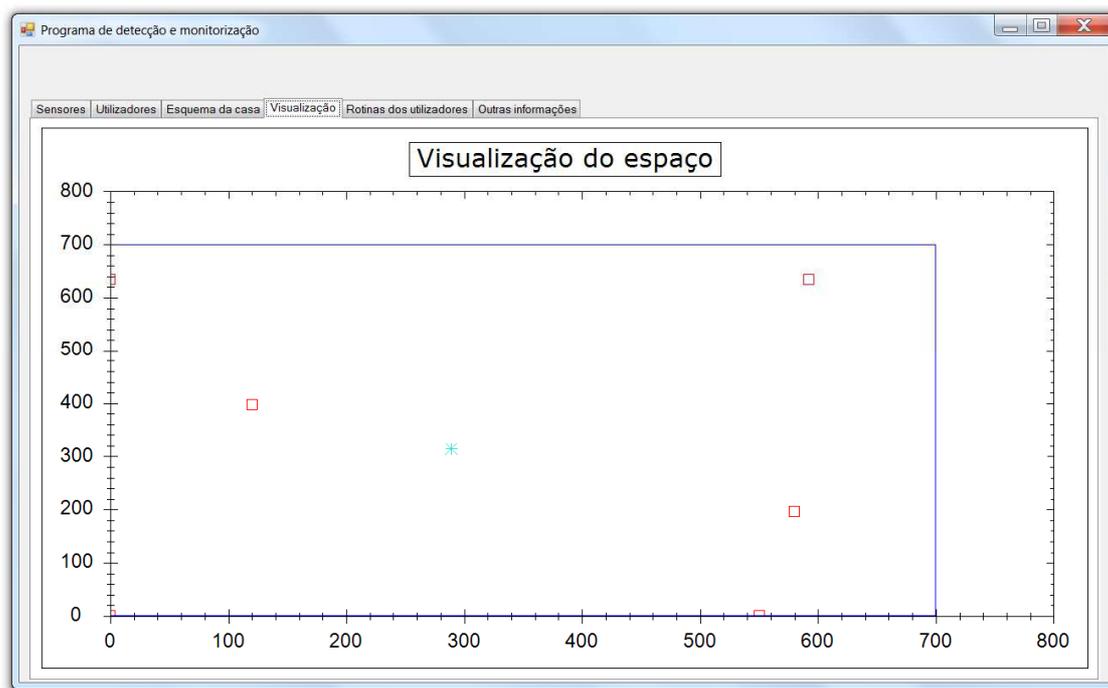


Figura 21 - Representação gráfica de uma posição aproximada da posição real a medir

Na figura 21, é possível associar os pontos vermelhos aos sensores fixos, enquanto que o ponto de cor azul claro corresponde ao sensor *tag*.

6.2. Experiência 2

Realizou-se uma experiência idêntica à anterior, no entanto colocou-se o sensor *tag* numa posição diferente para averiguar se a proximidade dos sensores router influenciava os erros do sensor quando este está parado.

O sensor *tag* foi colocado próximo do sensor 107, com as coordenadas $X=580$, $Y=186$ e $Z=162$. Seguiram-se os mesmos princípios usados na experiência anterior: foi calculada a distância euclidiana de cada posição recolhida à posição esperada, para cada filtro testado, através da equação 1, apresentada na secção 5.4.1. Os dados apresentados na tabela 4 referem-se à média e desvio padrão das distâncias entre as posições recolhidas e a posição real, para cada filtro.

	Média (cm)	Desvio padrão (cm)
Sem filtro	32,2	20,5
Filtro da média	51,5	2,6
Filtro da esfera	55,2	0
Filtro da caixa	55,2	0

Tabela 4 - Dados obtidos a partir da experiência 2

Através desta experiência, reafirma-se o que foi concluído anteriormente, na medida em que os filtros permitem identificar mais facilmente situações em que o utilizador está parado. É possível depois desta análise verificar também que os erros são diminuídos em função da maior proximidade do sensor *tag* a um sensor *router*.

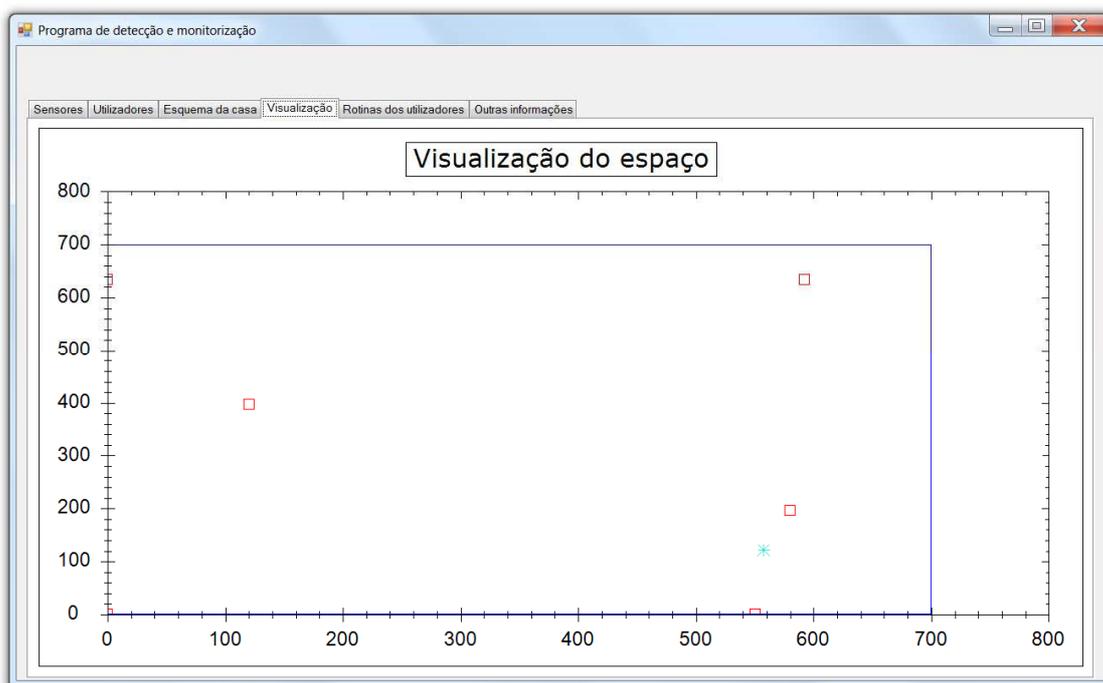


Figura 22 - Representação gráfica que traduz a experiência 2

Na figura 22, é possível verificar a curta distância do sensor *tag* e o sensor *router* mais próximo deste.

6.3. Síntese

Os filtros desenvolvidos minimizam os erros que ocorrem quando o utilizador está parado, no entanto não são suficientes para compensar as diferenças entre as posições recolhidas e as reais, como é comprovado pela experiência 1.

Os erros são atenuados pela proximidade de um sensor *tag* aos sensores *router*, sendo que quanto mais próximos estão, melhor será a precisão da posição recolhida. A diminuição das distâncias é verificada pela experiência 2.

7. Conclusão

Neste capítulo, é apresentada uma síntese do trabalho desenvolvido, mencionando o estado do objetivos planeados. São também incluídas propostas para trabalho futuro, no sentido de enriquecer e complementar o sistema de monitorização desenvolvido.

7.1. Síntese do trabalho realizado

Para o sistema de monitorização proposto, foram desenvolvidas duas aplicações, uma estação de controlo e uma aplicação local para os utilizadores. A monitorização é feita recorrendo a sensores com tecnologia ZigBee, ligados à aplicação local sendo que a estação de controlo irá determinar se os utilizadores se encontram numa situação de perigo.

Os objetivos principais, apresentados na secção 1.2, centram-se na monitorização contínua e remota do utilizador, emitindo alertas em tempo real caso seja necessário. A aplicação local recolhe as posições dos utilizadores em tempo real e estas são analisadas de minuto em minuto pela estação de controlo, notificando a entidade de saúde ou emergência para a falta de movimento do utilizador. Desta maneira, pode-se afirmar que o objetivos da monitorização contínua e alertas em tempo real foram cumpridos.

Relativamente ao fator remoto da monitorização, este não foi totalmente cumprido. A lógica por detrás do servidor não foi implementada pois o foco deste trabalho foi a criação do protótipo e testar as teorias propostas para a monitorização, como foi indicado na secção 5.2.

Os objetivos secundários que incluem a monitorização de várias pessoas no mesmo espaço e fornecer uma representação gráfica em tempo real foram atingidos. A monitorização de várias pessoas foi cumprida através da lógica de monitorização por detrás da recolha de informação proveniente dos sensores e a representação gráfica foi alcançada através da utilização dos componentes de *charting* da biblioteca ZedGraph, apresentada na secção 4.5.

7.2. Discussão do trabalho futuro

O sistema de monitorização ficou enquadrado nos objetivos, no entanto, ainda pode evoluir mais, considerando as propostas de trabalho futuro apresentadas de seguida.

O primeiro passo no sentido de evolução do sistema passaria pela forma de criação de rotinas. Atualmente, as rotinas são totalmente especificadas pelos utilizadores, necessitando que estes introduzam os dados associados. Em caso da rotina estar desatualizada ou errada, a remoção é também feita pelo utilizador. Propõe-se utilizar *data mining* para identificar e recolher informação dos utilizadores, relacionando as divisões com o tempo permanecido, com o objetivo de gerar rotinas e hábitos. Paralelamente, técnicas de análise de ritmos circadianos podiam ser consideradas, como foi analisado na secção 3.3, necessitando de um estudo prévio dada a sua complexidade.

A próxima evolução consistia em estudar outros tipos de sensores que possam ser enquadrados num sistema como o proposto. Como foi analisado na secção 5.7, os sensores utilizados apresentam erros no cálculo das posições dos utilizadores. Estes defeitos podiam ser atenuados pela utilização complementar de outro tipo de sensores, como é o caso do projeto analisado em 3.5. A escolha teria vários fatores em conta, já que diferentes tipos de sensores são usados para fins diferentes. Um exemplo seria adicionar acelerómetros, com o objetivo de identificar possíveis quedas do utilizador.

A última proposta de trabalho futuro está relacionada com os alertas desencadeados pela estação de controlo. O sistema reconhece em que divisão do espaço monitorizado o utilizador se encontra no momento em que deixa de ocorrer movimento. Assim, seria possível acionar alertas distintos de acordo com essa informação. Ficam algumas ideias para os alertas em função do ambiente:

- Chamadas telefónicas;
- Acender as luzes, caso se a falta de movimento ocorra à noite;
- Acionar alarme sonoro no espaço a monitorizar;
- Fechar torneiras ou cortar o abastecimento de água;
- Ligar a um contacto.

Muitas das sugestões encaminham-se para soluções de robótica ou até mesmo de *ambient assisted living*.

Referências

- Albahari, J., & Albahari, B. (2012). *C# 5.0 in a Nutshell* (5th ed.). O'Reilly Media Inc.,.
- Appcelerator Inc. (2012). Native vs. HTML5 Mobile Web Development: Which option is best?
- Azumio Inc. (2012). *Stress Check / Azumio*. Obtido em 10 de outubro de 2014, de <http://www.azumio.com/apps/stress-check/index.html>
- Azumio Inc. (2013). *Azumio / The mobile health revolution has begun*. Obtido em 10 de outubro de 2014, de <http://www.azumio.com/index.html>
- Bellifemine, F., Caire, G., & Greenwood, D. (2007). *Developing Multi-Agent Systems with JADE*. John Wiley & Sons Inc.
- Bluetooth SIG, Inc. (2014). *Basics / Bluetooth Technology Website*. Obtido em 12 de outubro de 2014, de <http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx>
- Boulos, M. N., Rocha, A., Martins, Â., Vicente, M. E., Bolz, A., Feld, R., et al. (2007). CAALYX: a new generation of location-based services in healthcare. *International Journal of Health Geographics*.
- Champion, J. (6 de junho de 2007). *A flexible charting library for .NET - CodeProject*. Obtido em 19 de outubro de 2014, de <http://www.codeproject.com/Articles/5431/A-flexible-charting-library-for-NET>
- Cook, D. J., Augusto, J. C., & Jakkula, V. R. (2009). Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*, 5, 277-298.
- Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. John Wiley & Sons Ltd.
- Dyer, R. J. (2008). *MySQL in a Nutshell* (2nd ed.). O'Reilly Media Inc.
- Fernández, L., Blasco, J. M., Hernández, J. F., & Montón, E. (2009). Wireless Sensor Networks in Ambient Intelligence. *Book Wireless Sensor Networks in Ambient Intelligence*.

Fitbit Inc. (1). (2014). *Fitbit® Flex™*. Obtido em 10 de outubro de 2014, de <http://www.fitbit.com/flex>

Fitbit Inc. (2). (2014). *Fitbit® Official Site: Flex, One and Zip Wireless Activity and Sleep Trackers*. Obtido em 10 de outubro de 2014, de <http://www.fitbit.com/>

Flanagan, D. (2005). *Java in a Nutshell* (5th ed.). O'Reilly Media Inc.

Gast, M. S. (2005). *802.11 Wireless Networks: The Definite Guide*. Estados Unidos da América: O'Reilly Media, Inc.

Instituto Nacional de Estatística (1). (2013). Obtido em novembro de 2013, de <http://www.ine.pt/investigadores/Quadros/Q102.zip>

Instituto Nacional de Estatística (2). (2013). Obtido em novembro de 2013, de http://www.ine.pt/investigadores/Quadros/Censos2011_%20Idosos_%20FREG.zip

Instituto Nacional de Estatística (3). (20 de novembro de 2012). *Portal do Instituto Nacional de Estatística*. Obtido em 26 de outubro de 2014, de http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0005978&contexto=bd&selTab=tab2

Instituto Nacional de Estatística (4). (16 de junho de 2014). *Portal do Instituto Nacional de Estatística*. Obtido em 26 de outubro de 2014, de http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0001276&contexto=bd&selTab=tab2

Kaur, H., & Sharma, S. (2013). A Comparative Study of Wireless Technologies: Zigbee, Bluetooth LE, EnOcean, Wavenis, Insteon and UWB. *Proceedings of the International Conference on Recent Trends In Computing and Communication Engineering* (pp. 273-276). Hamirpur, Índia: Institute of Research Engineers and Doctors.

Lin, H.-T., Hsieh, Y.-J., Chen, M.-C., & Chang, W.-R. (2009). ActionView: a movement-analysis ambulatory monitor in elderly homecare systems. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems* (pp. 3098-3101). Taipei: IEEE.

Lusa. (28 de janeiro de 2012). *Descobertos mais dois idosos mortos em casa - Portugal - DN*.

Obtido em 5 de outubro de 2014, de http://www.dn.pt/inicio/portugal/interior.aspx?content_id=2270595&page=-1

Mardini, W., Khamayseh, Y., Jaradatand, R., & Hijjawi, R. (2012). Interference Problem between ZigBee and WiFi. *2012 IACSIT Hong Kong Conferences* (pp. 133-138). Singapura: IACSIT Press.

Nebusens S. L. (1). (2014). *Wireless Sensor Networks (WSN) and Real-Time Locating Systems (RTLS) - Benefits*. Obtido em 19 de outubro de 2014, de <http://www.nebusens.com/index.php/en/products/n-core/benefits>

Nebusens S. L. (2). (2014). *Wireless Sensor Networks (WSN) and Real-Time Locating Systems (RTLS) - Nebusens - Products - n-Core*. Obtido em 19 de outubro de 2014, de <http://www.nebusens.com/index.php/en/products/n-core>

Nebusens, S. L. (3). (2014). Obtido em 19 de outubro de 2014, de http://resources.nebusens.com/n-core/Datasheet_n-Core_Sirius-B_EN.pdf

Nebusens, S. L. (4). (2014). Obtido em 19 de outubro de 2014, de http://resources.nebusens.com/n-core/Datasheet_n-Core_Sirius-D_EN.pdf

Paiva, C. (1 de fevereiro de 2012). *Quase três mil idosos encontrados mortos em casa ao longo de 2011 - Renascença*. Obtido em novembro de 2013, de http://rr.sapo.pt/informacao_detalhe.aspx?fid=25&did=48980

Pothuganti, K., & Chitneti, A. (2014). A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. *Advance in Electronic and Electric Engineering*, 4(6), 655-662.

Red Hat, Inc. (16 de julho de 2014). *HIBERNATE - Relational Persistence for Idiomatic Java*. Obtido em 19 de outubro de 2014, de <http://docs.jboss.org/hibernate/orm/4.3/manual/en-US/html/>

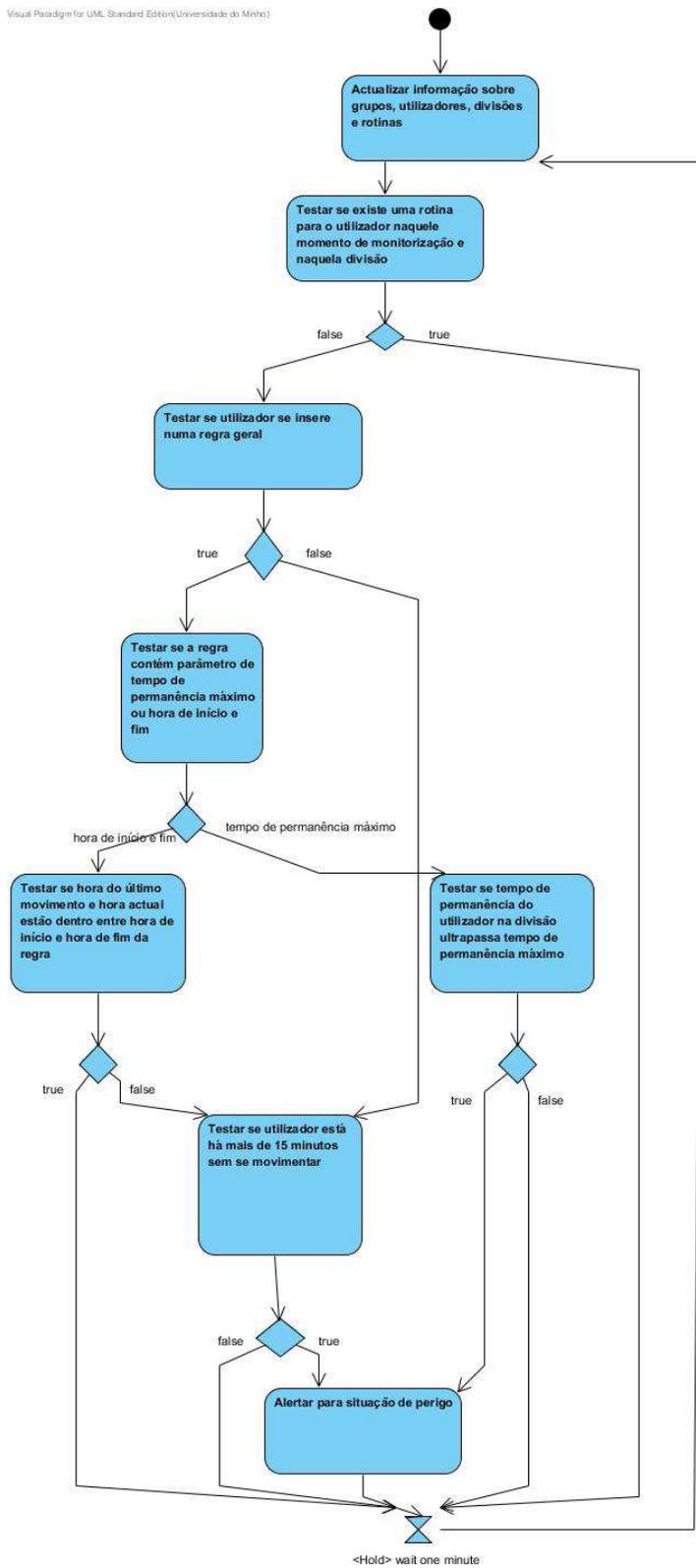
Sfichi, S., Graur, A., Popa, V., Finis, I., & Petrariu, A.-I. (2012). An Original Movement Monitoring System for the Elderly using a WSN protocol. *The 11th International Conference on*

- Development and Application Systems* (pp. 91-94). Suceava, Roménia: Stefan cel Mare University of Suceava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science.
- Sharma, S., Kumar, D., & Kishore, K. (2013). Wireless Sensor Networks - A Review on Topologies and Node Architecture. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 1(2), 19-25.
- Smith, P. (24 de 5 de 2011). Comparisons between Low Power Wireless Technologies.
- Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- Somekh, B. (2006). *Action Research: a Methodology for Change and Development*. Nova Iorque, Estados Unidos da América: Open University Press.
- The Joda project. (2014). *Joda-Time - Java date and time API - Home*. Obtido em 25 de setembro de 2014, de <http://www.joda.org/joda-time/>
- Townsend, C., & Arms, S. (2005). Wireless Sensor Networks: Principles and Applications. In J. S. Wilson, *Sensor Technology Handbook* (pp. 439-449). Oxford: Elsevier Inc.
- True-Kare™ (1). (2014). *Início*. Obtido em 22 de outubro de 2014, de <https://www.true-kare.com/#!home>
- True-Kare™ (2). (2014). *Serviço*. Obtido em 22 de outubro de 2014, de <https://www.true-kare.com/#!service>
- Virone, G., Wood, A., Selavo, L., Cao, Q., Fang, L., Doan, T., et al. (2006). An Advanced Wireless Sensor Network for Health Monitoring. *Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare (D2H2)*, 2-4.
- Weber, W., Rabaey, J. M., & Aarts, E. H. (2005). *Ambient Intelligence*. Springer.
- Withings (1). (2014). *Home Page*. Obtido em 10 de outubro de 2014, de <http://www.withings.com/eu/>
- Withings (2). (2014). *Withings Store*. Obtido em 10 de outubro de 2014, de <http://www.withings.com/eu/withings-aura.html>

Wood, A., Virone, G., Doan, T., Cao, Q., Selavo, L., Wu, Y., et al. (2006). *ALARM-NET: Wireless Sensor Networks for Assisted-Living and Residential Monitoring*. Department of Computer Science, University of Virginia.

Anexo A

Visual Paradigm for UML, Standard Edition (Universidade do Minho)



Anexo B

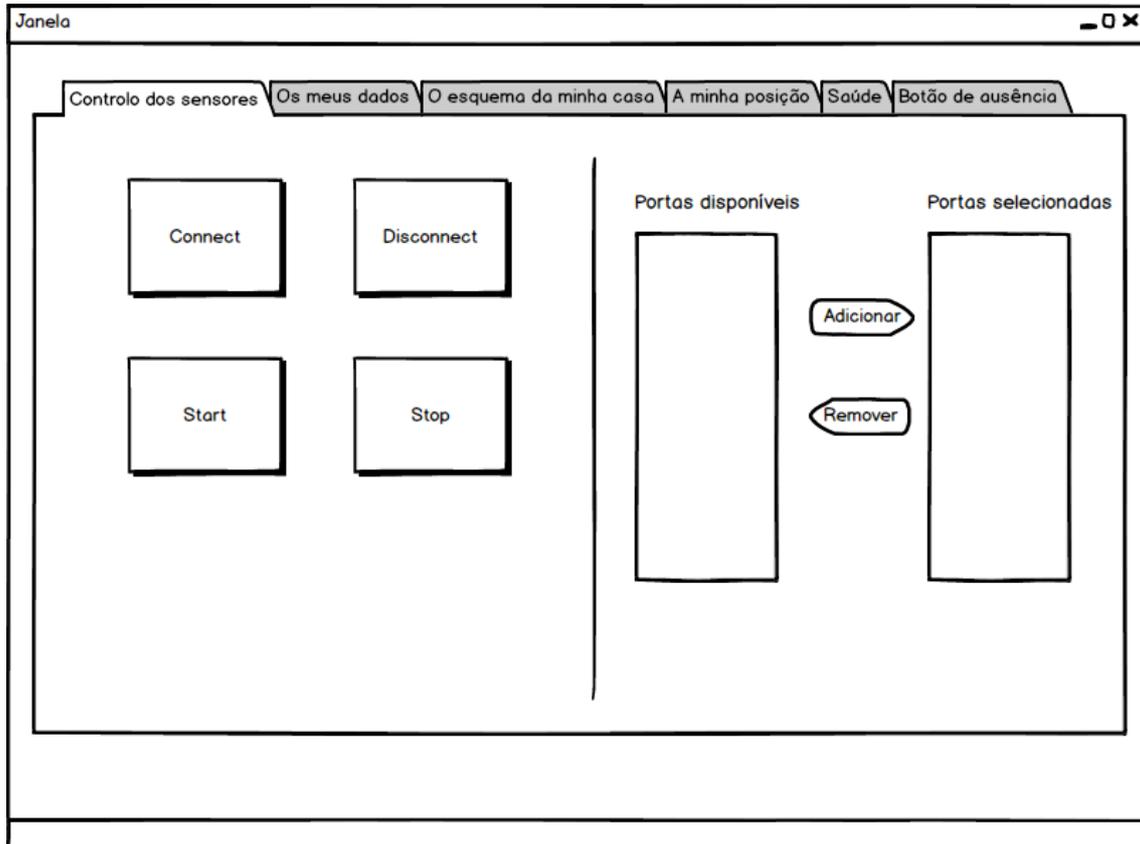


Figura 23 - Mockup 1 da estação local dos utilizadores

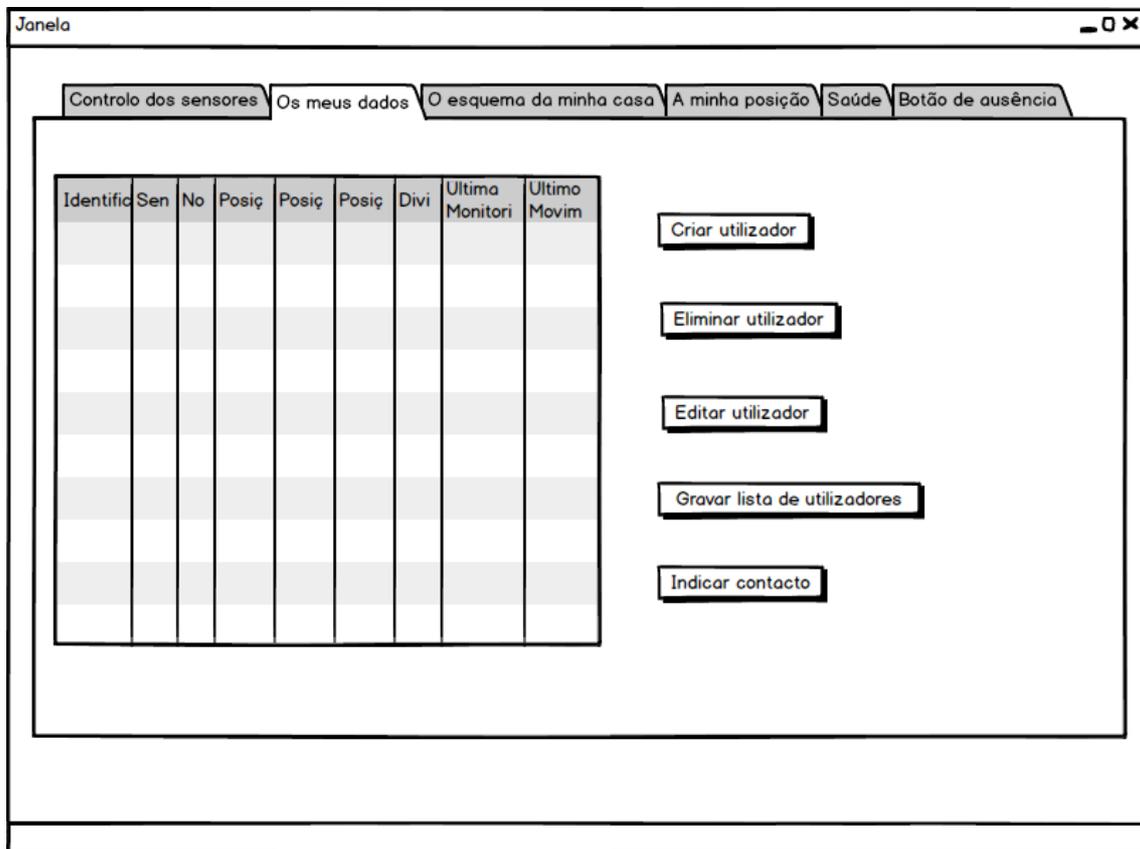


Figura 24 - Mockup 2 da aplicação local dos utilizadores

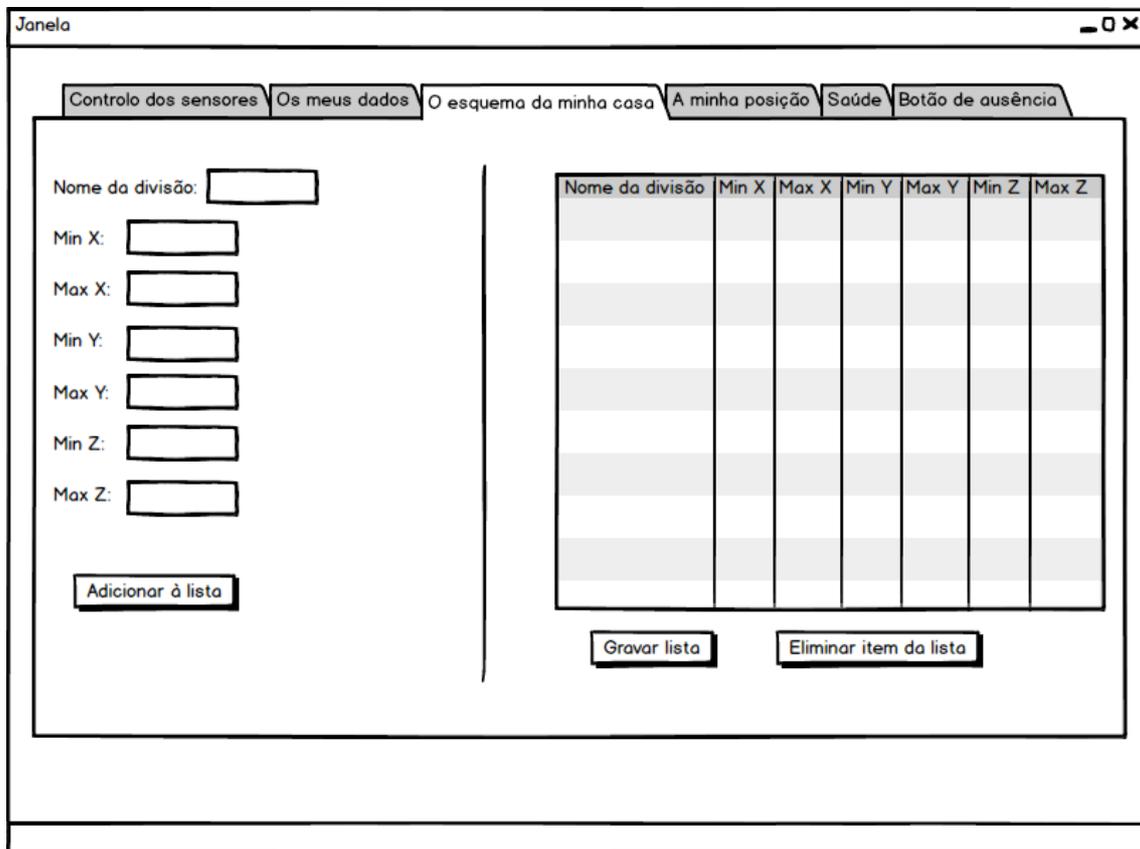


Figura 25 - Mockup 3 da aplicação local dos utilizadores

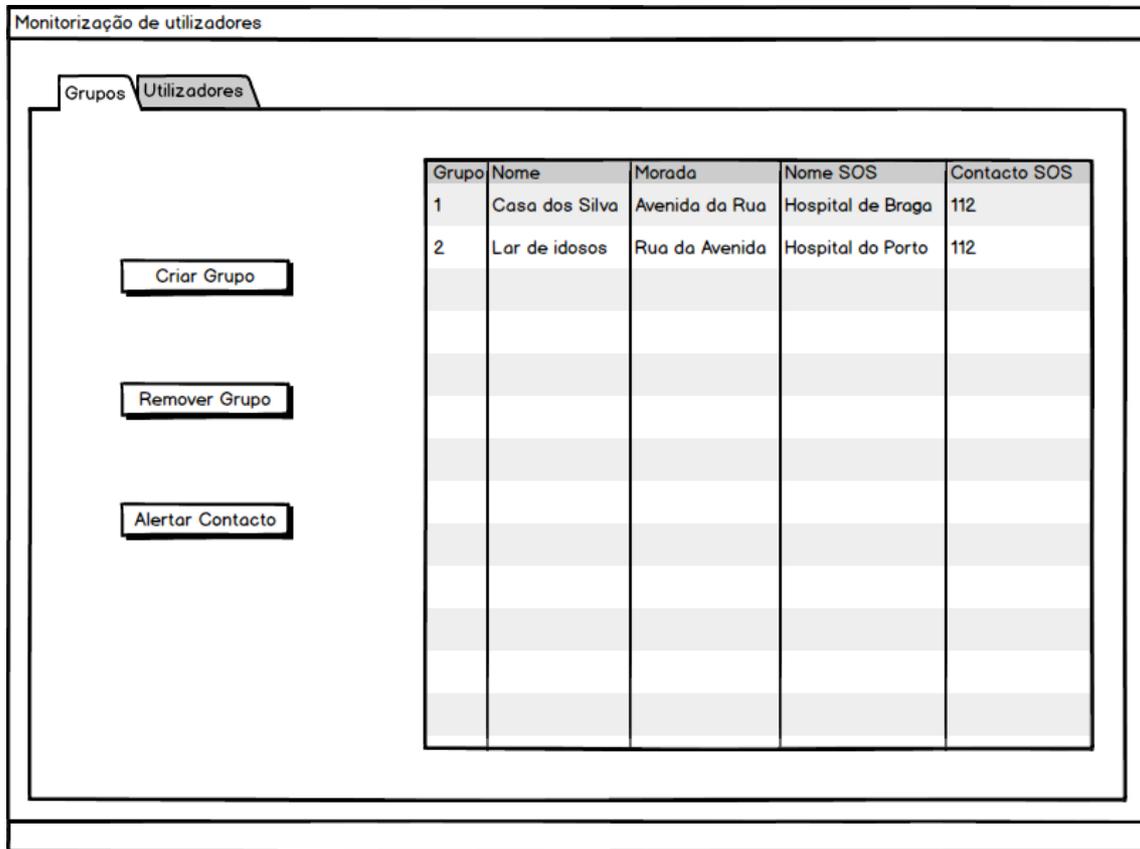


Figura 26 - Mockup 1 da estação de controlo

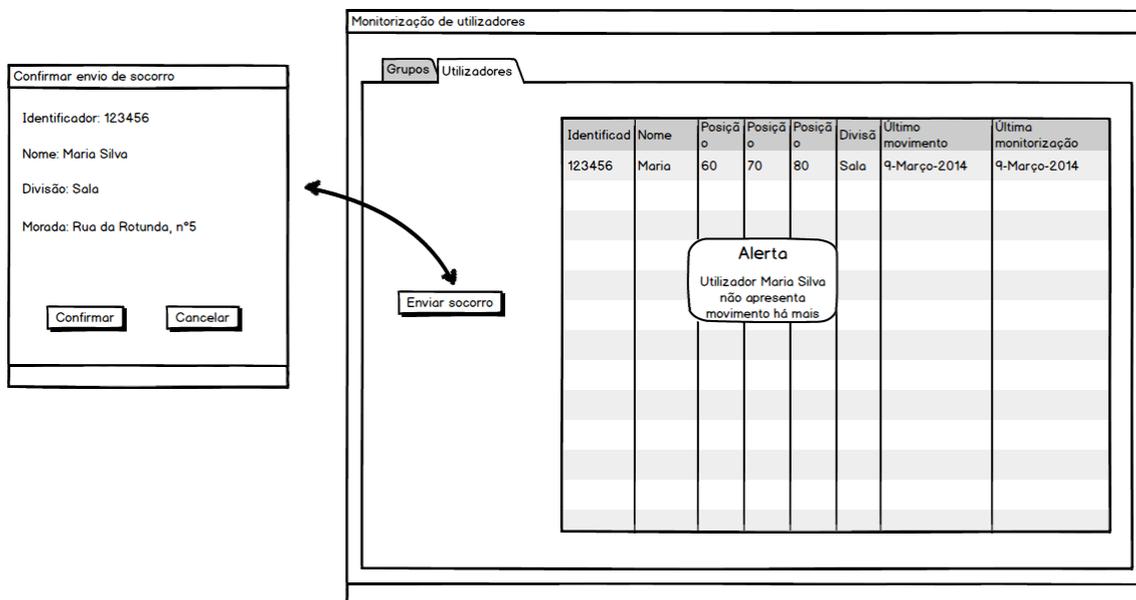


Figura 27 - Mockup 2 da aplicação de controlo