

Mestrado em Engenharia Informática
Tese de Mestrado
Relatório Final

Proposta e avaliação de mecanismos de localização em Redes de Sensores Sem Fios para ambientes críticos

André Filipe de Jesus Pinto

afpinto@student.dei.uc.pt

Orientador:

Prof. Doutor Jorge Miguel Sá Silva

Coimbra, 11 de Julho de 2012



FCTUC DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA INFORMÁTICA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Agradecimentos

Este trabalho é a materialização de um percurso composto por várias etapas, cada qual com as suas exigências particulares e, como em qualquer outro desafio, apenas conseguem ser superadas com a determinação e empenho, não só individual, mas de um conjunto de pessoas que integra esta “aventura”.

Assim, agradeço ao Prof. Jorge Sá Silva, pela orientação deste trabalho e sobretudo pelos momentos de reflexão conjunta, de questionamento, de chamadas de alerta e de reorientação para o caminho traçado. O seu espírito crítico contribuiu significativamente para a qualidade deste trabalho.

Destaco também os meus colegas de projecto: Thanh-Dien Tran, que sempre que necessário esteve disponível para partilhar conhecimento, tendo contribuído com o seu notável *know-how* para o esclarecimento de interrogações que iam surgindo ao longo de todo o percurso, não podendo deixar de realçar o seu papel imprescindível, tanto na realização da plataforma Eneida, como na ligação estabelecida entre a empresa e os restantes elementos do projecto; Duarte Raposo e David Nunes, parceiros fundamentais na construção da plataforma SocialSense, e elementos de indubitável mais-valia em momentos de reflexão e no delinear das melhores estratégias para tornar a plataforma mais funcional.

A título pessoal, é inevitável mencionar os meus pais, pilares fundamentais e principais responsáveis por ter alcançado esta meta académica.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha namorada, Dina Cruz, pelo esforço, dedicação e compreensão prestados ao longo deste trabalho.

Obrigado a todos pelo papel fundamental que desempenharam, cada um à sua maneira, no alcance desta etapa!

Resumo

As exigências das sociedades contemporâneas respeitantes, tanto à melhor rentabilização temporal e de desempenho, como a um controlo em tempo real do maior número de variáveis possível, conduz ao desenvolvimento de plataformas informáticas que respondam de forma adequada às necessidades identificadas por empresas, instituições, etc.

É neste contexto que surge o presente trabalho, tendo como foco de análise fundamental a proposta e avaliação de mecanismos de localização em redes de sensores sem fios.

É com este propósito que foram desenvolvidas duas plataformas com características distintas, pretendendo uma delas ser aplicada em ambientes fechados (*indoor*) e num contexto de cariz social – a plataforma SocialSense - e a outra em espaços exteriores (*outdoor*) de âmbito empresarial – a plataforma Eneida.

A utilização destas plataformas permite obter uma panóplia de informação, de acordo com o tipo de sensores utilizados, tal como temperatura, humidade e movimento, conseguindo, desta forma, um controlo mais detalhado do que se pretenda monitorizar (pessoas, objectos, máquinas, entre outras variáveis) e uma resposta mais eficaz a partir dos dados adquiridos.

Palavras-chave: *IEEE 802.15.4, RSSI, Sistemas de Localização, Monitorização, Trilateração, Plataforma SocialSense, Plataforma Eneida*

Conteúdo

| | |
|--|------------|
| Agradecimentos | i |
| Resumo | iii |
| Lista de Figuras | vii |
| Lista de Tabelas | ix |
| Glossário | xi |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Contextualização | 1 |
| 1.2 Motivação | 3 |
| 1.3 Objectivos | 4 |
| 1.4 Plataformas | 4 |
| 1.4.1 Plataforma SocialSense | 4 |
| 1.4.2 Plataforma Eneida | 7 |
| 1.5 Metodologia | 8 |
| 1.6 Estrutura do relatório | 9 |
| 2 Estado da arte | 11 |
| 2.1 Tipos de representação | 12 |
| 2.2 Tipos de medição | 13 |
| 2.3 Tipos de infraestrutura | 15 |
| 2.4 Técnicas de localização | 17 |
| 2.4.1 Proximidade | 17 |
| 2.4.2 Trilateração | 17 |
| 2.4.3 Lateração Hiperbólica | 19 |
| 2.4.4 Triangulação | 20 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4.5 | Impressão digital | 21 |
| 2.4.6 | Navegação Estimada | 22 |
| 3 | Sistema de localização implementado | 23 |
| 3.1 | Sistema de localização base | 24 |
| 3.2 | Método dos mínimos quadrados não lineares | 25 |
| 3.3 | Implementação | 27 |
| 4 | Arquitecturas | 29 |
| 4.1 | Arquitetura LCTSense | 29 |
| 4.2 | Arquitetura Eneida | 44 |
| 5 | Aplicação SocialSense | 47 |
| 5.1 | Testes realizados | 52 |
| 6 | Testes realizados e resultados obtidos | 53 |
| 7 | Conclusão | 65 |
| | Referências Bibliográficas | 68 |
| | Apêndice A Planeamento do projecto | 71 |
| | Apêndice B Candidaturas Sapo.Labs | 75 |
| B.1 | Primeira candidatura | 76 |
| B.2 | Segunda candidatura | 89 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Exemplo da trilateração a duas dimensões (2D) | 18 |
| 2.2 | Tipos de erro na trilateração | 19 |
| 2.3 | Exemplo da Lateração Hiperbólica a duas dimensões (2D) . . | 20 |
| 2.4 | Exemplo da triangulação a duas dimensões (2D) | 21 |
| 2.5 | Exemplo da navegação estimada a duas dimensões (2D) | 22 |
| 4.1 | Representação da calibração de A | 40 |
| 4.2 | Representação da calibração de n | 41 |
| 4.3 | Arquitectura SocialSense | 43 |
| 4.4 | Arquitectura Eneida | 45 |
| 5.1 | Acesso à aplicação SocialSense no Facebook. | 48 |
| 5.2 | Aplicação SocialSense. | 48 |
| 5.3 | Interface da funcionalidade actividade. | 50 |
| 5.4 | Interface da funcionalidade vídeo-chamada. | 51 |
| 5.5 | Interface da funcionalidade Alertas. | 52 |
| 6.1 | Relação Received Signal Strength Indicator (RSSI) - Distância ao longo de 60 metros | 54 |
| 6.2 | Resultado obtidos nos testes do método de conversão RSSI \rightarrow distância | 55 |
| 6.3 | Cenário de simulação | 57 |
| 6.4 | Resultados obtidos no sistema linear com distâncias precisas . | 58 |
| 6.5 | Resultados obtidos no sistema não linear com distâncias precisas | 58 |
| 6.6 | Representação dos resultados obtidos nos diferentes tipos de imprecisão para o sistema de localização linear. | 59 |
| 6.7 | Representação dos resultados obtidos nos diferentes tipos de imprecisão para o sistema de localização não linear. | 60 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6.8 | Representação do cenário de testes e dos resultados obtidos . . | 62 |
| 6.9 | Representação do cenário Eneida. | 63 |
| A.1 | Planeamento estimado | 72 |
| A.2 | Planeamento efectivo | 73 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Coeficientes de conversão da temperatura (VDD) | 36 |
| 4.2 | Coeficientes de conversão da temperatura (SO_T) | 36 |
| 4.3 | Coeficientes de conversão da humidade linear (SO_{RH}) | 37 |
| 4.4 | Coeficientes de conversão da humidade real (SO_{RH}) | 37 |
| 4.5 | Resultados obtidos na calibração de A | 40 |
| 4.6 | Resultados obtidos na calibração de n | 41 |
| 6.1 | Coordenada x,y,z do receptores e respectiva distância (precisa) ao emissor. | 56 |
| 6.2 | Imprecisões obtidas de acordo com o tipo. | 58 |
| 6.3 | Valores de distância com a adição/subtracção da imprecisão. . | 59 |
| 6.4 | Resultados obtidos nos diferentes tipos de imprecisão para o sistema de localização linear. | 60 |
| 6.5 | Resultados obtidos nos diferentes tipos de imprecisão para o sistema de localização não linear. | 60 |
| 6.6 | Posição dos receptores no cenário de testes. | 61 |
| 6.7 | Resultados, em metros, obtidos nos métodos da arquitectura Eneida | 64 |

Glossário

AoA Angle of Arrival. 13, 14, 18, 20

API Application programming interface. 34, 47

GPS Global Positioning System. 3, 6, 12, 16, 22, 30

IPN Instituto Pedro Nunes. 7, 12, 61

LQI Link Quality Indicator. 28, 32, 37, 38

RSSF Redes de Sensores Sem Fios. 2–4, 8, 13, 32

RSSI Received Signal Strength Indicator. vii, 13–15, 18, 23–25, 28, 30, 32, 34, 37–40, 51–54, 59, 60, 64

TDoA Time Difference of Arrival. 13–15, 18

ToA Time of Arrival. 13–15, 18

ToF Time of Flight. 13

USB Universal Serial Bus. 32

VPN Virtual Private Network. 43

WSNs Wireless Sensor Networks. 2

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

A localização à distância de pessoas e/ou objectos em determinado espaço físico assume, nas sociedades actuais, uma importância relevante, pois possibilita a obtenção de maior conhecimento e controlo sem ser necessário, para tal, a presença física de quem possui a responsabilidade de monitorizar.

Este tipo de localização, que pode ser utilizado em contextos diversificados (p.e., em meios empresariais, sociais), permite um controlo mais eficaz do que se pretende monitorizar, dado que em tempo real se consegue ter uma visão global da área alvo de monitorização e intervir de imediato no caso de verificação de situações anormais. Consegue-se, assim, um tempo de reacção a imprevistos mais diminuto, e uma gestão e intervenção mais rápida e completa, reflectindo-se na melhoria significativa do desempenho e dos resultados das empresas/instituições.

A poupança e rentabilização de tempo e recursos são cada vez mais requisitos valorizados, assumindo as novas tecnologias (e a utilização que se faz delas) um papel fundamental na aquisição de maior conhecimento e de melhores resultados.

Nos últimos anos tem-se assistido à grande expansão tecnológica no que se refere à utilização de mecanismos (plataformas) que permitam monitorizar e, por sua vez, localizar objectos/pessoas. É o caso das Redes de Sensores Sem Fios (RSSF) (*Wireless Sensor Networks (WSNs)*), cuja utilização se revela atractiva devido às diversas potencialidades que apresentam, nomeadamente (i) a sua implantação rápida, fácil e de baixo custo, uma vez que os sensores já possuem um conjunto de recursos integrados (p.e., sensor de temperatura, sensor de humidade e rádio transmissor IEEE 802.15.4) que se adaptam a múltiplos cenários, podendo-lhes ser adicionados outros componentes de acordo com a aplicação em causa (p.e., a adição de um barómetro digital ou de um sensor de luminosidade); (ii) e fácil capacidade de adaptabilidade, pois possibilita uma programação de acordo com as necessidades particulares que o utilizador lhe pretenda atribuir.

É neste contexto que surge o presente trabalho, incidindo o seu foco sobre a proposta e avaliação de mecanismos de localização em RSSF em diferentes ambientes.

Apesar de existirem variados sistemas de localização, poucos se destinam a ambientes críticos, entendendo-se por ambiente crítico qualquer espaço físico no qual se possam verificar situações que podem vir a pôr em causa a segurança de algo/alguém ou ambientes onde existe grande quantidade de interferências/ruído. De destacar, que os sensores utilizados neste trabalho, permitem obter informação como a temperatura, humidade e movimento (aceleração) conseguindo, desta forma, uma monitorização mais detalhada da pessoa e/ou objecto a monitorizar. Podemos verificar esta situação através do seguinte exemplo: um trabalhador (alvo de monitorização) de uma empresa encontra-se num espaço fechado, caracterizado por uma elevada concentração de gases tóxicos, e os seus sensores de aceleração indicam pouco movimento. Esta situação poderá gerar um estado de alerta, podendo-se associar a um desmaio, e desencadear uma intervenção imediata que atenuie os riscos relacionados.

1.2 Motivação

Os motivos presentes para a realização deste projecto são variados e relacionam-se com múltiplos aspectos.

Um deles prende-se com o potencial de crescimento que a área de estudo e investigação dedicada à rede de sensores sem fios apresenta. Hoje em dia, o controlo de determinadas variáveis, bem como a localização de recursos (humanos, materiais) é crucial para a gestão, tanto de processos empresariais, como de aspectos que fazem parte do quotidiano dos indivíduos, perspectivando-se uma grande abrangência no que diz respeito à aplicação de variáveis de monitorização.

Para uma melhor percepção da sua aplicabilidade, destacamos aqui o exemplo de uma empresa que se dedica à gestão de transportes de mercadorias e as mais-valias que poderá obter no caso de utilizar um sistema de localização. As vantagens relacionam-se com uma melhor capacidade de gestão dos seus veículos, uma vez que através de mecanismos de localização como o *Global Positioning System (GPS)*, conseguem visualizar em tempo real a posição dos seus veículos e, deste modo, analisar, p.e., se existiram desvios ao percurso definido, se os horários estão a ser cumpridos, etc., e actuar de acordo com as informações obtidas.

Outro factor considerado pertinente para a elaboração deste projecto, deve-se às potencialidades que a utilização de ferramentas tecnológicas trazem para a vida diária das pessoas, acarretando eventuais benefícios para a promoção e consolidação de relações interpessoais evitando, p.e., a ocorrência de situações preocupantes como o isolamento social.

A importância do factor tecnológico é comprovada pelo crescente número de utilizadores que fazem uso das redes sociais como solução para estabelecer conhecimento com novas pessoas ou manter contacto com aquelas que já fazem parte do seu núcleo de familiares/amigos/conhecidos.

Este é o leque de motivações que conduziu à definição dos objectivos do presente projecto.

1.3 Objectivos

A elaboração deste trabalho tem como objectivo principal estudar técnicas de suporte à localização de pessoas e/ou objectos, baseada em RSSF, que abranja dois tipos de cenários: ambientes fechados (*indoor*) e ambientes exteriores (*outdoor*).

Especificamente, tem-se por finalidade avaliar mecanismos e técnicas de localização já existentes (na maioria das vezes para tecnologias que não as RSSF), como também a sua eficiência, e a partir da análise das suas potencialidades e fragilidades determinar os mais indicados, tendo em conta o que se pretende desenvolver nos casos em estudo.

Feita a selecção dos métodos e técnicas mais indicadas é nosso propósito desenvolver um sistema de localização que integre duas plataformas: (i) uma que permita uma monitorização em ambientes *indoor* para aplicação em contexto social (**SocialSense**); (ii) e outra para ser utilizada em contexto empresarial para o controlo de recursos em ambientes *outdoor* (**Eneida**).

1.4 Plataformas

1.4.1 Plataforma SocialSense

A plataforma concebida no âmbito deste projecto, designada de SocialSense, teve inicialmente como propósito ser testada num ambiente institucional de contexto social, nomeadamente em instituições de apoio e acolhimento a crianças e jovens socialmente vulneráveis.

Partindo do pressuposto da importância de estas crianças/jovens estabelecerem uma maior interacção com o mundo exterior à instituição na qual residem, criando laços de afecto com pessoas, externas à instituição, que pretendam apadrinhar uma criança/jovem, foi criada a plataforma SocialSense que permite incentivar a relação com os denominados “Avós Virtuais”.

Os Avós Virtuais são pessoas que, apesar de não possuírem qualquer grau de parentesco com a criança/jovem residente na instituição de apoio e acolhimento, têm por objectivo criar uma relação de proximidade com os beneficiários daquelas instituições.

Assim sendo, foi criada uma plataforma que permite que, à distância, avós e crianças/jovens possam estabelecer algum tipo de contacto. Esta plataforma possibilita que os “avós”, apesar de se encontrarem longe fisicamente, tenham a possibilidade de acompanhar a criança/jovem dentro do espaço institucional e manter contacto à distância, se assim o desejarem.

Existindo como único requisito o acesso a um computador com ligação à Internet, os avós têm a hipótese de obter informação relativa à criança/jovem “adoptada”, como a sua localização, temperatura e humidade do local onde se encontram e ainda a sua actividade, ou seja, o movimento efectuado.

Esta informação é visualizada através de uma aplicação (SocialSense)¹ criada para o efeito e disponibilizada através da rede social Facebook.

As crianças, acedendo a um computador da instituição com ligação à Internet, também poderão estabelecer por sua iniciativa contacto com os avós, realizando chamadas Skype e/ou enviando mensagens alerta.

Para o desenvolvimento da plataforma SocialSense foi criada uma plataforma de testes com o intuito de simular a instituição onde a criança reside, e uma aplicação Facebook para o avô poder ter acesso à informação da criança e realizar chamadas Skype.

Uma vez que a criança se encontra dentro de um espaço delimitado (instituição), a sua localização será de cariz interior (*indoor*).

Para o desenvolvimento desta plataforma foram abordados dois paradigmas de localização distintos: (i) um sistema de localização no qual é representada a posição onde a criança se encontra dentro de uma determinada divisão e (ii) uma localização mais simbólica, i.e., em que divisão se encontra a criança.

¹A aplicação SocialSense será descrita no capítulo 5

Para o primeiro sistema de localização foi tido como métrica principal um metro e meio (1,5 metros) de erro máximo. Relativamente ao segundo foi definido como métrica principal um grau de confiança de noventa e cinco por cento (95%), i.e., 95% dos resultados obtidos têm de estar correctos.

Esta plataforma esteve ainda na base do desenvolvimento de duas candidaturas² à Sapo.Labs.

A primeira candidatura consistiu, por um lado, na criação de uma aplicação Facebook que permite a empresários de bares a associação de *playlists* de músicas e também de eventos ao seu estabelecimento e, por outro, o desenvolvimento de uma aplicação Android que, tendo em conta as coordenadas GPS do telemóvel, devolve os pontos de interesse mais próximos dos estabelecimentos nocturnos. Ao clicar nestes pontos de interesse, o utilizador terá acesso aos eventos associados ao estabelecimento (adquiridos através do *web-service* de Cultura e Lazer da SAPO), bem como a *playlists* de música que irá ser passada nessas alturas. Associada a esta representação dos locais de entretenimento nocturno, existe também a possibilidade de obter informação, em tempo real, sobre a quantidade de pessoas que estão a frequentar o local (popularidade), bem como o nível de “agitação” desse local (inferido pelos dados do acelerómetro dos telemóveis dos utilizadores). Esta aplicação pretende vir a ser integrada com outros serviços da Sapo (MusicBox), por forma a facilitar a venda de produtos e serviços do universo PT (publicidade direccionada).

Esta proposta de colaboração sugerida à Sapo.Labs foi aceite, tendo obtido a designação de categoria 3. Esta categoria, apesar de não ter patrocínio económico, proporciona o acesso a todo o conteúdo de serviços SAPO e acesso à infra-estrutura SAPO.

Depois de obtido algum feedback por parte da Sapo.Labs, efectuou-se uma nova candidatura. Nesta nova candidatura foi substituída a aplicação Facebook por uma aplicação que permita aos empresários dos bares o envio de publicidade sobre eventos e promoções a decorrer, aos utilizadores da aplicação Android que se encontrem próximos do bar. Estes, por sua vez, conseguem obter uma melhor percepção dos eventos existentes perto do local onde se encontram, das promoções existentes e têm ainda a possibilidade de visualizar a popularidade e o nível de “agitação” do evento.

²Estas candidaturas encontram-se, na integra, no apêndice B.

Até à data da redacção deste relatório, esta proposta ainda se encontra em análise por parte da Sapo.Labs.

O principal contributo na elaboração destas candidaturas recaiu na definição da arquitectura e no suporte ao desenvolvimento da aplicação Android, no que diz respeito à localização.

1.4.2 Plataforma Eneida

A plataforma Eneida resulta de uma parceria entre a empresa Eneida, uma empresa de engenharia de Instrumentação & Comunicação Industrial, e o Departamento de Engenharia Informática da Universidade de Coimbra. Esta plataforma visa satisfazer as necessidades que a empresa tem em localizar pessoas e bens nas suas refinarias.

O sistema de localização para esta plataforma é de cariz exterior (*outdoor*) e considerado crítico. Este facto deve-se aos inúmeros factores que afectam e alteram a propagação do sinal neste tipo de ambiente. Os principais factores a ter em consideração são a deslocação de pessoas e máquinas de diferentes dimensões e a grande quantidade de condutas e depósitos de metal.

O sistema de localização desenvolvido nesta plataforma foi, numa primeira fase, testado e avaliado na plataforma de testes desenvolvida pela própria empresa, instalada no edifício onde se encontra sedeadada (Instituto Pedro Nunes (IPN)). Depois de obtidos resultados aceitáveis para a empresa, serão realizados testes em uma das refinarias (ambiente crítico) a cargo da Eneida.

Todo o equipamento utilizado na plataforma de testes foi desenvolvido pela Eneida, cabendo-nos a nós, o desenvolvimento do sistema de localização e a recolha de dados necessários para a sua avaliação e funcionamento.

As métricas especificadas para esta plataforma são um erro máximo de cinco metros (5 metros), com um grau de confiança de noventa e cinco por cento (95%) e elevado desempenho (sistema em tempo real).

1.5 Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho segue o âmbito da disciplina de projecto de mestrado em Engenharia Informática e teve um tempo previsto para a sua realização de dez meses. De forma a melhor planear o seu desenvolvimento foi estruturado em oito etapas: de Setembro a Novembro, estudo das plataformas desenvolver (requisitos e funcionalidades) e contributo para o desenvolvimento das mesmas; de Setembro a Dezembro, estudo das RSSF, do TinyOS e do nesC; de Novembro a Dezembro, estudo de mecanismos de localização; em Janeiro, escrita do relatório intermédio; de Fevereiro a Maio, desenvolvimento de módulos de software; de Abril a Junho, realização de testes (funcionais e de carga) e em Junho a escrita do relatório final.

Para uma melhor visualização destas etapas e do trabalho realizado, no apêndice A são apresentados os mapas de Gantt correspondentes ao planeamento estimado e efectivo.

Estas oito etapas foram geridas através de reuniões semanais, nas quais era apresentado e verificado o ponto de situação e definidas as metas para a semana seguinte.

Para a **plataforma Eneida** o seu desenvolvimento iniciou com uma exposição por parte da empresa Eneida sobre as necessidades que possui em localizar pessoas e bens nas suas instalações e refinarias.

Averiguados os seus interesses, efectuou-se um levantamento de requisitos e funcionalidades. Neste, foram analisadas quais as métricas aceitáveis para a empresa (confiabilidade, precisão, eficiência energética, etc.), quais as restrições a nível tecnológico e as principais funcionalidades a implementar (*Must-have*).

O desenvolvimento desta plataforma foi efectuado em colaboração com o aluno de doutoramento Thanh-Dien Tran, sendo ele o principal representante do desenvolvimento desta plataforma na empresa. Contudo, foram efectuadas deslocações periódicas à empresa de forma a discutir ideias, melhoramentos possíveis e métodos a implementar.

Relativamente à **plataforma SocialSense**, começou-se por avaliar quais as vantagens da integração de um sistema de localização/monitorização num caso de estudo no qual poderia vir a ser aplicado. Esta avaliação reflectiu-se na integração e aplicação do sistema de localização em instituições de apoio a crianças e jovens socialmente vulneráveis.

Depois de obtida uma versão estável e funcional da plataforma, foi agendada uma reunião com investigadores do Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra que, com o seu conhecimento privilegiado do contexto social, avaliaram as potencialidades e constrangimentos da plataforma e indicaram sugestões para a sua aplicabilidade, por forma a retirar o melhor benefício das suas características e funcionalidades.

As realidades sociais sugeridas para futuras aplicações da plataforma, dizem respeito às situações em que se verifica a existência de dependência, como é o caso das pessoas com deficiência mental ou idosos.

Nestes casos, as vantagens de aplicação desta plataforma serão, não só para as pessoas dependentes, como também para os seus cuidadores. Por um lado, permite que estes possuam um maior controlo sobre quem têm responsabilidade de cuidar, pois vão obtendo informação regular sobre a pessoa dependente, e contribui também para uma maior autonomia podendo desempenhar outras tarefas compatíveis com a monitorização da pessoa dependente. Por outro lado, possibilita que as pessoas dependentes com necessidade de ter um acompanhamento constante, consigam obter alguma privacidade já que a monitorização a que estão sujeitos permite um controlo à distância, não obrigando a uma presença constante dos seus cuidadores.

1.6 Estrutura do relatório

Em termos estruturais, o trabalho divide-se em sete capítulos, sendo o primeiro a introdução. No **capítulo 2** é abordado o estado da arte, no qual se desenvolvem as diversas técnicas e métricas existentes e passíveis de utilizar na determinação da localização, bem como tipos de representação. No **capítulo 3** é dada atenção privilegiada à descrição dos algoritmos que integram o sistema de localização implementado e a descrição das arquitecturas

implementadas e as diferentes componentes que as constituem são objecto de desenvolvimento no **capítulo 4**. A descrição da aplicação SocialSense desenvolvida é feita no **capítulo 5** e no **capítulo 6** são apresentados os testes efectuados e analisados os resultados obtidos nas duas arquitecturas. Por último, no **capítulo 7**, são apresentadas as conclusões e sugeridas propostas de trabalho futuro.

Capítulo 2

Estado da arte

A localização é uma técnica ou um método para determinar a posição física de um objecto ou de uma pessoa no mundo real.

A grande diversificação de ambientes com diferentes características obriga à existência de uma panóplia de sistemas de localização. Isto significa que não existe um único sistema de localização capaz de satisfazer, p.e., precisão, baixo custo de implantação, fácil implementação e omnipresença em toda a variedade de ambientes reais existentes. Desta forma, o desenvolvimento de um novo sistema de localização deve ser realizado de acordo com o contexto para o qual se pretende a sua utilização e de acordo com o ambiente ao qual se destina.

Neste capítulo pretende-se abordar os diferentes conceitos que foram utilizados no desenvolvimento do presente projecto e apresentar os diversos factores a considerar aquando o desenvolvimento de um sistema de localização, como tipos de representação, de medição, de infraestruturas e técnicas de localização.

2.1 Tipos de representação

A localização é a posição de um objecto ou uma pessoa num espaço físico, e a sua representação pode ser classificada em três tipos: **Absoluta**, **Relativa** e **Simbólica**.

A **representação absoluta** identifica a posição de um objecto/pessoa na superfície da terra. Este tipo de representação tem como base as coordenadas geográficas (latitude e longitude) do objecto/pessoa [Genco and Sorce, 2010].

Um dos principais exemplos deste tipo de representação é o sistema GPS que, com base no sinal recebido de pelo menos quatro satélites (de posição conhecida), calcula as coordenadas geográficas de uma pessoa/objecto na superfície terrestre. (*p.e., Polo II UC - Coordenadas (N 40.221649°, W 8.422093°)*)

A comunicação entre os satélites e os dispositivos GPS é feita através de ondas electromagnéticas. Desta forma, o uso de GPS é restrito a ambientes *outdoor*, visto este tipo de ondas não atravessar paredes nem tectos [Krumm, 2009].

Já no caso da **representação relativa**, esta descreve a posição de um objecto/pessoa relativamente a um ponto de referência de posição conhecida (*p.e., Polo II UC – está 700 metros a sul do IPN*) [Genco and Sorce, 2010]. Enquanto que o sistema de representação absoluta tem melhor precisão em ambientes externos (*outdoor*), este método de representação tem maior precisão quando se trata de áreas delimitadas de dimensões e posições conhecidas. A maior desvantagem desta representação é a necessidade de um ponto de referência local [Krumm, 2009].

Relativamente à **representação simbólica**, contrariamente aos outros dois tipos de representação descritos anteriormente, não é uma representação exacta, é apenas uma descrição, em linguagem corrente, de um local (*p.e., 'Sala G6.2', 'bar', 'corredor'*) [Genco and Sorce, 2010]. Este tipo de representação pode ser obtido com base no resultado alcançado nos tipos de representação anteriores e o acréscimo de informação adicional. A sua principal utilização verifica-se quando se pretende uma representação pouco precisa.

2.2 Tipos de medição

Sendo a localização baseada na distância, a sua medição de forma precisa é um dos principais factores a ter em conta e dos objectivos mais importantes de alcançar.

Nesta secção são apresentados os tipos de medição mais comuns em RSSF para medir a distância entre dois dispositivos. Os métodos de medição abordados, e descritos de seguida, são: *Time of Arrival (ToA)*, *Time Difference of Arrival (TDoA)*, *Angle of Arrival (AoA)* e *RSSI*.

O **ToA**, também denominado Time of Flight (ToF), usa o tempo que um sinal (luz ou som) demora de um dispositivo (emissor) para outro dispositivo (receptor) [Mao and Anderson,] [Krumm, 2009]. Tendo conhecimento do tempo que o sinal demorou entre dispositivos e a velocidade a que se deslocou, é possível calcular a distância entre os dispositivos através da realização da equação 2.1, onde v representa a velocidade, Δs a distância e Δt o tempo.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta s = v \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

No entanto, este método requer uma elevada sincronização de relógios entre o emissor e o receptor. Isto porque uma pequena variância nos relógios pode causar uma elevada imprecisão no cálculo da distância e, consequentemente, uma elevada imprecisão no cálculo da distância entre dispositivos.

Para contornar o problema de sincronismo de relógios dever-se-à recorrer apenas ao emissor para calcular a distância. Desta forma, o emissor emite um sinal que é captado pelo receptor que, por sua vez, reenvia esse mesmo sinal de volta ao emissor. O emissor, possuindo o tempo total (*round-trip time*), pode sempre calcular o tempo que o sinal demorou entre dispositivos. Assumindo que o tempo de processamento no receptor é zero, para se calcular a distância entre dispositivos basta dividir o tempo total por dois, como podemos observar na seguinte equação:

$$\Delta t = \frac{\text{round-trip time}}{2} \quad (2.2)$$

Desta forma, não existirá problema na sincronização dos relógios, uma vez que é utilizado o mesmo relógio para calcular a diferença de tempo. Contudo, este mecanismo obriga a um aumento de processamento por parte do transmissor, uma vez que é responsável pelo envio e recepção da mensagem e pela realização dos cálculos para obter o tempo de voo (Δt).

Outro tipo de medição existente é o denominado **TDoA**. Este método, apesar de fazer uso do tempo entre dispositivos (ToA), não necessita da sincronização de relógios entre o emissor e o receptor. Utilizando a diferença do tempo de chegada entre dois sinais que possuem velocidades de propagação diferente, como é o caso da Rádio Frequência (*Radio Frequency*) e sinais de ultra-som (*Ultrasonic*), é possível determinar a distância entre dispositivos [Tiago and Pinto, 2007]. O seu funcionamento pode ser descrito do seguinte modo: o dispositivo emissor envia simultaneamente um sinal rádio e um impulso ultra-som. Dado que os sinais têm diferentes velocidades de propagação, o dispositivo receptor receberá os dois sinais em diferentes períodos de tempo. Com base na diferença de tempo a que os dois sinais chegam ao receptor, é calculada a distância entre o emissor e o receptor.

Apesar deste método resolver o problema da sincronização de relógio num só sentido (*on-way communication*), requer a utilização de *hardware* adicional para a transmissão e recepção de sinais ultra-som [Krumm, 2009].

O **AoA** pretende identificar o ângulo a partir do qual um receptor intercepta determinado sinal [Tiago and Pinto, 2007], [Headquarters, 2008]. O sinal é interceptado, sendo calculado através do uso de um conjunto de antenas (*antenna array*) que mede a diferença do tempo de chegada (TDoA) de um sinal nas diferentes antenas desse dispositivo. Através da diferença do tempo de chegada ao conjunto de antenas, é definido o ângulo pelo qual o sinal foi capturado.

Este método torna-se vantajoso, uma vez que apenas são necessários dois receptores para calcular a posição do emissor [Headquarters, 2008] (Figura: 2.4). Por outro lado, é necessário *hardware* adicional que permita o uso de um conjunto de antenas (*antenna array*).

O **RSSI** é um indicador da intensidade com o qual um sinal é recebido. Significa a potência/intensidade (valor numérico) com a qual o receptor recebeu o sinal e utiliza a relação entre a perda de sinal e a distância de propagação [Headquarters, 2008]. Mais especificamente, este método estima a distância entre dispositivos, baseada na diferença da força de sinal entre o emissor e o receptor. Uma vez que é conhecida a intensidade inicial do sinal (emitida pelo emissor), é possível relacionar o valor de RSSI com a distância [Awad et al., 2007].

As principais vantagens deste método, em comparação com ToA e TDoA, estão relacionadas com o menor consumo de energia, a inexistente necessidade de *hardware* adicional e a possibilidade de utilizar o sinal de rádio como método de obter a distância e meio de transmissão de dados [Krumm, 2009].

No entanto, apesar de possuir uma taxa de erro aceitável em ambientes sem obstáculos (*free space*), em ambientes complexos (com obstáculos) este método revela-se instável e imprevisível. Este facto deve-se à intensidade do sinal ser facilmente afectada por propriedades do ambiente, tais como *multipath*, *shadowing*, interferências por outras fontes de sinais de rádio (*wifi*) ou mesmo a circulação de pessoas/objectos.

2.3 Tipos de infraestrutura

Nesta secção são descritos os três tipos de infraestrutura existentes em sistemas de localização: baseadas no cliente (*client-based*), baseadas na rede (*network-based*) e assistida pela rede (*network-assisted*).

Numa **infraestrutura baseada no cliente**, o dispositivo (receptor) determina a sua própria localização baseada na informação recebida das balizas (*beacons*) existentes na infraestrutura. Estas balizas são emissores, de posição fixa, que difundem periodicamente uma mensagem com a sua posição e o seu identificador (*ID*). O receptor, ao captar o sinal de pelo menos quatro balizas, determina a sua localização [Krumm, 2009].

A principal vantagem deste tipo de infraestrutura é, por um lado, a privacidade do receptor, ou seja, uma vez que este calcula a sua própria posição

e se não necessitar/quiser não partilha essa informação. Por outro lado, dado que coloca mais processamento do lado do cliente, este tipo de infraestrutura reduz a longevidade da bateria.

Um exemplo desta infraestrutura é o GPS, que calcula a sua localização usando o sinal recebido de, pelo menos, quatro satélites GPS.

No caso de uma **infraestrutura baseada na rede**, o dispositivo (emissor) emite um sinal que é captado pelas balizas (receptores) da infraestrutura (que passam a ter o papel de receptoras). Estas, por sua vez, transmitem a informação captada para um sistema central (computador) responsável por calcular a localização do emissor baseando-se na informação recebida das diferentes balizas [Krumm, 2009].

As principais vantagens deste tipo de infraestrutura são as desvantagens da infraestrutura baseada no cliente, ou seja, menos processamento de dados no lado do emissor e maior eficiência energética.

A desvantagem deste tipo de infraestrutura é a necessidade de um sistema central (computador) para calcular a posição do dispositivo.

Numa **infraestrutura assistida pela rede**, tanto o dispositivo (emissor) como a infraestrutura de rede cooperam para determinar a localização do dispositivo (emissor) [Krumm, 2009].

Um exemplo deste tipo de infraestrutura é o *Assisted GPS* (A-GPS). No A-GPS o dispositivo GPS, de forma a acelerar o processo e diminuir a quantidade de informação na captação de satélites, utiliza a rede móvel para obter informação sobre a posição dos satélites que vai utilizar.

2.4 Técnicas de localização

Nesta secção são descritas as seis principais técnicas para determinar a localização de um dispositivo.

2.4.1 Proximidade

A proximidade (*proximity*) utiliza a aproximação de um dispositivo a um ponto de referência para estimar a localização do dispositivo [Krumm, 2009], p.e. o emissor está a vinte metros do receptor.

Esta técnica é muito imprecisa, uma vez que não fornece uma posição exacta do dispositivo, mas sim um conjunto infinito de possibilidade i.e., todos os pontos possíveis a uma distância de vinte metros (todos os pontos sobre um circunferência de raio igual a vinte).

Apesar desta técnica ser imprecisa, não é inútil quando aplicada em conjugação com outras técnicas. Como se verá mais à frente, outras técnicas de localização (mais precisas), usam a proximidade juntamente com técnicas geométricas de forma a obter dados mais completos. Um exemplo dessas técnicas é a trilateração.

2.4.2 Trilateração

A trilateração (*trilateration*) é uma técnica de localização que determina a posição de um dispositivo através do cálculo da sua distância relativamente a um determinado número de pontos de referência com localização conhecida, usando geometria (intersecção círculos) [Headquarters, 2008].

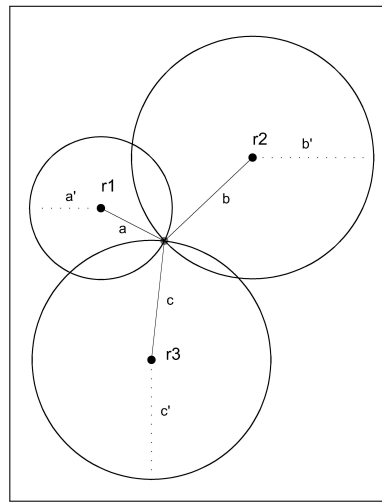
Nesta técnica, o número de pontos de referência necessários para o cálculo da localização é uma ordem de grandeza maior que o número de dimensões que se pretende [Krumm, 2009]. Por exemplo, se quisermos um sistema de localização a duas dimensões (2D), são necessários pelo menos três pontos de referência. Por outro lado, se pretendermos um sistema de localização a

três dimensões (3D), são necessários quatro ou mais pontos de referência.

Esta relação deve-se ao facto de que estimar a distância a um ponto de referência único, produz um número infinito de possíveis localizações do dispositivo (perímetro do círculo); estimar as distâncias a dois pontos de referência produz duas localizações possíveis do dispositivo (intercepção de dois círculos) e estimar as distâncias a três pontos de referência define exclusivamente um ponto possível para a localização de dispositivos (intercepção de três círculos) [Krumm, 2009].

A figura 2.1 mostra um exemplo da técnica de trilatação a duas dimensões, onde o centro de cada círculo representa um ponto de referência e o raio dos círculos a distância estimada ao dispositivo.

Figura 2.1: *Exemplo da trilatação a duas dimensões (2D)*



Fonte: Realização própria.

Quando se possuem medições precisas da distância entre o dispositivo e os receptores (raio das circunferências) esta técnica tem resultados precisos.

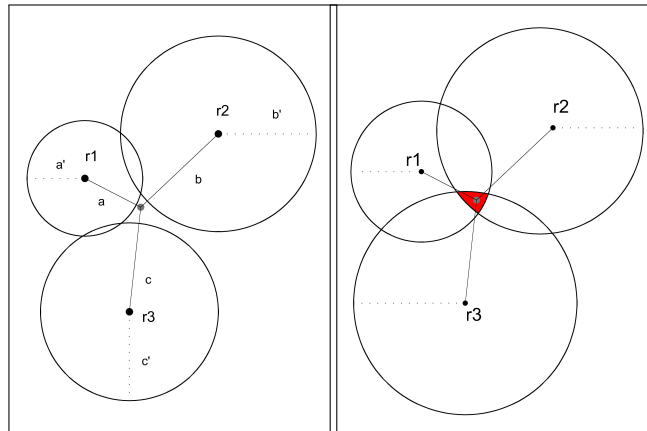
No entanto, como se viu anteriormente, os tipos mais comuns de medição (ToA, TDoA, AoA e RSSI) têm sempre algumas imprecisões (ruído) associadas, o que provoca a dispersão das distâncias estimadas (raio). Nesta técnica essas imprecisões podem causar dois cenários distintos: (i) o primeiro está relacionado com as diferentes medições dos receptores terem erro por defeito

e não existir intercepção (Figura 2.2a); (ii) o segundo refere-se às diferentes medições dos receptores apresentarem erro por excesso e a interação resultar num conjunto de pontos (área) (Figura 2.2b).

O aspecto positivo é que, uma vez que esta técnica é baseada na resolução de um sistema de equações, este pode ser convertido num sistema de equações linear, a fim de melhorar a dispersão das distâncias estimadas.

Figura 2.2: *Tipos de erro na trilateração*

(a) *Erro por defeito* **(b)** *Erro por excesso*



Fonte: Realização própria.

2.4.3 Lateração Hiperbólica

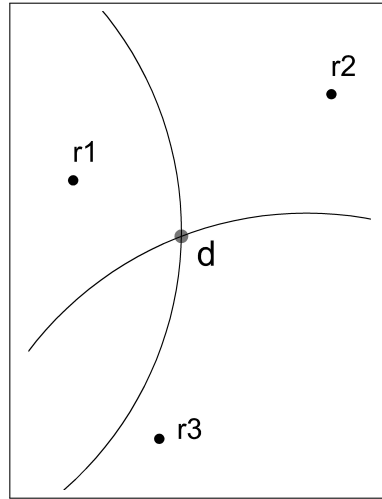
A Lateração Hiperbólica (*Hyperbolic lateration*) usa a diferença do tempo de chegada de um sinal emitido pelo emissor a três ou mais receptores (pontos de referência) [Barleze, 2003].

Esta técnica consiste em, através da diferença do tempo de chegada do mesmo sinal a dois pontos de referência, construir uma hipérbole. Esta hipérbole representa todas as localizações possíveis do dispositivo.

Com a adição de um terceiro receptor, consegue-se obter mais uma hipérbole. Calculando o ponto de intercepção das duas hipérboles é possível determinar a localização do dispositivo.

Na figura 2.3 está representado um exemplo da técnica em duas dimensões. Os pontos pretos representam pontos de referência e o ponto cinza representa a localização do dispositivo.

Figura 2.3: *Exemplo da Lateração Hiperbólica a duas dimensões (2D)*

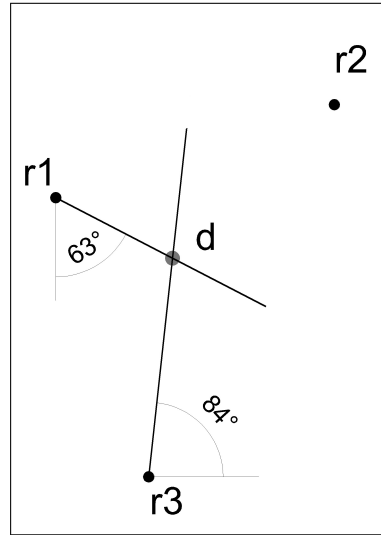


Fonte: Realização própria.

2.4.4 Triangulação

A triangulação (*Triangulation*) utiliza o ângulo de chegada (AoA) para calcular a localização do dispositivo [Headquarters, 2008], que é efectuada através da medição do ângulo de chegada do sinal emitido pelo emissor a dois pontos de referência. Estes dois ângulos representam duas linhas concorrentes que se cruzam num único ponto (todos os pontos de referência têm de ter os relógios sincronizados). Este ponto de intersecção representa a localização do dispositivo.

A figura 2.4 ilustra um exemplo da técnica de triangulação a duas dimensões (2D).

Figura 2.4: *Exemplo da triangulação a duas dimensões (2D)*

Fonte: Realização própria.

2.4.5 Impressão digital

A técnica de impressão digital *Fingerprinting* baseia-se em algoritmos de correspondência de padrão para estimar a localização de um dispositivo [Krumm, 2009].

Esta técnica é composta por duas fases. A primeira fase consiste na construção (treino) de um mapa com a intensidade de sinal recebida em diferentes locais do ambiente onde se pretende realizar a localização, ou seja, consiste no movimentar através do local e construir uma base de dados com a relação entre intensidade do sinal recebido e a posição onde o sinal foi emitido.

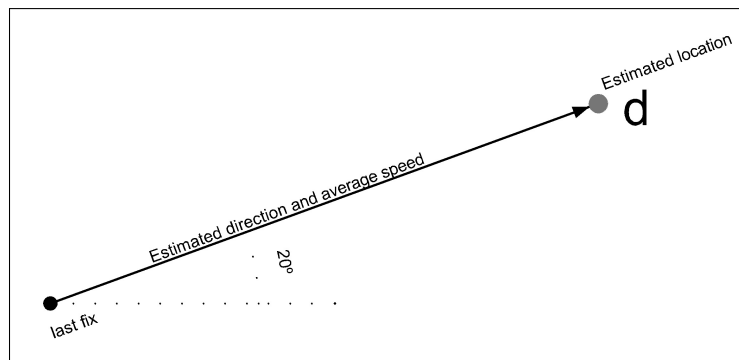
A segunda fase, consiste em calcular a posição do dispositivo através da verificação da intensidade do sinal recebido e posterior consulta na base de dados que contém os registos obtidos na fase de treino.

2.4.6 Navegação Estimada

A navegação estimada, *Dead reckoning*, é uma técnica de localização que calcula a posição de um dispositivo com base na sua posição anteriormente conhecida, juntamente com um conjunto de parâmetros, tais como direcção e velocidade [Krumm, 2009].

Um exemplo desta técnica é quando se entra de automóvel num túnel e se perde o sinal de GPS. Uma vez sabendo o ponto de partida do automóvel, a sua velocidade e direcção, pode-se estimar a posição actual.

Figura 2.5: Exemplo da navegação estimada a duas dimensões (2D)



Fonte: Realização própria.

Capítulo 3

Sistema de localização implementado

A existência de uma grande variedade de técnicas proporciona uma quantidade diversificada de sistemas de localização, mas, como foi visto anteriormente, não existe um único sistema de localização capaz de satisfazer precisão, baixo custo de implementação e onnipresença em toda a variedade de ambientes. Neste capítulo é descrito o sistema de localização desenvolvido, as técnicas utilizadas de acordo com os nossos casos de estudo e restrições existentes.

Depois de avaliado o estado de arte existente, optou-se por um sistema de localização baseado na rede cuja técnica de localização assenta na trilateração. O uso de um sistema de localização baseado na rede recaiu na não necessidade de o emissor calcular a sua própria localização e no intuito de utilizar sensores o mais pequeno possível. Devido as restrições de *hardware* dos sensores utilizados, quer na plataforma Eneida, quer na plataforma SocialSense, o uso de RSSI como tipo de medição revelou-se obrigatório.

Posto isto, procedeu-se ao desenvolvimento de um sistema de localização base sendo o nosso ponto de partida para futuros melhoramento e base de comparação de resultados obtidos.

3.1 Sistema de localização base

No sistema de localização base, a posição do emissor é definida pela intercepção de pelo menos quatro esferas (trilateração). O raio das esferas é a aproximação estimada através do RSSI. Em termos práticos, este método corresponde à resolução do sistema apresentado na equação 3.1 e a sua precisão está relacionada com a precisão da distância estimada.

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 - r_i^2 = 0 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 + (z - z_n)^2 - r_n^2 = 0 \end{array} \right. \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

Na equação 3.1 n representa o número de receptores existentes.

De forma a resolver o sistema de equações 3.1 para valores de $n \geq 4$, transformou-se o mesmo na forma de matriz

$$A\vec{x} = \vec{b} \quad (3.2)$$

onde

$$A = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n - x_1 & y_n - y_1 & z_n - z_1 \end{bmatrix}, \vec{x} = \begin{bmatrix} x - x_1 \\ y - y_1 \\ z - z_1 \end{bmatrix}, \vec{b} = \begin{bmatrix} b_{21} \\ b_{31} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$b_{ij} = (x - x_j)(x_i - x_j) + (y - y_j)(y_i - y_j) + (z - z_j)(z_i - z_j) = \frac{1}{2} [r_j^2 - r_i^2 + d_{ij}^2] \quad (3.4)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (3.5)$$

Após a realização de alguns testes e analisados os resultados obtidos (Capítulo 6), observou-se que o desenvolvimento de um sistema de localização baseado apenas em trilateração e RSSI nunca cumpriria as métricas desejadas.

Posto isto, procedeu-se à análise de métodos capazes de melhorar a relação entre a precisão da distância e a precisão da localização. Em [William S. Murphy and Hereman, 1999] é apresentado um sistema de localização baseado em RSSI e trilateração com resultados que se encaixam nas nossas métricas. O método aqui utilizado consiste no uso de sistemas não lineares, (*Non-linear systems*) como forma de reduzir o erro obtido no cálculo da posição. Esta melhoria é efectuada através da linearização (aproximação) por estimativa tendo em conta o conjunto de medições imprecisas obtida por todos os receptores.

Avaliados os métodos não lineares existentes, verificou-se que têm resultados comprovados quando se pretende obter uma aproximação precisa através de um conjunto de medições imprecisas. Dos métodos existentes, em [William S. Murphy and Hereman, 1999] o que revela melhores resultados é o dos mínimos quadrados não lineares (*Non-linear least squares*). Este foi o método implementado no nosso sistema.

3.2 Método dos mínimos quadrados não lineares

Para o desenvolvimento do método dos mínimos quadrados não lineares é necessário uma aproximação (ainda que imprecisa) da localização como ponto de partida $(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})$ [Gratton and Lawless, 2008]. Esta aproximação é usada como posição exacta do emissor no método dos mínimos quadrados.

Tendo a trilateração revelado-se excessivamente imprecisa era necessário obter uma aproximação mais precisa como ponto de partida para o método

dos mínimos quadrados não lineares. Para a obtenção deste ponto de partida usou-se o método dos mínimos quadrados lineares (equação 3.6).

$$A^T A \vec{x} = A^T \vec{b} \quad (3.6)$$

A resolução da equação 3.6 em função de \vec{x} depende da matriz $A^T A$:

Se $A^T A$ é não singular¹ (non-singular) e bem condicionada² (well-conditioned), então

$$\vec{x} = (A^T A)^{-1} A^T \vec{b} \quad (3.7)$$

Caso $A^T A$ seja singular¹ (singular) ou mal condicionada² (poorly-conditioned) é usada a QR-decomposition de A ($A = QR$). Nesta decomposição Q representa a *orthonormal matrix*³ e R a *upper-triangular matrix*⁴ [Embree, 2009].

$$R\vec{x} = Q^T \vec{b} \quad (3.8)$$

Depois de obtida uma posição (pouco precisa) para a localização do emissor, aquando o seu uso no método dos mínimos quadrados não lineares, é considerada a posição exacta. Esta particularidade deve-se à necessidade do método ter um ponto de partida, ainda que impreciso, para depois, através de várias iterações, obter uma solução aproximada mais precisa. Para a obtenção desta solução aproximada foi utilizada a iteração de Newton (equação 3.9) [William S. Murphy and Hereman, 1999].

$$\vec{R}_{\{k+1\}} = \vec{R}_{\{k\}} - (J_{\{k\}}^T J_{\{k\}})^{-1} J_{\{k\}}^T \vec{f}_{\{k\}}, \quad (3.9)$$

onde $\vec{R}_{\{k\}}$ significa a k k^a solução aproximada e $\vec{R}_{\{1\}} = (\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})^T$.

¹<http://mathworld.wolfram.com/SingularMatrix.html>

²<http://mathworld.wolfram.com/ConditionNumber.html>

³<http://mathworld.wolfram.com/OrthogonalMatrix.html>

⁴<http://mathworld.wolfram.com/UpperTriangularMatrix.html>

$$J^T J = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \frac{(x-x_i)^2}{(f_i+r_i)^2} & \sum_{i=1}^n \frac{(x-x_i)(y-y_i)}{(f_i+r_i)^2} & \sum_{i=1}^n \frac{(x-x_i)(z-z_i)}{(f_i+r_i)^2} \\ \sum_{i=1}^n \frac{(x-x_i)(y-y_i)}{(f_i+r_i)^2} & \sum_{i=1}^n \frac{(y-y_i)^2}{(f_i+r_i)^2} & \sum_{i=1}^n \frac{(y-y_i)(z-z_i)}{(f_i+r_i)^2} \\ \sum_{i=1}^n \frac{(x-x_i)(z-z_i)}{(f_i+r_i)^2} & \sum_{i=1}^n \frac{(y-y_i)(z-z_i)}{(f_i+r_i)^2} & \sum_{i=1}^n \frac{(z-z_i)^2}{(f_i+r_i)^2} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$f_i(x, y, z) = \hat{r}_i - r_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} - r_i \quad (3.11)$$

onde $\hat{r}_i = (\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})$ e

$$J^T \vec{f} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \frac{(x-x_i)f_i}{(f_i+r_i)} \\ \sum_{i=1}^n \frac{(y-y_i)f_i}{(f_i+r_i)} \\ \sum_{i=1}^n \frac{(z-z_i)f_i}{(f_i+r_i)} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

A precisão obtida através deste método, depende do número de iterações (k_n) efectuados.

3.3 Implementação

A implementação do sistema de localização foi feita através de *webservices* na linguagem de programação .net C# (C Sharp). O uso de *webservices* tem como objectivo permitir uma melhor integração com outro tipo de serviços, p.e., a aplicação do facebook. O sistema de localização fica assim disponível através de um *Uniform Resource Locator* (URL) onde, é definido o ID do emissor que se pretende (p.e., a localização do emissor três é possível através da URL: <http://socialsense.dei.uc.pt:81/RestServiceImpl.svc/json/3>).

O resultado da localização é devolvido através de um *JavaScript Object Notation* (JSON), constituído pelos atributos **errorid**, **exactitude**, **x_coordinate**, **y_coordinate**, **z_coordinate**. Nestes, errorid define, caso exista, o erro ocorrido aquando a determinação da localização (p.e., erroid igual a três,

significa que não existem pelo menos quatro receptores com informação sobre um emissor, não sendo possível determinar a posição desse emissor). Caso não exista nenhum erro, o valor corresponde a zero.

O exactitude corresponde ao nível de precisão com que determinado emissor é atribuído a uma divisão i.e., se os quatro receptores com melhor RSSI e Link Quality Indicator (LQI) corresponderem à mesma divisão, é considerado com cem por cento de certeza (100%) que o emissor está nessa sala. Se corresponderem três é considerado com setenta e cinco por cento (75%), a dois cinquenta por cento (50%) e a um vinte e cinco por cento (25%). O objectivo deste mecanismo é proporcionar um tipo de representação simbólico e assim servir de complemento ao sistema de localização principal. Os atributos x_coordinate, y_coordinate e z_coordinate correspondem ao das coordenadas obtidas pelo sistema de localização (caso erro seja igual a zero).

```
1 { "error\_id": "0", "exactitude": "3", "x\_coordinate": "324,56", "y\_coordinate": "285,73", "z\_coordinate": "16,6" }
```

Listing 3.1: *Exemplo do resultado obtido para o emissor 3*

Para o desenvolvimento do sistema de localização foi ainda utilizada a *framework* matemática Math.NET¹. Esta *framework* revelou-se determinante, visto possuir métodos essenciais para a resolução de sistema lineares e tratamento de matrizes. Dentro destes métodos há a destacar as funções **Transpose()** que devolve a transposta de uma matriz, **Inverse()** que devolve a inversa de uma matriz, **Condition()** que devolve o condicionamento de uma matriz e a função **QRDecomposition()** que devolve a *orthogonal matrix* Q e *upper triangular matrix* R ($A = Q \cdot R$).

¹<http://www.mathdotnet.com/>

Capítulo 4

Arquitecturas

Neste capítulo são descritas as duas arquitecturas nas quais foram testadas e implementadas as técnicas de localização desenvolvidas no projecto. No ponto 4.1 é descrita a arquitectura LCTSense, que corresponde à localização *indoor*, e na segunda secção a arquitectura Eneida, que corresponde à localização *outdoor*.

4.1 Arquitetura LCTSense

Na arquitectura LCTSense pretende-se o desenvolvimento de um sistema de localização *indoor* baseado em redes de sensores sem fios que permita monitorizar pessoas dentro de um espaço delimitado, nomeadamente no que diz respeito ao movimento, localização, temperatura e humidade.

Recordamos que o objectivo desta arquitectura é ser aplicada num ambiente institucional de âmbito social.

O sistema de localização desenvolvido na arquitectura LCTsense tem como finalidade a integração com a plataforma SocialSense. Esta tem como principal objectivo o desenvolvimento de tecnologias que combinam a monitorização de pessoas através de telemóveis e sensores, com redes sociais

como é o caso do Facebook. Além da monitorização da actual actividade do utilizador e respectivos sinais vitais (como o batimento cardíaco e temperatura), esta plataforma tem como objectivo a implementação de um sistema de localização de forma a detectar e representar a actual localização do utilizador que está a ser monitorizado. Para a localização do utilizador em ambientes *outdoor* esta plataforma faz uso do receptor GPS do telemóvel para determinar a localização do utilizador.

Quando o utilizador passa para um ambiente *indoor*, ie., no caso de se encontrar dentro de um edifício, a utilização de GPS como método de localização passa a ser ineficiente. Nesta situação, a localização do utilizador passará a ser disponibilizada pelo sistema de localização do edifício/divisão.

De forma a melhorar a plataforma SocialSense, a realização deste projecto foi composta pelo desenvolvimento e integração de um sistema de localização para ambiente *indoor*.

Para o desenvolvimento deste sistema de localização foi implementada uma plataforma de testes constituída por um conjunto de sensores sem fios e um *gateway* (aplicação Java), responsável pelo envio da informação captada pelos sensores para o servidor central.

De seguida será descrito o funcionamento e o processo de implementação da plataforma de teste (na qual irão ser obtidos parâmetros como a localização -RSSI-, temperatura e humidade), bem como o *gateway* (aplicação Java) desenvolvido.

Plataforma de testes (*testbed*)

A implementação desta plataforma de testes teve como objectivo simular a monitorização de pessoas dentro de um espaço delimitado (crianças residentes nas aldeias SOS), bem como avaliar as capacidades e limitações existentes nos nós sensores adoptados: nós TelosB (Crossbow Rev B 2004/09/27).

Para o desenvolvimento desta plataforma de testes, optou-se pelo uso de uma arquitectura baseada em três camadas de rede: **camada móvel** (*Mobile tier*), **camada fixa** (*Fixed tier*) e **estação base** (*Base Station*).

Na **camada móvel** estão inseridos os sensores que simulam o dispositivo transportado pelo indivíduo alvo da monitorização. Estes nós sensores, denominados de emissores (*tags*), têm a função de transmitir periodicamente (a cada dois segundos) em *broadcast*, e de forma automática, uma mensagem (**WsnMessage**) contendo o seu ID (**nodeid**), a temperatura (**temperature**) e humidade (**humidity**) captada pelos módulos existentes no dispositivo.

A mensagem enviada é definida recorrendo a uma estrutura de dados contendo os elementos que se pretendem transmitir (Listing 4.1). O envio da mensagem para a rede é feito recorrendo ao padrão IEEE 802.15.4¹ disponível nos nós sensores.

```
1 typedef nx_struct WsnMessage {  
    nx_uint16_t nodeid;  
3    nx_uint16_t readerid;  
    nx_int16_t rssi;  
5    nx_int16_t lqi;  
    nx_uint16_t humidity;  
7    nx_uint16_t temperature;  
    nx_uint8_t alert;  
9 } WsnMessage
```

Listing 4.1: Estrutura da mensagem utilizada (*WsnMessage*)

Para além de emitirem periódica e automaticamente mensagens de monitorização, estes dispositivos possibilitam o envio de mensagens de alerta por parte da pessoa monitorizada que, para o efeito, terá obrigatoriamente de pressionar o botão 'usr' nós.

A diferença entre as mensagens de alerta e as mensagens de monitorização reside no valor tomado pelo campo alerta (**alert**) das mensagens: zero (0) para mensagem de monitorização e um (1) para mensagens de alerta.

Na **camada fixa** estão inseridos os receptores (*readers*), i.e., nós sensores de posição fixa e conhecida (coordenadas x, y e z) responsáveis por captar as mensagens emitidas pelos emissores.

¹<http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>

No caso de um receptor capturar uma mensagem terá de lhe adicionar o seu ID (**readerid**), o valor de RSSI (**rss**) e LQI (**lqi**), sendo estas duas últimas informações provenientes dos respectivos indicadores com o quais o receptor capturou a mensagem. Uma mensagem só é captada por um receptor, caso este se encontre no raio de acção do emissor.

Depois de alterada a mensagem é reenviada para a estação base pelo próprio receptor.

A **estação base** consiste num nó sensor ligado por Universal Serial Bus (USB) a um computador e tem como principal função lidar com a comunicação entre a rede RSSF e o *gateway*. Desta forma, sempre que uma mensagem é captada pela estação base, esta é enviada para o canal de ligação `/dev/ttyUSB0:telos`.

A diferença entre sensores reside no objectivo que se pretende para cada um deles, sendo estes programados de acordo com a camada a que se destinam, ou seja, se programado para ser emissor (camada móvel), receptor (camada fixa) ou estação base.

Gateway

A aplicação Java desenvolvida, denominada *JavaClient*, tem como objectivo servir de intermediário (*gateway*) entre a RSSF e o servidor central onde é armazenada toda a informação.

Esta aplicação captura as mensagens *WsnMessage* que chegam ao canal de ligação `/dev/ttyUSB0:telos` provenientes da RSSF e converte-as para objectos Java do tipo *WsnMessage*.

Esta conversão é possível através da criação de uma classe Java, subclasse da classe **net.tinyos.message.Message** (Listing 4.2), correspondente à estrutura da mensagem *WsnMessage* usada na RSSF.

```
1 public class WsnMessage extends net.tinyos.message.Message {  
3     public int nodeid;  
4     public int readerid;  
5     public short rssi;  
6     public short lqi;  
7     public int humidity;  
8     public int temperature;  
9     public short alert;  
11  
12     /** The default size of this message type in bytes. */  
13     public static final int DEFAULT_MESSAGE_SIZE = 13;  
14  
15     /** The Active Message type associated with this message.  
16         */  
17     public static final int AMTYPE = 10;  
18  
19     /** Create a new RssiMsg of size 13. */  
20     public RssiMsg() {  
21         super(DEFAULT_MESSAGE_SIZE);  
22         amTypeSet(AMTYPE);  
23     }  
24  
25     /** Getters & Setters**/  
26 }
```

Listing 4.2: Classe Java correspondente à estrutura *WsnMessage* (Listing 4.1)

Para além do papel de *gateway*, a aplicação é ainda responsável por converter a temperatura para grau Celsius (°C), a humidade para Humidade Relativa (HR), impulsionar chamadas através do Skype² e verificar o tipo de mensagem recebida (de alerta ou de monitorização).

²<http://www.skype.com>

Impulsionador Skype

O mecanismo de chamadas Skype (vídeo e áudio) desenvolvido, permite que a pessoa monitorizada³ espolete uma chamada Skype dirigida ao responsável da monitorização, através da aproximação ao computador destinado para o efeito.

Para a chamada ser realizada, a pessoa monitorizada apenas necessita colocar o seu dispositivo junto do receptor que se encontra perto do computador durante dez segundos. Este receptor é igual aos restantes tendo apenas como particularidade a sua colocação junto ao computador.

A aproximação ao computador por parte da pessoa monitorizada é obtida através do RSSI. Se os valores de RSSI capturados pelo nó forem superiores a trinta, durante dez segundos e pelo mesmo nodeid (ID do dispositivo da criança) é efectuada uma chamada Skype para o responsável pela monitorização. O seu contacto Skype é obtido através de uma consulta à base de dados tendo em conta o ID de sensor que se aproximou.

Caso o/a monitorizado/a se afaste do receptor e for obtido um valor de RSSI inferior a vinte, a chamada Skype é terminada.

De forma a executar uma chamada Skype para um determinado contacto foi implementado, através do uso da Application programming interface (API) Skype4Py⁴, um *script* em Python⁵ responsável por receber por parâmetro o contacto para o qual se pretende efectuar a chamada. Quando o *script* é executado ele é responsável por iniciar o Skype (caso não se encontre iniciado) e iniciar a chamada de forma automática para o contacto recebido por parâmetros. A Skype4Py é uma API escrita em Python, multi plataforma, que permite utilizar diversas funcionalidades do Skype (ex. o envio de mensagens e a execução de chamadas).

³Correspondente à criança/jovem no caso das aldeias de crianças SOS

⁴<http://sourceforge.net/projects/skype4py/>

⁵<http://www.python.org/>

Temperatura e Humidade

Quer a temperatura, quer a humidade captada pela plataforma de testes, é relativa ao meio envolvente e não à pessoa monitorizada.

Apesar de se referir ao meio envolvente, esta informação é meramente representativa de futuras expansões/alterações que se pretendam efectuar/adicionar aos nós sensores existentes. Um exemplo é a possibilidade de substituir o sensor de temperatura ambiente por um sensor de temperatura capaz de capturar a temperatura interna de uma pessoa, sem com isto alterar o formato da mensagem utilizada (WsnMessage).

Para a captura da temperatura e humidade foram utilizados os módulos (sensores) **Sensirion SHT11** disponíveis nos TelosB utilizados [Crossbow, 2012]. Estes módulos permitem a captura da temperatura num intervalo entre -40°C e $123,8^{\circ}\text{C}$ (grau Celsius) com uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, e a humidade num intervalo entre 0-100% RH (Humidade Relativa) com uma precisão de $\pm 3.5\%$ RH [Sensirion, 2012].

A temperatura e humidade obtidas pelos sensores são devolvidas em formato de 12 bits. Para obter uma representação dos valores da temperatura em grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e da humidade em humidade relativa (% RH), é necessário converter esses 12 bits nas unidades pretendidas.

A conversão dos valores da temperatura em grau Celcius é efectuada através da equação 4.1 [Sensirion, 2012].

$$Temperatura = d_1 + d_2 \cdot SO_T \quad (4.1)$$

Na equação 4.1, SO_T representa os 12 bits obtidos pelo sensor de temperatura; d_1 o valor tabelado e obtido em função da voltagem utilizada no sensor e a unidade de dados pretendida tendo em conta a tabela 4.1; d_2 o valor tabelado e obtido em função do número de bits devolvido pelo sensor e a unidade de dados pretendida tendo em conta a tabela 4.2.

Tabela 4.1: *Coefficientes de conversão da temperatura (VDD)*

| VDD | d_1 (°C) | d_1 (°F) |
|------|------------|------------|
| 5V | -40,1 | -40,2 |
| 4V | -39,8 | -39,6 |
| 3.5V | -39,7 | -39,5 |
| 3V | -39,6 | -39,3 |
| 2.5V | -39,4 | -38,9 |

Fonte: [Sensirion, 2012]

Tabela 4.2: *Coefficientes de conversão da temperatura (SO_T)*

| SO_T | d_2 (°C) | d_2 (°F) |
|--------|------------|------------|
| 14 bit | 0.01 | 0.018 |
| 12 bit | 0.04 | 0.072 |

Fonte: [Sensirion, 2012]

Sendo o nó sensor utilizado alimentado por duas pilhas AAA de 1,5V cada (3V no total) [Crossbow, 2012], grau Celcius (°C) a unidade de formato pretendida e valor devolvido pelo módulo da temperatura de 12 bits [Sensirion, 2012], a equação final é definida por:

$$Temperatura = -39,6 + 0,04 \cdot SO_T \quad (4.2)$$

Na equação 4.2 o valor de SO_T é capturado pelo sensor através da função **Temperature.read()** do nesC e adicionado ao campo **temperature** da mensagem WsnMessage aquando o seu envio.

A humidade relativa (HR) é conseguida através da obtenção da humidade relativa linear (equação 4.3) e posterior humidade relativa real (equação 4.4). A obtenção prévia da HR linear e posterior obtenção da HR real deve-se ao facto da HR estar relacionada com a temperatura obtida pelo sensor. Como tal, para obter uma HR real é necessário efectuar uma compensação à HR linear obtida tendo em conta a temperatura.

Equação HR linear:

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (4.3)$$

Nesta equação, SO_{RH} representa os 12 bits obtidos pelo sensor da humidade e c_1 , c_2 , c_3 os valores tabelados e obtidos em função do número de bits devolvido pelo sensor de humidade (tabela 4.3).

Tabela 4.3: *Coeficientes de conversão da humidade linear (SO_{RH})*

| SO_{RH} | c_1 | c_2 | c_3 |
|-----------|---------|--------|------------|
| 12 bit | -2,0468 | 0,0367 | -1,5955E-6 |
| 8 bit | -2,0468 | 0,5872 | -4,0845E-4 |

Fonte: [Sensirion, 2012]

Equação HR real:

$$RH_{real} = (T - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear} \quad (4.4)$$

Nesta equação, T representa a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) obtida através da equação 4.1, RH_{linear} a humidade relativa linear obtida através da equação 4.3 e t_1 , t_2 os valores tabelados e obtidos em função do número de bits devolvidos pelo sensor de humidade tendo em conta a tabela 4.4.

Tabela 4.4: *Coeficientes de conversão da humidade real (SO_{RH})*

| SO_{RH} | t_1 | t_2 |
|-----------|-------|---------|
| 12 bit | 0,01 | 0,00008 |
| 8 bit | 0,01 | 0,00128 |

Fonte: [Sensirion, 2012]

Sendo também 12 o número de bits devolvidos pelo módulo da humidade, a obtenção da temperatura real é obtida através das seguintes equações:

$$RH_{linear} = -2,0468 + 0,0367 \cdot SO_{RH} + (-1,5955E - 6) \cdot SO_{RH}^2 \quad (4.5)$$

$$RH_{real} = (T - 25) \cdot (0,01 + 0,00008 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear} \quad (4.6)$$

O valor de SO_{RH} é capturado pelo sensor através da função **Humidity.read()** do nesC e adicionado ao campo **humidity** da mensagem Wsn-Message aquando o seu envio.

RSSI e LQI

O envio e recepção de pacotes no TinyOS através de transceptores (*radio transceivers*) cc2420 é feito recorrendo a uma estrutura de dados *standard*: `message_t`. Esta estrutura é constituída pelos atributos **header**, **data**, **footer** e **metadata** [TinyOS, 2012b]. (Listing 4.3)

```
typedef nx_struct message_t {  
2   nx_uint8_t header[ sizeof( message_header_t ) ];  
   nx_uint8_t data[ TOSHLDATALENGTH ];  
4   nx_uint8_t footer[ sizeof( message_footer_t ) ];  
   nx_uint8_t metadata[ sizeof( message_metadata_t ) ];  
6 } message_t;
```

Listing 4.3: Estrutura de uma `message_t`

Numa `message_t` o atributo `data` é o único atributo que pode ser alterado dinamicamente, i.e., pelo programador, todos os outros (*header*, *footer* e *metadata*) apenas podem ser alterados pelo data-link layer. Contudo, a informação contida no *header*, *footer* e *metada* pode ser acedida através de interfaces nesC.

No nosso caso, a informação contida no atributo `data` corresponde à estrutura de dados `WsnMessage`.

O RSSI e LQI encontram-se definidos no atributo *metadata* (Listing 4.3) e são alterados pelo data-link *layer* aquando a recepção de uma mensagem. Estes valores podem ser obtidos no nesC através do uso das interfaces **getLqi**(`message_t *p_msg`) e **getRssi**(`message_t *p_msg`) definidas em `tos.chips.cc2420.interfaces.CC2420Packet` [TinyOS, 2012a].

A função dos receptores consiste em capturar um pacote de dados (emitido em broadcast por um emissor) e obter os atributos **metadata** e **data** contidos na **message_t** do pacote recebido. Depois de obtidos estes atributos é criada uma nova mensagem `WsnMessage` igual à existente no atributo `data` e alterados os campos `WsnMessage.rssi` e `WsnMessage.lqi`, de acordo com os valores contidos no atributo `metadata` (`getLqi()` e `getRssi()`). Por último, o receptor adiciona o seu ID ao campo `WsnMessage.readerid` e envia a nova `WsnMessage` para a estação base.

Conversão do RSSI em distância

Depois de obtido o RSSI com que determinado pacote é interceptado por um receptor, é necessário obter uma relação entre este e a distância. Esta relação é necessária já que o sistema de localização baseia-se na distância do emissor a um conjunto receptores.

Para obter uma relação entre estas duas métricas, começou-se por avaliar qual o comportamento do RSSI com o aumento da distância (Capítulo 6). Depois de observado este comportamento procedeu-se à pesquisa de um método capaz de relacionar um valor de RSSI em distância. Esta relação é dada pela equação 4.7 definida em [Patwari, 2005] e ajustada em [Ottoy et al., 2009]. Nesta equação A representa o valor de RSSI obtido a um metro de distância entre sensores (receptor e emissor), n a perda de pacotes e d a distância.

$$RSSI(d) = A - 10n \log \frac{d}{1} \quad (4.7)$$

Através do reajustamento da equação 4.7 é possível obter a equação de n (equação 4.8).

$$n = \frac{(A - RSSI)}{10 \log \frac{d}{1}} \quad (4.8)$$

Uma vez que o valor de A varia de acordo com o hardware e n varia de acordo com o ambiente [Verbaendert et al., 2008], foi necessário calibrar estas variáveis de acordo com o ambiente onde a *testbed* se encontra (laboratório LCTSense) e o hardware utilizado (telosB). A calibração destas variáveis teve como objectivo filtrar algum ruído existente.

Para a transmissão de dados, os sensores TelosB permitem o uso de dois tipos de antena: (i) o primeiro tipo consiste no uso da antena interna designada *Planar Inverted F Antenna (PIFA)* e disponível com o sensor, (ii) e o segundo tipo no uso de uma antena externa (conector RF coaxial) designado SubMiniature version A (SMA).

Na implementação da *testbed* todos os sensores utilizados possuem apenas

a antena interna. Desta forma, a calibração de A foi feita de acordo com este tipo de antena. O facto das antenas utilizadas serem PIFA, proporciona uma variância no RSSI conforme o ângulo de incisão, ao contrário das antenas SMA que são omnidireccionais.

Devido ao facto de o RSSI variar com o ângulo de incisão, para calibrar o A efectuaram-se oito medições a um metro de distância. As oito medições efectuadas variaram apenas na posição (ângulo) na qual o receptor se encontra em relação ao emissor. Depois de efectuadas as oito medições atribuiu-se o valor de A à média dos valores obtidos. Na figura 4.1 é possível observar uma representação da calibração de A e na tabela 4.5 os valores obtidos.

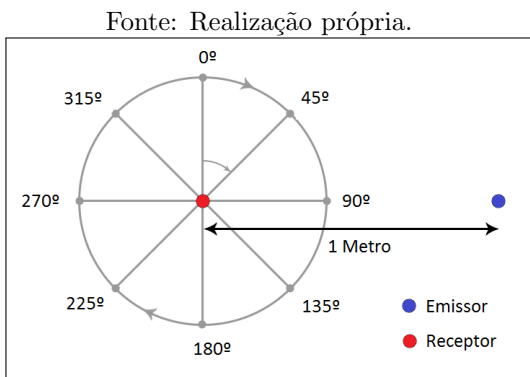


Figura 4.1: Representação da calibração de A

| Ângulo | RSSI |
|--------|---------|
| 0 | -12 |
| 45 | -9 |
| 90 | -12 |
| 135 | -19 |
| 180 | -6 |
| 225 | -8 |
| 270 | -13 |
| 315 | -12 |
| A | -11,375 |

Tabela 4.5: Resultados obtidos na calibração de A

Depois de atribuído um valor a A , é então possível calcular o valor de n , substituindo-se por -11,375 o valor de A na equação 4.8. Realizaram-se ainda medições a um, dois, três, quatro e cinco metros como forma de avaliar a perda de pacotes (n) em função da distância. Ao valor final de n corresponde à média dos valores obtidos nas cinco medições.

Através da figura 4.2 é possível visualizar uma representação das medições efectuadas, podendo ainda ser observado na tabela 4.6 os valores de n obtidos a cada medição, bem como o valor final de n .

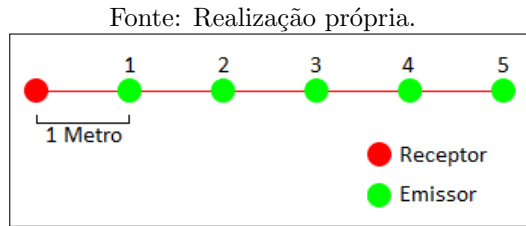


Figura 4.2: Representação da calibração de n .

| Distância | n |
|-----------|-------|
| 1 | 1,727 |
| 2 | 2,347 |
| 3 | 2,192 |
| 4 | 1,602 |
| 5 | 2,081 |
| n final | 1,989 |

Tabela 4.6: Resultados obtidos na calibração de n .

Depois de obtidos A e n , a relação entre o RSSI e a distância para a nossa *testbed* é definida através da equação 4.9.

$$d = 10^{\left(\frac{-RSSI - 11,375}{10 \cdot 1,989}\right)} \quad (4.9)$$

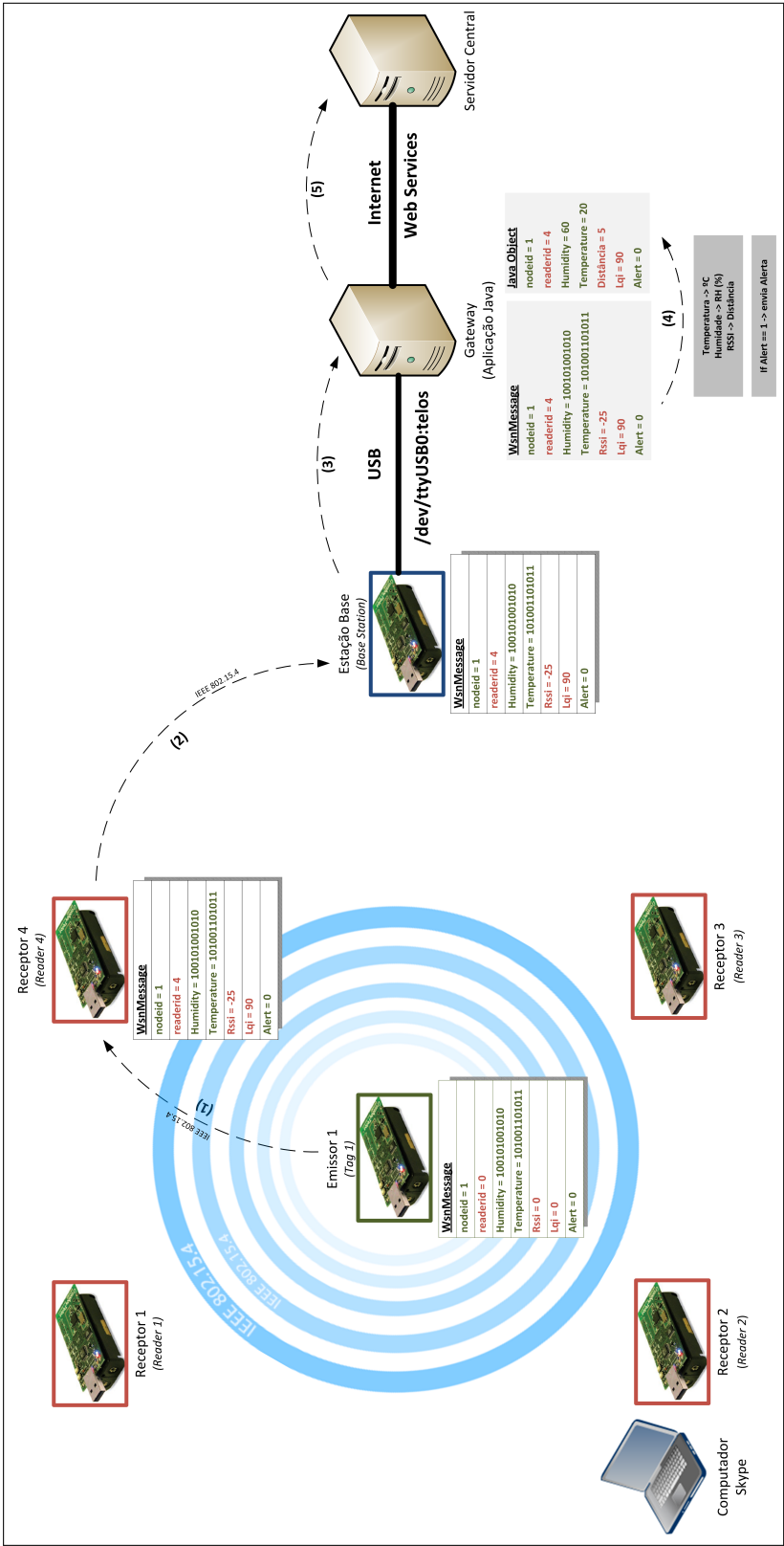
Representação esquemática

Em jeito de síntese, neste capítulo é apresentado um esquema gráfico (Figura 4.3) da arquitectura SocialSense. Desta forma, é possível obter uma representação do seu funcionamento e como interagem os diferentes componentes.

Na figura 4.3 começam por ser apresentadas as três camadas existentes na plataforma de testes. A verde, é representada a camada móvel (emissores), a vermelho a camada fixa (receptores) e a azul a estação base. No que diz respeito às mensagens WsnMessages, foi associado a cada campo a cor da camada responsável pelo seu preenchimento. Por último é representado, de forma numérica e sequencial, o fluxo de uma mensagem desde que é enviada pelo emissor até chegar ao servidor central.

Assim, foi simulado o envio de uma mensagem por parte do sensor 1 e respectiva captura pelo sensor 4. Este facto é de relativo interesse, pois permite verificar a alteração do conteúdo da mensagem conforme a etapa do percurso onde se encontra. Apesar de não estar representada no esquema, uma mensagem pode ser capturada por mais do que um sensor em simultâneo (*broadcast*).

Figura 4.3: *Arquitetura SocialSense*



Fonte: Realização própria.

4.2 Arquitectura Eneida

O desenvolvimento da arquitectura Eneida teve como objectivo conceber um sistema de localização capaz de suportar a localização de pessoas e bens em ambiente industrial, ao ar livre (*outdoor*) e com elevado ruído e interferências (ambiente crítico).

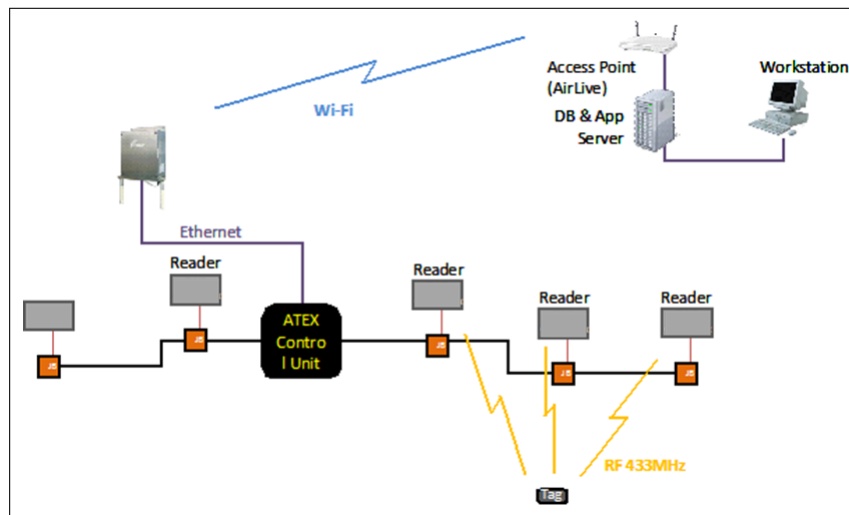
Esta arquitectura é muito semelhante à anterior (LCTSense), sendo também constituída por emissores (*tags*), receptores (*readers*) e estação base (ATEX⁶ Control Unit). A principal diferença face à arquitectura LCTSense reside no *hardware* utilizado. Este foi desenhado e implementado pela empresa Eneida, tendo em vista a sua utilização em ambientes críticos.

Como é possível observar na figura 4.4, os emissores (*tags*) são responsáveis pelo envio de pacotes de dados que contêm, entre outra informação, o número identificador do emissor (**tag_id**) e um **timestamp**. Estes pacotes são enviados a cada três segundos (podendo ser este valor ajustado) via sinais de rádio (RF 433MHz). Os receptores são responsáveis por receber os pacotes emitidos pelos emissores, por adicionar aos pacotes recebidos o seu identificador (**receptor_id**) e por enviar o pacote de dados para a unidade de controlo ATEX.

A unidade de controlo ATEX funciona como o *gateway* da arquitectura LCTSense. Ao receber os pacotes dos receptores, a unidade de controlo encaminha-os para um computador para serem armazenados numa base de dados, para posterior processamento. Actualmente, o sistema de localização é implementado sobre o computador conectado à unidade de controle ATEX.

De forma a facilitar a análise de dados e a realização de testes, a informação armazenada na base de dados da empresa é replicada (via *Virtual Private Network (VPN)*) para uma base de dados do laboratório do departamento de engenharia informática da universidade de Coimbra.

⁶ATEX é uma norma aplicável aos aparelhos e sistemas de protecção destinados a serem utilizados em atmosferas potencialmente explosivas.

Figura 4.4: *Arquitetura Eneida*

Fonte: Eneida

Capítulo 5

Aplicação SocialSense

A aplicação SocialSense desenvolvida, visa servir de interface entre o avô e a criança/jovem.

Sendo a aplicação integrada na rede social Facebook, é necessário um registo prévio na mesma. Este requisito, deve-se ao acesso exclusivo a aplicações do Facebook por parte de utilizadores registados e à associação do *login* de registo no Facebook ao registo na plataforma SocialSense.

Quando efectuado o registo na plataforma SocialSense, o avô passa a ter acesso à aplicação através da sua conta de Facebook (figura 5.1).

Depois de entrar na aplicação (figura 5.2), passa-se a ter quatro tipos de funcionalidades disponíveis, nomeadamente: informação sobre a **actividade** da criança/jovem, a possibilidade de enviar **mensagens** à criança, a possibilidade de efectuar **vídeo-chamadas** através do Skype com a criança e visualizar se existem **alertas** relacionados com a criança.

Figura 5.1: Acesso à aplicação SocialSense no Facebook.

Fonte: Realização própria.

Figura 5.2: Aplicação SocialSense.

Fonte: Realização própria.

Actividade

O principal contributo deste projecto nesta funcionalidade foi a representação da localização da criança/jovem e dos valores de temperatura e humidade captados pelo sensor da criança/jovem. Ambas as informações são actualizadas em tempo real.

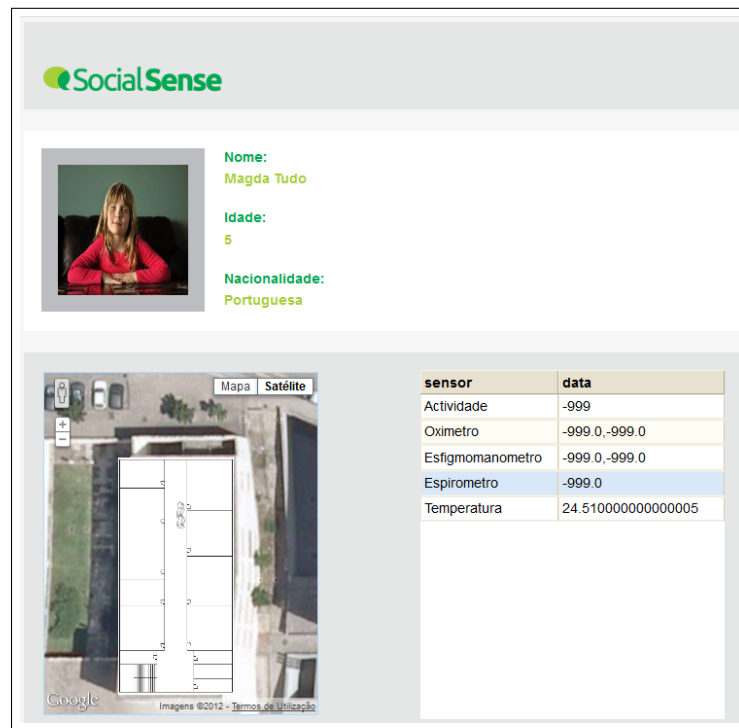
Para a representação da localização da criança foi utilizada a API *Google Maps JavaScript API*. Esta API permite a representação da localização da criança no Google Maps¹.

Para esta representação, é inicialmente associada a cada sala da instituição (possuidora do nosso sistema), uma coordenada absoluta, p.e., 40.186562, -8.415149, que serve de referência para o nosso sistema de localização e é considerado a origem das coordenadas (ponto zero segundo X e zero segundo Y). Assim, para representar a posição da criança no google maps, adiciona-se ao ponto de referências as componentes X e Y obtidas no nosso sistema de localização.

Através da figura 5.3 é possível observar uma representação do sistema de localização em funcionamento.

A informação relativa à localização, temperatura e humidade é actualizada a cada dois segundos e obtida através do acesso aos *webservices* desenvolvidos no servidor, responsáveis por devolver a informação relativa a cada um deles.

¹<https://maps.google.com/>

Figura 5.3: *Interface da funcionalidade actividade.*

Fonte: Realização própria.

Mensagens

Esta funcionalidade, devido à falta de um mecanismo de envio de mensagens para telemóveis, ainda não se encontra em funcionamento.

Contudo, a sua função será a de possibilitar o envio de mensagem (SMS) para a pessoa monitorizada.

Vídeo-chamadas

Através desta funcionalidade, o avô pode efectuar chamadas de vídeo com a criança/jovem que pretender contactar.

Para esta funcionalidade foi criado um *webservice* no servidor que recebe o identificador da criança/jovem e devolve o contacto Skype da instituição onde se encontra.

Depois de obtido o contacto Skype é associado ao href do botão responsável por fazer a chamada (p.e., href="skype:socialsenseinstitution1").

Na figura 5.4 é possível observar o interface desta funcionalidade.

Figura 5.4: Interface da funcionalidade vídeo-chamada.



Fonte: Realização própria.

Alertas

Na funcionalidade é possível visualizar se existe algum tipo de alerta associado à criança/jovem.

Desta forma, caso a criança/jovem pressione o botão de 'usr' do seu dispositivo ou tenha uma queda repentina, esta acção é de imediato registada na base de dados e apresentada na tabela de alertas.

Para uma melhor visualização, cada tipo de alerta tem um símbolo associ-

ado e só são expostos os últimos trinta alertas. Na figura 5.5 pode observar-se as mensagens de alerta que se encontram na base de dados.

Figura 5.5: *Interface da funcionalidade Alertas.*

| time | photo | type |
|--------------------------|-------|------|
| Tue Jun 19 2012 16:49:24 | | |
| Tue Jun 19 2012 16:49:07 | | |
| Tue Jun 19 2012 16:48:24 | | |
| Tue Jun 19 2012 16:47:54 | | |
| Tue Jun 19 2012 11:32:10 | | |
| Mon May 21 2012 18:26:00 | | |
| Mon May 21 2012 18:26:00 | | |
| Mon May 21 2012 18:23:49 | | |
| Mon May 21 2012 18:23:49 | | |
| Mon May 21 2012 18:22:00 | | |

Fonte: Realização própria.

5.1 Testes realizados

Para testar o funcionamento da aplicação SocialSense foram efectuados testes funcionais. Estes testes serviram especialmente para verificar qual a estabilidade da aplicação e a existência *bugs*.

Dos testes realizados, conclui-se que a aplicação está cem por cento funcional, não existindo qualquer tipo de bug que comprometa o seu funcionamento.

Tendo a aplicação apresentado sempre bom desempenho, não se efectuaram testes específicos para esta avaliação. Contudo, é de notar que o seu desempenho está proporcionalmente relacionado com as características do servidor onde a aplicação se encontra alojada.

Capítulo 6

Testes realizados e resultados obtidos

Nesta secção são apresentados os testes efectuados em ambas as arquitecturas, e avaliados os resultados obtidos.

Na arquitectura SocialSense, os testes correspondem à avaliação do comportamento do RSSI ao longo da distância, depois é avaliado o método de conversão RSSI em distância e, por último, o sistema de localização desenvolvido.

Para a arquitectura Eneida são apresentados os testes realizados aos algoritmos de localização estudados e desenvolvidos.

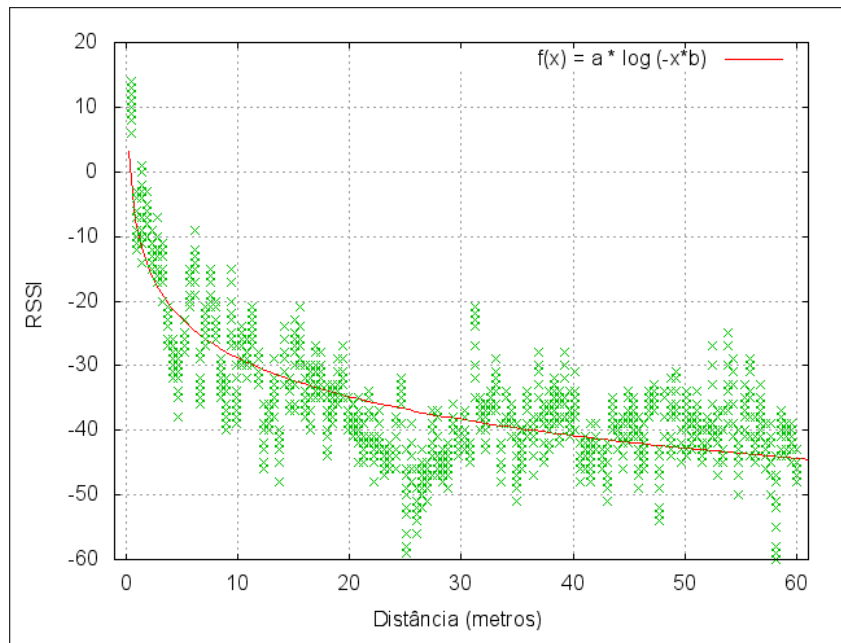
Arquitectura SocialSense

Relação entre o RSSI - distância

Para obter uma **relação entre o RSSI e a distância**, começou-se por avaliar qual o comportamento do RSSI face ao aumento da distância.

Esta avaliação consistiu no registo dos valores de RSSI obtidos aquando o afastamento (caminhar) do emissor face ao receptor de forma pausada e sobre a palma da mão numa distância de sessenta metros. Esta avaliação foi repetida dez vezes, de forma a obter uma amostra de dados rigorosa, num espaço amplo e ao livre. Na figura 6.1 encontram-se representados os valores obtidos e a tendência logarítmica ($f(x)$).

Figura 6.1: *Relação RSSI - Distância ao longo de 60 metros*



Fonte: Realização própria.

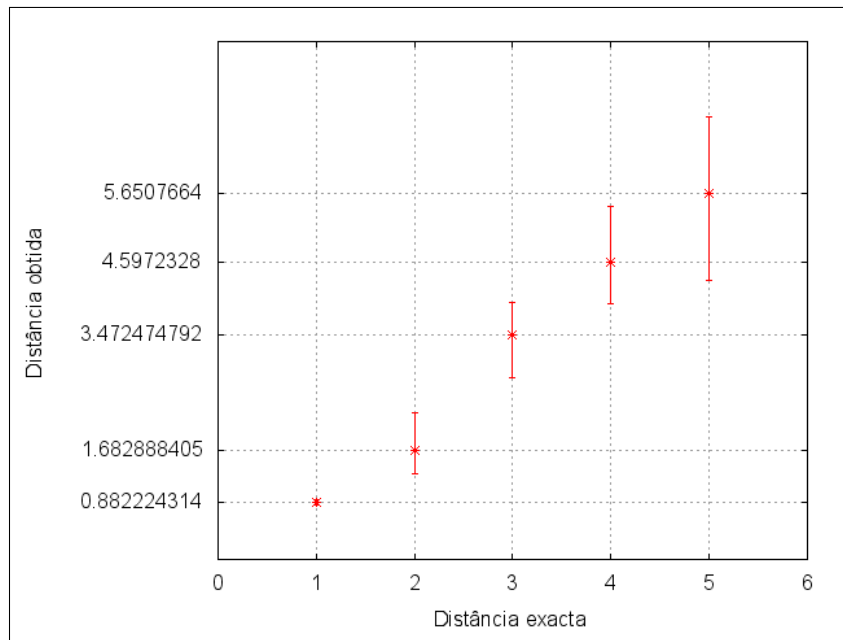
Através da análise desta figura é possível observar e comprovar a elevada instabilidade do RSSI. Esta instabilidade revela-se através da ampla dispersão de valores obtidos para uma determinada distância. É também possível observar que a partir de determinada distância ($\simeq 25$ metros), os valores obtidos passam a tornar-se mais constantes. Este facto revela-se prejudicial, visto tornar a relação RSSI - distância mais imprecisa, i.e., para uma ampla distância correspondem poucos valores de RSSI, reflectindo-se na colocação de nós sensores a uma distância máxima de vinte e cinco metros (25 metros).

Conversão RSSI em distância

Depois de verificado qual o comportamento do RSSI face ao aumento da distância procedemos à avaliação do método de conversão (RSSI \rightarrow distância).

A avaliação do método de conversão de RSSI para distância, consistiu na medição dos valores de RSSI a uma distância de um, dois, três, quatro e cinco metros entre o emissor e o receptor. As medições foram efectuadas a estas distâncias, tendo em conta o método de calibração da fórmula e a rápida variância do RSSI nestas distâncias (figura 6.1). Para cada distância foram efectuadas dez medições cujos valores obtidos se encontram na figura 6.2.

Figura 6.2: Resultado obtidos nos testes do método de conversão RSSI \rightarrow distância



Fonte: Realização própria.

Através dos resultados obtidos, observa-se uma imprecisão no cálculo da distância através do RSSI. Esta imprecisão revela-se abaixo do esperado até aos dois metros (sub-calculado, passando depois a ser sob-calculada).

Há ainda a referir o aumento da diferença entre o valor mínimo e máximo obtido a cada distância.

Sistema de localização

A avaliação do sistema de localização desenvolvido efectuou-se através de dois tipos de testes. O primeiro consistiu na avaliação por simulação e o segundo foi efectuado através do uso na arquitectura desenvolvida (Arquitectura LCTSense).

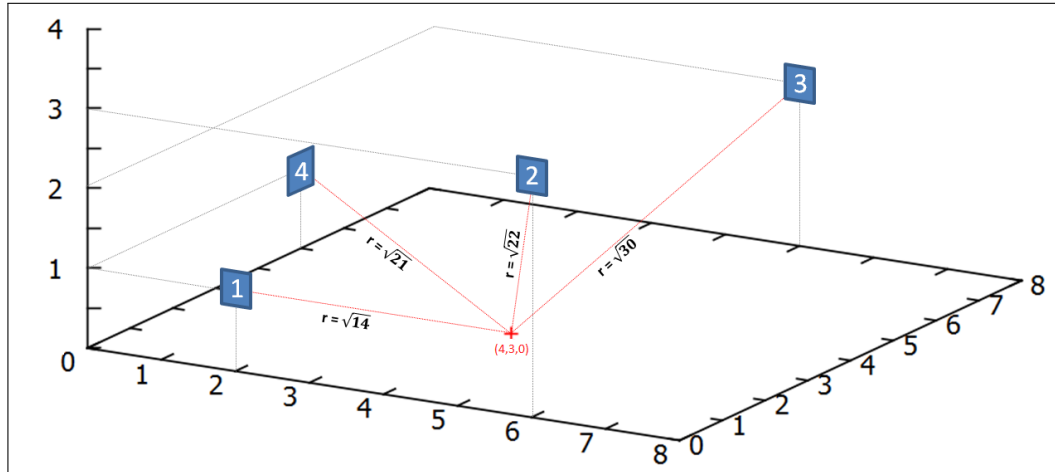
A realização do primeiro teste teve como objectivo avaliar qual o comportamento do sistema de localização quando sujeito a medidas imprecisas. Para esta avaliação simulou-se um cenário de testes, onde as distâncias (raios) entre os receptores e o emissor eram precisas e conhecidas. A obtenção destas distâncias foi feita tendo em conta a posição do emissor e dos receptores.

Na figura 6.3 está representado o cenário de simulação onde: os quadrados a azul representam os receptores, a cruz vermelha o emissor (de posição $x=4$, $y=3$ e $z=0$) e as linhas tracejadas a vermelho as distâncias exactas dos receptores ao emissor. Na tabela 6.1 está resumida posição de cada receptor e respectiva e distância (raio) ao emissor.

Tabela 6.1: Coordenada x,y,z do receptores e respectiva distância (precisa) ao emissor.

| Receptor | x | y | z | raio |
|----------|---|---|---|----------------------------|
| 1 | 2 | 0 | 1 | $\sqrt{14} \simeq 3,74165$ |
| 2 | 6 | 0 | 3 | $\sqrt{22} \simeq 4,69041$ |
| 3 | 5 | 8 | 2 | $\sqrt{30} \simeq 5,47722$ |
| 4 | 0 | 5 | 1 | $\sqrt{20} \simeq 4,58257$ |

Depois de implementado o cenário de simulação, procedeu-se à avaliação do sistema de localização através da utilização dos valores definidos na tabela 6.1. Neste teste foram utilizados valores precisos como forma de verificar

Figura 6.3: *Cenário de simulação*

Fonte: Realização própria.

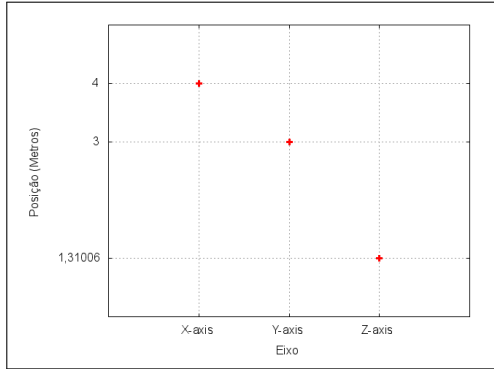
a fidedignidade dos algoritmos, i.e., se os valores devolvidos pelo sistema de localização correspondessem aos do emissor ($x=4$, $y=3$ e $z=0$), os algoritmos implementados eram considerados válidos.

Como forma de avaliar a eficiência do uso dos mínimos quadrados não lineares, face aos mínimos quadrados lineares, foram avaliados ambos os resultados.

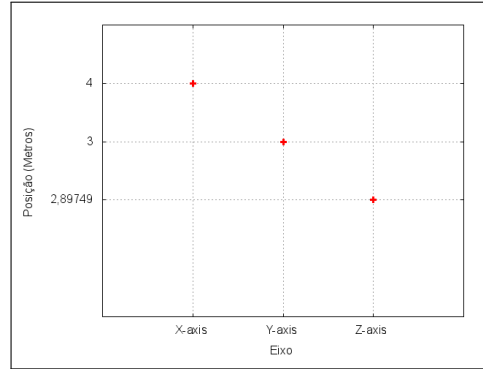
Efectuado o teste com medições precisas, são então avaliados os resultados (figura 6.4 e 6.5). Nesta análise, verifica-se uma elevada precisão de ambos os métodos para as componentes X e Y da posição. Contudo, ambos se revelam bastante imprecisos no que diz respeito à coordenada Z. Apesar desta imprecisão, os métodos são considerados válidos, dado que para o sistema de localização pretendido a componente Z não se revela essencial.

Tendo ambos os métodos revelado precisão aquando o uso de distâncias exactas, passou-se à realização de testes com distâncias imprecisas. Através destes novos testes, é possível avaliar de forma mais real, o desempenho do sistema de localização.

Para a realização dos testes com distâncias imprecisas foram criados e utilizados cinco tipos de imprecisão: imprecisão até um metro, até dois me-

Figura 6.4: Resultados obtidos no sistema linear com distâncias precisas

Fonte: Realização própria.

Figura 6.5: Resultados obtidos no sistema não linear com distâncias precisas

Fonte: Realização própria.

tros, até três metros, até quatro metros e até cinco metros. A diferença entre cada tipo de imprecisão reside no valor máximo que a imprecisão gerada (aleatoriamente) pode tomar. Para imprecisões até um metro, só podem ser gerados valores entre -1 e 1 $[-1:1]$, para imprecisões até dois metros só podem ser gerados valores entre -2 e 2 $[-2:2]$ e assim sucessivamente até valores entre $[-5:5]$ para imprecisões até cinco metros.

Depois de geradas quatro imprecisões (uma para cada sensor) de cada tipo, estas são adicionadas ou subtraídas (dependendo do sinal tomado) ao raio inicial (distância precisa). Na tabela 6.2 são apresentados os valores de imprecisão gerados para cada tipo e na 6.3 os valores das novas distâncias (imprecisas).

Tabela 6.2: Imprecisões obtidas de acordo com o tipo.

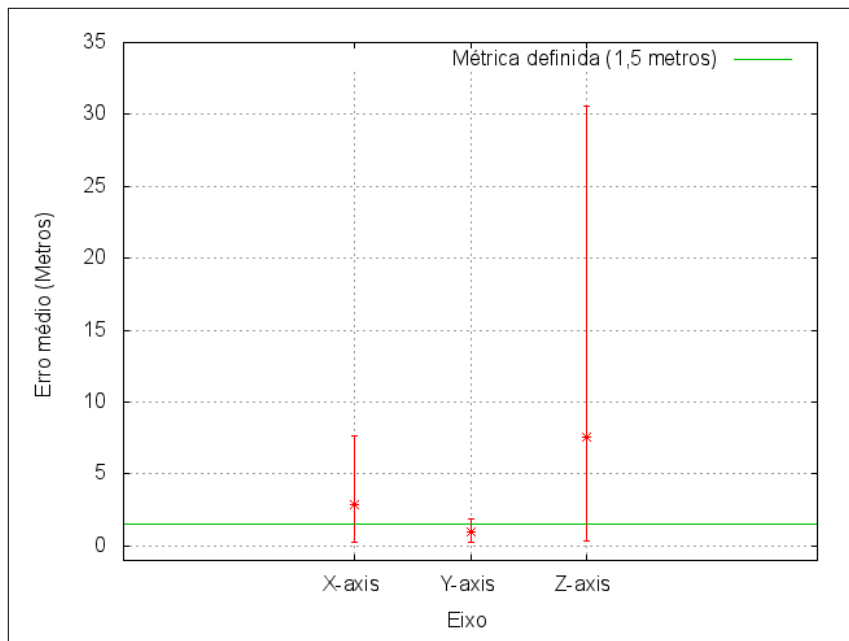
| Receptor | $[-1:1]$ | $[-2:2]$ | $[-3:3]$ | $[-4:4]$ | $[-5:5]$ |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -0,09 | -0,36 | -0,24 | 3,6 | 1,35 |
| 2 | 0,16 | 0,17 | -0,28 | -3,9 | -4,41 |
| 3 | -0,4 | 1,01 | -2,52 | -0,55 | -0,88 |
| 4 | -0,72 | 1,6 | 1,28 | -1,2 | 2,53 |

Obtidas as distâncias imprecisas necessárias, passou-se à realização de testes tendo em conta os diferentes tipo de imprecisão.

Tabela 6.3: Valores de distância com a adição/subtração da imprecisão.

| Receptor | [-1:1] | [-2:2] | [-3:3] | [-4:4] | [-5:5] |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 3,65165 | 3,38165 | 3,50165 | 7,34165 | 5,09165 |
| 2 | 4,85041 | 4,86041 | 4,41041 | 0,79041 | 0,28041 |
| 3 | 5,07722 | 6,48722 | 2,95722 | 4,92722 | 4,59722 |
| 4 | 3,86257 | 6,18257 | 5,86257 | 3,38257 | 7,11257 |

Os resultados obtidos para o sistema linear encontram-se discriminados na tabela 6.4 e representados na figura 6.6. Os resultados do sistema não linear encontram-se discriminados na tabela 6.5 e representados na figura 6.7.

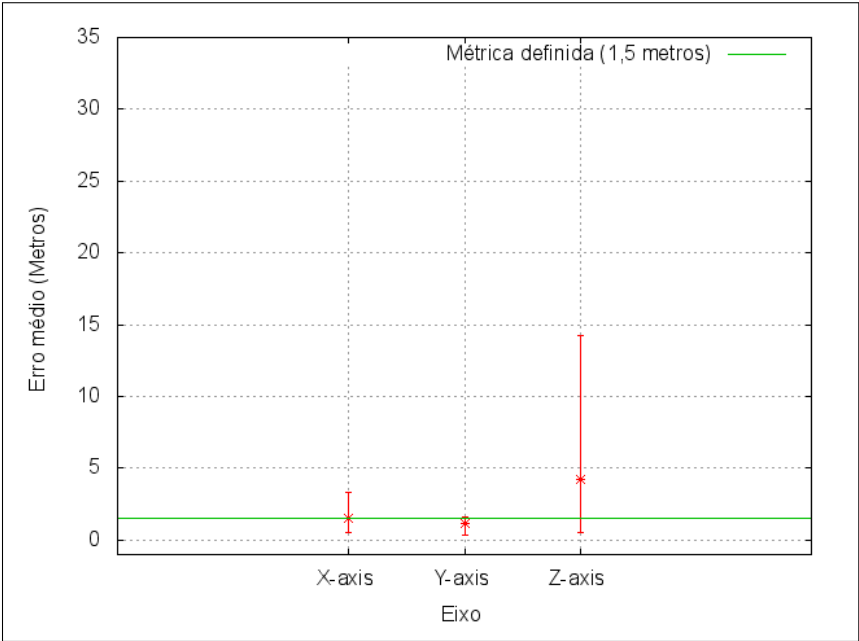
Figura 6.6: Representação dos resultados obtidos nos diferentes tipos de imprecisão para o sistema de localização linear.

Fonte: Realização própria.

Tabela 6.4: Resultados obtidos nos diferentes tipos de imprecisão para o sistema de localização linear.

| Receptor | [-1:1] | [-2:2] | [-3:3] | [-4:4] | [-5:5] | Média |
|----------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| x | 0,47759 | 2,27468 | 0,27205 | 7,636689 | 3,82492 | 2,89718 |
| y | 0,35047 | 1,06898 | 1,16046 | 1,891135 | 0,23640 | 0,94149 |
| z | 0,40721 | 5,59637 | 0,34164 | 30,59217 | 0,81174 | 7,54983 |

Figura 6.7: Representação dos resultados obtidos nos diferentes tipos de imprecisão para o sistema de localização não linear.



Fonte: Realização própria.

Tabela 6.5: Resultados obtidos nos diferentes tipos de imprecisão para o sistema de localização não linear.

| Receptor | [-1:1] | [-2:2] | [-3:3] | [-4:4] | [-5:5] | Média |
|----------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| x | 0,52218 | 1,17132 | 1,31895 | 3,32784 | 1,14672 | 1,49740 |
| y | 0,34892 | 1,24837 | 1,15247 | 1,40248 | 1,63328 | 1,15710 |
| z | 0,54111 | 0,88803 | 3,29161 | 14,23223 | 2,23317 | 4,23723 |

Através da análise dos resultados obtidos, verificamos a não obtenção de posições precisas em ambos os eixos nos dois métodos (linear e não linear).

Porém, relacionando ambos os métodos, é visível um aumento de precisão aquando o uso do não linear. Adjacente a este aumento de precisão está a variação dos valores obtidos, i.e., o valor mínimo e máximo obtido encontram-se mais próximos da média.

Apesar dos métodos não se revelarem cem por cento precisos, aquando o uso do não linear, os valores obtidos encontram-se abaixo da métrica especificada para o erro máximo (erro máximo de um metro e meio (1,5 metros)).

Cumprindo o método não linear os requisitos especificados (erro máximo), procedeu-se à realização de testes no cenário real (Arquitectura LCTSense).

Estes testes consistiram na colocação de cinco receptores nas paredes do laboratório do Departamento de Engenharia Informática da Universidade de Coimbra, cujas dimensões são de oito metros e meio de comprimento por três metros e meio de largura (8,5m x 3,5m). Depois de colocados os sensores e obtidas as suas posições (Tabela 6.6), foram realizadas trinta determinações da posição do emissor através do sistema de localização desenvolvido e tendo em conta os valores de RSSI obtidos pelos cinco receptores. O emissor encontrava-se colocado na posição três metros e meio segundo x (x=3,5m) e dois metros e meio segundo y (y=2,5m).

Tabela 6.6: *Posição dos receptores no cenário de testes.*

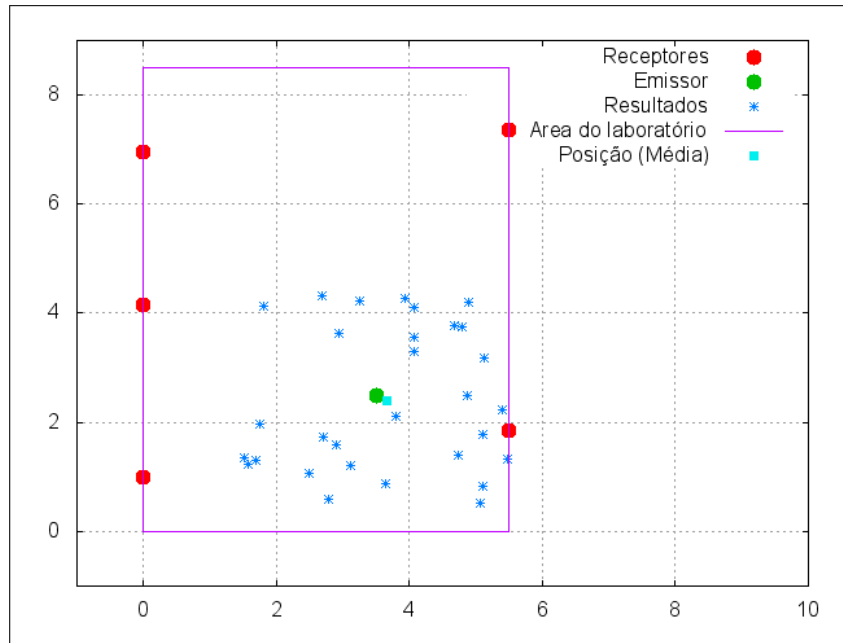
| Receptor (ID) | Coordenada X | Coordenada Y |
|---------------|--------------|--------------|
| 1 | 5.50 | 1.85 |
| 2 | 0 | 6.96 |
| 3 | 0 | 1.00 |
| 4 | 5.5 | 7.35 |
| 5 | 0 | 4.16 |

Depois de obtidas as trinta medições efectuou-se uma média, como forma de obter uma aproximação tendo em conta o conjunto de possíveis localizações obtidas.

Uma representação deste cenário de testes e dos resultados obtidos é

possível através da figura 6.8. Nesta representação a linha a roxo representa a área do laboratório, a vermelho são representados os cinco receptores utilizados, os asteriscos correspondem às trinta localizações obtidas e o quadrado a azul a localização média, i.e., tendo em conta as trinta medições obtidas.

Figura 6.8: *Representação do cenário de testes e dos resultados obtidos*



Fonte: Realização própria.

Através da análise dos resultados obtidos observa-se uma imprecisão na determinação da posição do emissor. Esta é muito semelhante à obtida no teste por simulação. Ainda assim, é de esperar uma imprecisão mais elevada neste teste visto que à imprecisão da obtenção do RSSI e da sua conversão para distância, acresce a imprecisão da obtenção das posições dos receptores (feita recorrendo a uma fita métrica).

Apesar do nó sensor se manter estático, é de referir a elevada aproximação à posição real do emissor aquando o uso da média das trinta posições calculadas. Apesar de este método causar um atraso na localização da posição (visto necessitar localizar primeiro trinta medições), caso não seja necessário uma localização em tempo real (de dois em dois segundos), a sua utilização torna-se viável. Contudo, é ainda de reforçar o facto emissor fixo e com isto

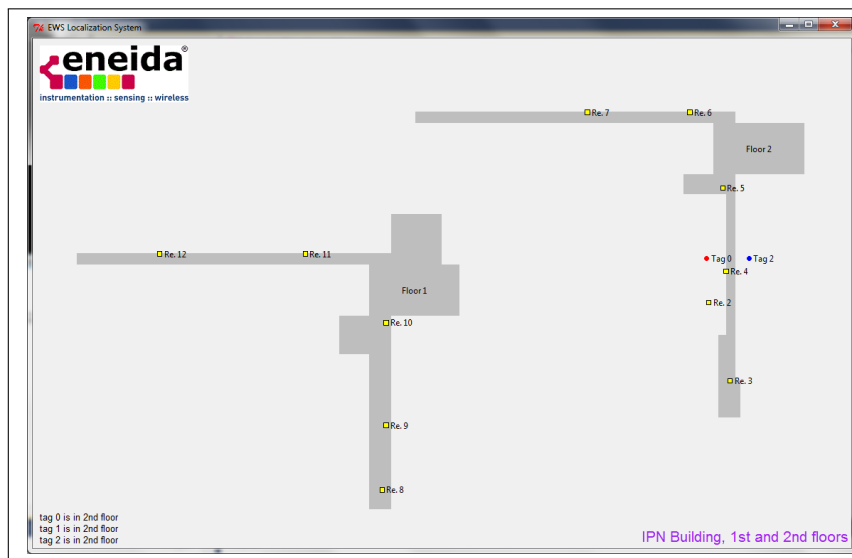
não ser adicionado o facto movimento.

Arquitectura Eneida

Os testes realizados para a Arquitectura Eneida seguiram uma metodologia igual à LCTsense.

Nestes testes, o cenário utilizado foi o edifício no qual a empresa Eneida se encontra sedeadada (edifício do IPN). Este cenário é constituído por dois pisos cuja representação se encontra na figura 6.9.

Figura 6.9: *Representação do cenário Eneida.*



Fonte: Eneida.

Sendo o âmbito deste projecto focado preferencialmente nas redes de sensores sem fios, dos métodos aqui apresentados o principal contributo (estudo e implementação) recaiu na trilateração. Os restantes ficaram ao encargo do aluno de doutoramento Thanh-Dien Tran. Esta situação deveu-se à elevada complexidade matemática exigida cujo estudo, avaliação e implementação não se tornavam plausíveis para a duração do projecto. Ainda assim, existiu

sempre um acompanhamento dos métodos desenvolvidos e colaboração na realização dos testes efectuado e na interpretação dos resultados obtidos.

Os resultados apresentados na tabela (tabela 6.7) correspondem ao uso da trilateração, de redes neurais¹ (*neural network*) e do algoritmo *k-nearest neighbor*².

Tabela 6.7: Resultados, em metros, obtidos nos métodos da arquitectura Eneida

| | Trilateração | Neural network | K-nearest neighbors |
|--------|--------------|----------------|---------------------|
| Mínimo | 13,40 | 23,67 | 1,71 |
| Máximo | 63,72 | 61,99 | 28,72 |
| Média | 22,29 | 48,23 | 9 |

Através dos resultados obtidos, verifica-se que, em média, o uso destes métodos em ambientes amplos, com elevado ruído e interferências se revelam extremamente imprecisos e não se encontram dentro das métricas estipuladas (5 metros).

Apesar da elevada imprecisão obtida em ambos os métodos, quando comparados é perceptível a superioridade do *K-nearest neighbors*. Assim, este método tem sido alvo de incrementos como forma de melhorar a sua precisão. Um exemplo dessas melhorias é o uso de filtros de Kalman³ (*Kalman filter*).

¹http://pt.wikipedia.org/wiki/Rede_neural

²http://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbor_algorithm

³http://pt.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Kalman

Capítulo 7

Conclusão

O presente projecto teve como objectivo a proposta e avaliação de mecanismos de localização em redes de sensores sem fios para diferentes ambientes, centrando-se na criação de duas plataformas – SocialSense e Eneida –, que permitem monitorizar pessoas e/ou objectos em dois tipos de cenários: *indoor* e *outdoor*, respectivamente.

Assim, a plataforma SocialSense foi desenvolvida tendo como propósito a monitorização e localização de pessoas em ambientes fechados (indoor), sendo a sua aplicabilidade programada para a utilização em contextos sociais, nomeadamente em instituições de apoio e acolhimento a crianças e jovens socialmente vulneráveis, criando-se os denominados “avós virtuais”. Mais tarde, e a seguir aos contactos estabelecidos com os investigadores do Centro de Estudos Sociais (CES) da Universidade de Coimbra, esta aplicação foi adaptada para uso em perfis familiares e por pessoas dependentes com necessidade de ter um acompanhamento constante. Esta aplicação, esteve ainda na base do desenvolvimento de duas candidaturas à SAPO Labs. Destas candidaturas, a primeira resultou numa aceitação de categoria 3 (não existe patrocínio económico, mas proporciona o acesso a todos os serviços e infra-estrutura SAPO) e a segunda, elaborada tendo em conta o feedback dado pela SAPO, ainda se encontra em avaliação.

A utilização de mecanismos de localização em âmbito empresarial foi proposta e estudada na plataforma Eneida, pois foi esta empresa, especializada

em instrumentação, energia, comunicação e dedicada à indústria de processos, que identificou como necessidade a constituição de um sistema de monitorização para ambientes críticos. A plataforma criada de acordo com as especificidades da empresa Eneida, possui a potencialidade de localizar pessoas e bens num ambiente industrial, ao ar livre (*outdoor*), caracterizado por elevados ruídos e interferências.

Pretendendo seleccionar os métodos e as técnicas mais apropriadas para o desenvolvimento do trabalho proposto, começou-se por avaliar aqueles já existentes para determinar a localização de uma pessoa ou objecto num espaço físico. Desta avaliação, resultou a implementação de um sistema de localização baseado em RSSI e trilateração. A escolha do uso de RSSI como tipo de medição deveu-se, sobretudo, às limitações do hardware existente, quer nos nós sensores utilizados na plataforma SocialSense, quer nos nós sensores desenvolvidos pela empresa Eneida para a sua própria plataforma. Relativamente à trilateração, a sua escolha justificou-se devido à inexistente necessidade de sincronização dos relógios por parte dos receptores.

Apesar do uso do RSSI e da trilateração se revelar, por si só, pouco preciso para ambos os cenários (*indoor* e *outdoor*), aquando do uso de métodos não lineares obteve-se uma melhoria significativa para o ambiente *indoor*. Esta melhoria correspondeu à obtenção da localização dentro dos requisitos especificados (erro máximo de um metro e meio). Há ainda a referir que este método revelou melhores resultados de precisão na determinação da localização recorrendo às últimas dez medições efectuadas. Contudo, é de referenciar que estes resultados foram obtidos através de medições estáticas do nó sensor alvo de localização.

No cenário *outdoor*, a utilização de trilateração e RSSI revelou-se bastante impreciso, mesmo com o uso de sistemas não lineares. Deste modo, foram avaliados outros métodos de localização, tais como: *Neural network* e *K-nearest neighbors*. Também nestes métodos não foi possível obter uma localização dentro dos parâmetros definidos inicialmente (erro máximo de cinco metros). Ainda assim, comparando-os, é perceptível a superioridade do método *K-nearest neighbors*, atingindo um erro médio de nove metros.

Devido a restrições, como por exemplo, o número de nós sensores existentes para a plataforma SocialSense, não foi possível efectuar mais testes.

Um exemplo destes testes consistia em verificar o comportamento aquando o incremento do número de nós sensores, i.e., qual o aumento de precisão, quando incrementado o número de receptores.

Ainda em relação à plataforma SocialSense, a parceria com o CES vem permitir que com o seu conhecimento (*know-how*) nesta área, se adapte esta plataforma a novos casos de estudo.

Apesar de não ser objectivo deste projecto, a privacidade e a segurança são factores de extrema importância nos dias de hoje. Assim, a proposta e a implementação de mecanismos que proporcionem confidencialidade e não-repúdio são importantes áreas a considerar para trabalho futuro. Ainda como indicação de possível aprofundamento numa fase posterior, é definida a expansão da actual arquitectura LCTSense SocialSense para um sistema bidireccional, i.e., um sistema em que a pessoa que monitoriza possa comunicar directamente com quem está a ser monitorizado, p.e., o carregar num botão na aplicação SocialSense permite espoletar uma acção (piscar dos leds) no sensor da pessoa monitorizada.

Relativamente à plataforma Eneida propomos como investimento futuro, a avaliação do uso de filtros de Kalman (*Kalman filters*) como método para obter resultados mais precisos.

Estes são alguns dos aspectos que salientamos como mais relevantes e a ter em conta em posteriores desenvolvimentos do trabalho aqui exposto, considerando que a realização do presente trabalho foi mais um contributo para o tema da monitorização com base em redes de sensores sem fios.

Bibliografia

- [Awad et al., 2007] Awad, a., Frunzke, T., and Dressler, F. (2007). Adaptive Distance Estimation and Localization in WSN using RSSI Measures. *10th Euromicro Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools (DSD 2007)*, (Dsd):471–478.
- [Barleze, 2003] Barleze, A. (2003). Fusão de dados em esquemas híbridos envolvendo agps para localização de posicionamento.
- [Crossbow, 2012] Crossbow (2012). Telosb datasheet. http://www.willow.co.uk/TelosB_Datasheet.pdf.
- [Embree, 2009] Embree, M. (2009). Using a QR Decomposition to Solve Linear Systems.
- [Genco and Sorce, 2010] Genco, A. and Sorce, S. (2010). *Pervasive Systems and Ubiquitous Computing*. WIT Press, 1st edition.
- [Gratton and Lawless, 2008] Gratton, S. and Lawless, A. (2008). Approximate Gauss-Newton methods for nonlinear least squares problems. *SIAM JOURNAL OF*, pages 1–25.
- [Headquarters, 2008] Headquarters, A. (2008). Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide. (6387).
- [Krumm, 2009] Krumm, J. (2009). *Ubiquitous Computing Fundamentals*, volume 53. CRC Press.
- [Mao and Anderson,] Mao, G. and Anderson, B. D. O. Wireless Sensor Network Localization Techniques. *Measurement Techniques*, pages 1–19.

- [Ottoy et al., 2009] Ottoy, G., Nieuwenhuyse, A. V., and D'hoë, K. (2009). Improving the Performance of a RSS-based Location Estimation System, Study and Evaluation. *Proceedings of the First*, (1).
- [Patwari, 2005] Patwari, N. (2005). Location estimation in sensor networks. Master's thesis, University of Michigan.
- [Sensirion, 2012] Sensirion (2012). Datasheet sht1x (sht10, sht11, sht15) - humidity and temperature sensor. <http://courses.cs.tau.ac.il/embedded/docs/TelosB/SHT11.pdf>.
- [Tiago and Pinto, 2007] Tiago, H. and Pinto, G. (2007). *Desenvolvimento de Modelos de Localização para Tecnologias de Redes sem Fios*. PhD thesis.
- [TinyOS, 2012a] TinyOS (2012a). Interface: tos.chips.cc2420.interfaces.cc2420packet. <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/tos.chips.cc2420.interfaces.CC2420Packet.html>.
- [TinyOS, 2012b] TinyOS (2012b). message_t. <http://www.tinyos.net/tinyos-2.x/doc/html/tep111.html>.
- [Verbaendert et al., 2008] Verbaendert, N., Henderickx, D., and Doggen, J. (2008). Emote : A Wireless Sensor Network Monitoring Tool With Node Localization Using RSSI. pages 1–8.
- [William S. Murphy and Hereman, 1999] William S. Murphy, J. and Hereman, W. (1999). Determination of a Position in Three Dimensions Using Trilateration and Approximate Distances.

Apêndice A

Planeamento do projecto

Neste apêndice encontram-se representados os mapas de Gantt referentes ao planeamento estimado (figura A.1) e efectivo (figura A.2).

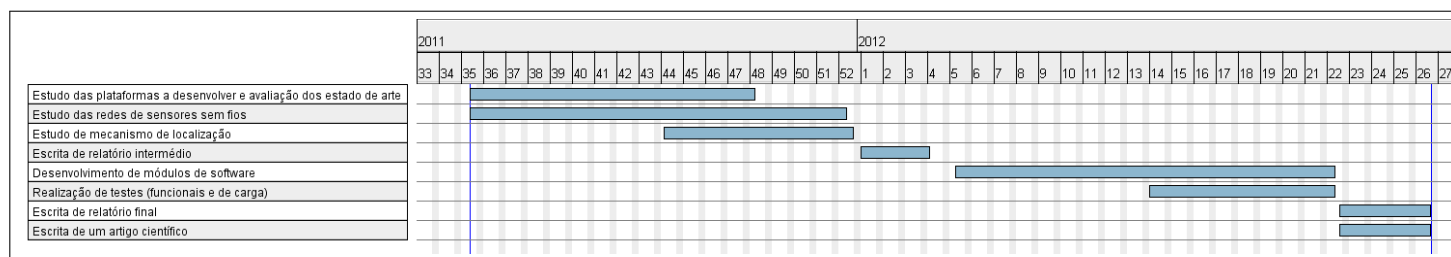


Figura A.1: *Planeamento estimado*

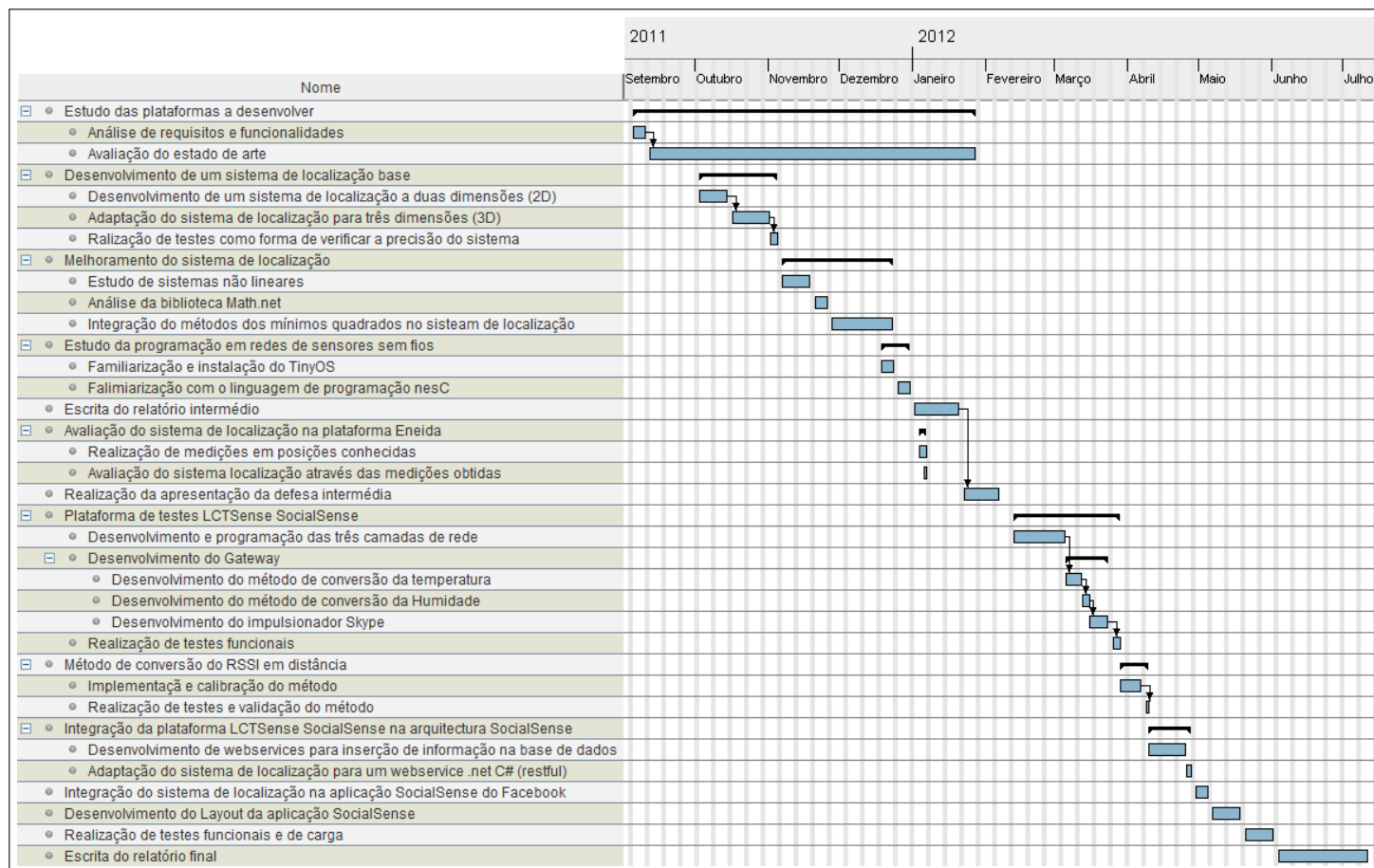


Figura A.2: Planeamento efectivo

Apêndice B

Candidaturas Sapo.Labs

Neste apêndice são apresentadas na íntegra, as duas candidaturas feitas à Sapo.Labs.

B.1 Primeira candidatura

Proposta Labs.Sapo

Nome do projecto – Social Ubiquity – Youth5G

Abstract/Resumo – *“Resumo sucinto do que é o projeto, abordando os principais problemas científicos e tecnológicos a tratar e, quando relevante, deve incluir uma breve análise do estado da arte. Deverá ainda destacar os aspectos de inovação dos conceitos apresentados e os resultados expectáveis no âmbito desta proposta.”*

The Internet is one of mankind’s most recent advancements. Yet, in the short time it has existed, it has already transformed the way our world and our society work at a very fundamental level. It has also done so at faster pace than any other massively important technological advancement. As the Internet evolved, social networking bloomed and brought together an astonishing number of users. At the same time, sensing technologies like Wireless Sensor Networks are becoming more robust and viable while the sensor nodes themselves are becoming cheaper. Modern mobile phones and smartphones have also brought us mobility in our Internet access and are also a powerful computational resource, with many interesting capabilities. Mobile phones are also becoming increasingly more powerful, common and cheaper. Never, in its entire history, did mankind have such a collection of technologies that are capable of connecting such large number of users simultaneously, at a global scale.

On the other hand, while the Web and its associated technologies will continue to evolve at increasingly faster paces, the most likely path in our technological evolution is a merge between the real and the virtual: a society where people are connected not only by their physical proximity, but also by their virtual closeness. This new trend in our civilization’s evolution is still making its first steps. Our generation is on the verge of a virtual revolution that will, in the next few decades, transform our society and open the path to many new market opportunities.

With these technological and social trends in mind, we propose Youth5G, a system that combines social networking with mobile sensing technologies to expand and provide greater functionalities to social networks and other web applications. In short, this system will focus on bringing a “real-time” component to social networking, by sharing and exploring real-time information about the users’ daily actions, social activities and visited locations. By using body-area networks and mobile phones, we intend to research and develop mechanisms that focus on “people-centric sensing” and provide a seamless connection between the virtual (social networks) and the real (the user’s daily lives). This connection brings greater value not only for the user’s social experience but also for the service provider, as the newly available information can be mined and analyzed to create more personalized product advertisement mechanisms and improve client group classification tasks.

With Youth5G we propose to implement several specific applications. Our base system will use sensors and mobile phones to detect users' activity and localization and display this information on social networks (for example, Facebook), allowing for the automatic detection of social events. On top of this base system, we intend to implement specific services that take advantage of the system's capabilities. The "Nightclub Music" service combines localization with the users' musical interests to allow DJs to know the favorite musical genres of people currently frequenting their establishments and also to share their tracklists in social networks, allowing people to know what kind of music is passing on each local nightclub beforehand. This service could be used to expand a current music service, such as SAPO's Music Box. We also consider a "Targeted Advertising" service that combines localization, activity, social network relations and information about the user's interests to provide targeted marketing, which is intended to be more meaningful and effective than common advertisement techniques.

We believe that the Youth5G system is a flexible and promising new technology with many possible applications of great value for groups that are on the forefront of communication technologies, such as SAPO and the PT group.

Trabalho desenvolvido – *“As propostas de projeto que tenham por base a continuidade de projetos que já possuam alguma maturidade, nomeadamente através de componentes já desenvolvidos em contexto letivo ou através de projetos desenvolvidos, ou em curso, com outras fontes de financiamento, são valorizados pelo labs.sapo. Neste cenário é relevante identificar as mais valias que o trabalho desenvolvido representa para esta proposta e o modo como se podem complementar. É igualmente relevante distinguir outros trabalhos de investigação desenvolvidos na área em que a proposta de enquadra.”*

This SAPO proposal intends to extend the work done by our group in the European project "GINSENG" (<http://www.ict-giseng.eu>), by providing scalable and resilient solutions for social environments. Most of our previous work will be crucial to implement the proposed system that requires reliable Wireless Sensor Networking systems.

The research herein proposed is based on a testbed already implemented in our labs. In our current model, Wireless Sensor Networks (WSNs) are data and functionality providers, facilitated by an integration M2M platform. The M2M platform provides a set of services for consumption by external environments using web service APIs. This model facilitates the integration and interoperability of WSNs with virtual world environments, social networks and other web 2.0 applications.

Our current approach is already implemented and it is based on a hybrid gateway-based model that supports both proactive and reactive models of M2M communications. In proactive sensor networks, the sensor nodes periodically collect data and send it to the sink nodes for processing, storing and management tasks. In reactive models, end nodes or sink nodes will send data/functionality requests to the sensor nodes, which will then react accordingly. A simplified illustration of our current prototype is depicted in Figure 1 of this proposal's

“Youth5G_figures.pdf” attachment. The model uses multiple proxies/Gateways that mediate the access to the sensor nodes. One of the main advantages of this approach is that it can easily offer mobility, localization and scalability. The proxies/gateways are designed to be lightweight, so that they may be installed on modest or limited devices.

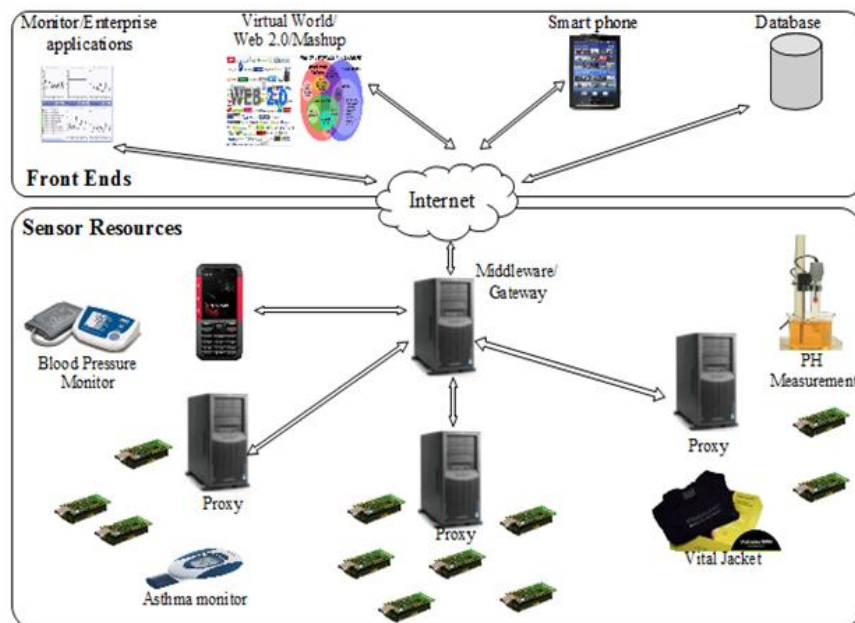


Figure 1 – Current prototype's model

Interoperability is a difficult problem when developing WSNs applications, due to the independent proprietary data formats used by different sensor networks. Although it has been proved that it is possible to implement both IP protocol stack (6LowPAN) and web services on the sensor nodes, the applicability and efficiency of these technologies still needs more investigation. Because of the limitations of sensor nodes in terms of computational resources and energy, allowing direct access to them from the Internet brings many challenges and may not be a suitable solution for all application scenarios. Therefore, it is necessary to have an infrastructure that easily, securely, and efficiently supports the integration and interoperability of sensor networks with other environments.

The members of this proposal have several work in this area and they have already presented 2 Internet drafts to IEEE 6LowPAN group:

M-K. Shin, T. Camilo, J. Sá Silva, D. Kaspar , “Mobility Support in 6LoWPAN”, draft-shin-6lowpan-mobility-00, IETF Draft, June 2007

R. Silva, J. Sá Silva, draft-silva-6lowpan-mip6, “An Adaptation Model for Mobile IPv6 support in lowPANs”, IETF Draft, May 2009

These drafts support the direct connection between mobile devices and Internet equipment by the use of IPv6. The mobile and IPv6 connections is crucial for the proposed devices.

The sensor nodes' mobility is supported by a proxy model proposed as part of one of our model, as described in the IETF drafts.

The middleware gateway exposes the functionality and data of sensor networks as web services. In a sense, the M2M middleware is the basis for the integration and interoperability between sensor networks and other Web 2.0 environments. This facilitates the development of applications using sensor networks, increases the diversity of possible applications, and promotes the reuse of WSN deployments and software code. In addition, the data coming from the sensor networks could easily be stored in a cloud data warehouse for further processing. The most recent implementation of our model supports 6LowPAN WSNs and uses the RSSIs of the received packets to perform localization. The communication between proxies and middleware is based on TCP/IP and Restful web services, currently supporting XML and JSON as the data formats. The communication between proxies and sensor nodes is implemented independently, using any protocols that are appropriate. It is based on open protocols such as IP or propriety ones. Similarly, the gateway middleware exposes the sensor's data and functionality through a set of services with JSON and XML formats. In addition, the middleware also supports localization services based on RSSI and a trilateration algorithm.

Youth5G was also thought to be able to support in the future the use of several medical devices. In our current implementation, we use a small heart beat monitor (also depicted in Figure 1), whose communication is based on the Bluetooth protocol. The use of these external devices requires an intermediate device that supports both the external protocol (Bluetooth) and communication with the middleware. In our model, both mobile phones (for increased mobility) and computers can serve as gateways for communication with these types of devices. For implementations that focus on activity detection and people-centric sensing, the mobile phone serves as the primary gateway for communication with virtual worlds and social networks, in order to promote mobility.

One of the main features of our system is the robustness of communication between small sensor devices. In this context, the FP7 GINSENG project (<http://www.ict-ginseng.eu>) became an important landmark in the field by proposing and developing a novel performance controlled WSN model to be deployed in critical industrial environments, like the refinery of Petrogal in Sines. The overall goal of GINSENG was a wireless sensor network that met application-specific performance targets that integrated with industry resource management systems. The project's resulting technologies were validated in real industry settings, where performance is critical.

To illustrate the proposed approach, two simple applications that integrate sensor networks with both Facebook and Second Life have already been implemented. These applications allow Facebook and Second Life users to easily access sensory information, about the physical world. In the first application, Facebook is employed to publish sensor data. In this simple demonstration, we publish the temperature data of a monitoring room in the wall of a Facebook account. This helps the account owner to instantly know the temperature of the room and act appropriately in case it unexpectedly changes. The second application that we implemented was a mashup of WSNs with the Second Life Virtual World. It is similar to the first, but instead of displaying sensor data as plain text we used virtual objects. The temperature of a monitoring target (such as a person) was represented by changing the color of an object attached to an avatar. For example, if the temperature was between 10 and 19 degrees Celsius, the color of corresponding object would become green or, if the temperature

was greater or equal 30 degrees Celsius, the color would be red. Figure 2 of this proposal's "Youth5G_figures.pdf" attachment shows some screenshots of this second application.

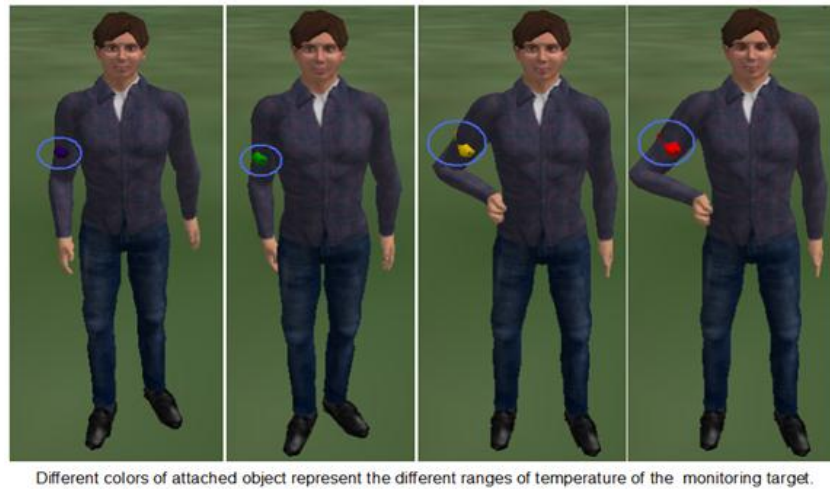


Figure 2 – Displaying the temperature sensed by sensor nodes using an object attached to an avatar in Second Life

Relação com outros projectos – *“Se este projeto se relacionar de alguma forma com outro projeto do universo PT ou outros projetos/produtos de outras empresas e instituições, deverão ser descritas de que forma ambos se aproximam e quais as mais valias resultantes para os envolvidos.”*

While our proposal is not a fruit of a previous relation with a SAPO's or PT's project, we believe that our idea has a lot of potential and can be easily applied into many of PT's current platforms. Our focus is on using body-area-networks, activity detection, localization and privacy mechanisms in conjunction with a social networking frontend. This frontend can be in the form of a popular social network (such as Facebook), part of a PT's platform (for example, a service provided as part of the MEO solution), or even a conjunction of the two.

Access to social networking nowadays is becoming mobile. It is not uncommon to see people access their smartphones to share and discuss their daily experiences shortly after they happen, updating their thoughts and responding to feedback from their friends as the situation develops. People-centric sensing systems gather and share several types of personal information. Information about a user's daily activities, social events and visited stores / locations can be very interesting for a group focused on communication technologies, such as PT. It is possible, for example, to correlate information about the user's whereabouts with his hobbies and interests to determine the closest stores that might sell items of his interest. This would result in more personalized advertisement mechanisms that are both more useful for the user and more effective for the service provider. In the “Descrição” section, we discuss several usecases that explore how our idea might be of value to the PT group.

Descrição - *“Deve ser redigida explicando em detalhe o que se pretende fazer no projeto, quais os objectivos a alcançar e as razões da sua importância. Pretende-se que descreva qual é o problema a ser investigado, quais são os desafios, quais as abordagens e as respectivas metodologias para alcançar os objectivos. Deve ainda mostrar que as metodologias propostas são adequadas para alcançar os objectivos. Neste ponto, deve abordar os aspectos tecnológicos mais relevantes do projeto e também os aspectos organizativos necessários para a sua execução.”*

Youth5G intends to define models for frameworks that integrate wireless sensor networks with mobile phones and expose their functionality as a service to Web 2.0 applications, namely to social networking websites. To apply our research work we plan to implement several functionalities which we will describe through several use-cases in the next paragraphs.

A social network user goes on a night-out with some of his friends to a local nightclub. He has an activity detection system that runs on his smartphone, possibility accompanied by several small body-area wireless sensors (in the form of a small bracelet, for example). The small sensors in his body directly communicate with the smartphone through a body-area wireless sensor network and share information regarding several conditions, such as his movement (accelerometer) and heart beat. The sensors can also detect environment factors such as the temperature. The smartphone runs our activity detection algorithms that combine the sensory information (for example, an increase in heart rate, temperature and movement) to discern what the user currently doing, in this case, dancing. The smartphone accesses the Internet and communicates with the user's preferred social network to represent information about the user's current activities to his trusted group of friends. The information can be represented through a virtual representation of the user and the environment. If the user's friends also use the same system, it is possible to correlate their close physical proximity with activity detection and deduce that the group is currently engaging in a social group activity (they are all dancing in a nightclub). People who belong to this same group of friends who are still at home and were indecisive as to whether or not go to the nightclub can now have an idea of who is attending the social event and where it is happening, and use this information to make their decision.

The integration of sensing systems with social networks opens many interesting possibilities other than the automatic detection and creation of social events. Tasks that involve the classification of users into groups, for example, can benefit from these technologies. Instead of creating user groups based on similar interests or other “static” user- entered information, we can correlate localization and activity to find people that both share similar activities and are physically close. This is useful for improving “friend suggestions” or even for dating services. It is also useful for market research, as information about people's location and activities can provide further insight on their product interests and client profile.

In this project, we also intend to implement more ambitious services that take advantage of the system's basic functionalities: we suggest a service that combines localization with the users' interests. Information such as the user's current activity is usually too sensitive to be openly shared outside of the user's trusted group. However, most social networking users

openly share information about their interests, such as their favorite music genres. Thus, we will provide a “Nightclub Music” service that allows the local nightclub’s Disc Jockey to know the favorite musical genres of people currently frequenting his establishment. While the DJ would not be allowed to access individual information, he could still get a “general feeling” about the kind of audience that is currently enjoying his music, and adjust his performance accordingly. DJs could also share information regarding the tracklist currently playing in their nightclubs. By accessing their social network, users could not only know the establishments currently frequented by their friends, but also know what kind of music is playing. Thus, this service would also be particularly useful for people deciding which nightclub to go to. Since we have information about the users’ whereabouts we can also correlate the nightclub’s tracklist information with the users’ nights out and the people they were with.

People usually tend to associate music with emotionally rich moments or with people they feel strongly about. Our service will explore this concept and display a list of “the music you heard when you went out with your friend last night”, associated with a music service, such as SAPO’s Music Box, that would allow the user to listen to or even buy the songs. When we associate Music Box with a Facebook account it automatically discovers which of our friends also have access to the system. From here, SAPO’s Music Box allows us to create and share our own playlists and view our friend’s musical preferences. While the Social Networking integration itself was interesting, we found that the features it provided were rather simplistic. We believe that Music Box’s social networking features can be made much more attractive and useful with people-centric sensing systems. From our understanding, Youth5G could be integrated to expand the current Music Box service.

This could also be an interesting service for all those times when people listen to music they enjoy and wish to know the name of the song. We can easily imagine many other possible similar use cases. User’s musical preferences and localization could be used to suggest concerts or musical events, and provide links for the users to buy tickets. Our proposed system would be flexible enough to be applied in different contexts and could easily be extended to suggest more than just music.

Localization can also be correlated with the available stores in the area and with the user’s preferences and interests. Advertisements on the social network or the application portal would be targeted towards that particular user, showing advertisements of stores that are in both in his current physical location and in accordance to his defined interests. It is also possible to extrapolate more information about the user’s interests by analysing the locations he has visited: the stores he usually visits tells us the type of products he usually buys, his workplace can tell us about possible work-related needs, his spare-time activities tells us more about his hobbies.

Let us consider a “Targeted Advertising” service that shows how we can apply these systems in targeted marketing. Like many other male teenagers of his age, John usually has a friendly football match with his friends every Thursday in a local football field. We cannot expect John to wear a complex activity detection system with many sensors while practicing sports, but systems limited to the John’s smartphone and possibly a small wrist-strap are simple and practical enough to accompany the user for most of his day. Even if the user is not wearing his

smartphone while practicing the sport, by knowing his location (the football field) and detecting an increase of his heart-rate (from running) we can extrapolate the user's physical activity and deduce that he is engaging in a sports match. After the match, John has a shower and is ready to go home. As he accesses his smartphone and logs in his social network, he is greeted with several suggestions for energy drinks, sodas or water from nearby supermarkets, as he might be thirsty from all the running. Since the system can also detect who else participated in the football match, it may also suggest footwear or other sports equipment as "better equipment for the next time you play with (one of the user's friends)".

The possibilities are endless. Online stores can associate what was bought by the user's friends and correlate this information with the user's hobbies and activities to present personalized advertisement suggestions. For example, our friend John might receive footwear suggestions based on the products bought by his friends. These suggestions appear associated with the user's social group activities, in the form of appellative announcements, such as "did you know that (one of the friends the user just played football with) recently bought a (model and brand) sneakers?"

The state of the art in the area still represents only the first steps for these kinds of systems. There is plenty of room for improvement in various areas, encouraging future research. In fact, creating such systems presents several technical challenges that we intend to address with our research, namely:

- **Privacy** – Exchanging sensitive information such as user's vital signs, localization and current activity is a task that has strict privacy requirements. Privacy is a requirement that affects all application layers: from the sensor's wireless communication to the exchange of middleware messages. During our research we intend to employ effective privacy mechanisms that ensure the safety of sensitive information.
- **Managing intermittent connectivity** – Reliability of wireless sensor networks is very important in order to create systems that are robust and stable. However, due to the wireless nature of mobile phone and WSNs communication, there is always a risk of intermittent connectivity due to environment interference, power shortages or communication range. Robust people-centric sensing systems should be capable of maintaining an illusion of smooth and continuous people tracking. Offline mechanisms that can estimate a user's current activity and location even when there is a shortage of fresh data can maintain an illusion of continuous monitoring in adverse conditions. These offline mechanisms can also be employed in data mining and analysis, since their function is to find patterns in the data.
- **Detection of activity** – With basis on previous work in the area, our research will attempt to improve and design resource aware algorithms that use both the mobile phone and wireless sensors and are directed specifically towards the representation of activities in social networking sites and virtual communities. At the same time, we will also seek interesting and engaging ways of representing user activities and environmental data, through the use of virtual representations of users (virtual avatars).

Hence, this research proposal is not limited to simply developing an application; we intend to design a model based on innovative solutions that effectively address these technical challenges. Small and discreet wireless sensors allow for more diverse kinds of vital-signs data to be used, which permit the creation of more accurate activity detection systems. Activity detection amongst groups of friends can be correlated to automatically create social events that can be shared in Social Networks. Localization techniques can be used to permit users to locate their friends in big social events. Offline inference techniques can provide an illusion of seamless connection between the real and the virtual, by trying to infer current location and activity even when there is no fresh data due to a connectivity problem. All of these research approaches attempt to expand the features of social networking sites and increase their functionality beyond the simple sharing of photos and comments.

From the beginning, our vision was not to just propose a M2M model for the integration of WSNs with virtual world environments, but to expand this model towards people-centric sensing and include mechanisms to provide localization, vital signs and activity detection, using mobile phones and wireless sensor nodes as base hardware. We intend to offer to CSPs a M2M platform that combines in a rich environment correlated information of real and virtual environments. Such tool would be able to increase the customer insight from the CSP perspective as also to create a new set of software products based on the real/virtual world relationship.

Plano do projecto – *“Indique uma lista calendarizada de etapas e milestones que permitam aferir se os trabalhos do projeto estão a progredir face aos objectivos apontados na candidatura. Para cada etapa inclua uma designação (máx. 60 caracteres), uma data (mensal), e a descrição (máx. 300 caracteres) do que pode ser demonstrado ou reportado nessa data.”*

The project is prepared to run during 12 months.

- 1) Model development (3 months)
- 2) Implementation, model validation and assessment (6 months)
- 3) Complementary studies (3 months)
- 4) Project management, dissemination and exploitation (12 months – permanent)

Task 1 – Model development

By studying other projects in related areas the main aspects and capabilities that can and should be explored in the context of the proposed project will be identified. As a result, a white paper will be produced, that will discuss both relevant projects and the main players in the field and also discuss the potential of combining real information from wireless sensor

networks with virtual models and social networks. The white paper will also identify the specific issues that will be explored in the project and the recommended methodology.

Still inside the context of this task, the general system architecture, paradigms, algorithms and mechanisms will be also specified. Although the proposed model will be detailed in the first two months of this task, it will be constantly refined during the project's lifetime.

Task 2 – Implementation, model validation and assessment

This task will lead to an implementation of the model developed and proposed in Task 1. This, of course, will require the setting up of project testbeds in University of Coimbra, and the implementation of several components of the model. The component implementation will be a continuation of our current work in the form of refinements on our current prototype. This includes sensor programming, improvement of the middleware to support more web applications and provide greater functionality and mobile phone programming. At the same time, we will work on creating web frontends that can be integrated with current social networks to allow access to our system and present sensory information in engaging ways (through virtual avatars and environments, for example).

This task also intends to evaluate the proposed model, from the functional to the performance-wise point of view. Functional validation will address issues pertaining to the compliance with the developed specifications. Performance validation will try to estimate the efficiency and effectiveness of the proposed mechanisms. An assessment of the complexity and feasibility of the proposed solution will also be an important outcome of this task. For this end, we intend to deploy a prototype application to be used within our University Campus that will allow us to test our ideas and validate our technical solutions.

Task 3 – Complementary studies

The results expected in this task will contribute to complement the model validation and assessment in task 2. This will allow the evaluation of the proposed model in more complex scenarios, beyond the ones implemented on the laboratorial testbeds.

Task 4 – Project management and dissemination

This task will provide the necessary project management and administration, in order to guarantee an adequate and timely achievement of results. It will also provide the dissemination and exploitation of project results.

Recursos necessários – *“Aqui deve especificar quais são os recursos necessários do labs.sapo para a execução do projeto que está a propor. Nos recursos deve indicar todo o tipo de suporte*

que tenha que ser fornecido pelo labs.sapo, nomeadamente: acesso a infraestrutura tecnológica, equipamentos, recursos humanos e dados. Os recursos humanos devem ser expressos em bolsas de investigação, sendo necessário especificar quais as milestones (descritas no plano do projeto) que serão executadas pelo bolseiro. Deverá ainda especificar a duração prevista para as bolsas.”

Human Resources - this project requires one full-time research engineer. This researcher will carry out his/her work under contract, in order to guarantee an adequate degree of commitment and a minimum level of human resources fully dedicated to the project.

Missions - diffusion of project results not only through scientific communities but also through social communities. This step will produce reports, create webpages, and present technical papers in international meetings and conferences.

Overheads – 30% over the total amount, required by the host research centers.

Equipment – 2 PCs, 1 laptop PC, Sensor Nodes, Mobile phones

Resultados esperados – *“Após a conclusão do projeto quais os resultados esperados e de que forma estes constituem uma mais valia para as partes envolvidas. Se aplicável, poderá identificar potenciais modelos de negócio a explorar futuramente entre SAPO e a sua instituição.”*

By the project’s conclusion, we will have developed a working prototype of our people-centric sensing system together with scientific results in the form of models and technologies that were researched in the context of the previously presented technical challenges. This project’s resulting models, technologies and architectures can also be applied in many other areas; for example, in health monitoring systems. Beyond the scientific value of these solutions, we believe that this project’s use cases are of high value for SAPO and the PT group. Our prototype would be a novel system that goes beyond the current vanguard of social networking, bringing several technical features into play that can be useful for **data-mining** and **targeted advertising**. Real-time activity and localization can tell us a lot about the user’s daily lives, preferences and frequented places. This information can be applied by CSPs in different ways for many commercial solutions, as described by the use-cases in the “Descrição” section.

In a way, the prospect of taking advantage of people-centric sensing systems can be a bit scary, but current trends point towards a future where such systems will most likely be very common. It is part of people’s nature to gossip about the lives of others and share details

about their personal lives, and they have been doing so for the past millennia. Our research proposal is innovative in the sense that it tries to anticipate this trend and harness these new market opportunities, allowing for more personalized advertisement systems that benefit both users and companies.

B.2 Segunda candidatura

Proposta Labs.Sapo

Nome do projecto – HappyHour.SAPO

Abstract/Resumo – *“Resumo sucinto do que é o projeto, abordando os principais problemas científicos e tecnológicos a tratar e, quando relevante, deve incluir uma breve análise do estado da arte. Deverá ainda destacar os aspectos de inovação dos conceitos apresentados e os resultados expectáveis no âmbito desta proposta.”*

(1500 caracteres)

A presente candidatura propõe-se implementar um sistema inovador que permitirá aos estabelecimentos comerciais, de uma forma simples e em tempo real, implementar políticas de marketing e divulgar os seus produtos a potenciais clientes que se encontrem nas proximidades. Para isso pretende-se criar micro-comunidades cruzando informação de geo-localização de utilizadores e os seus perfis de redes sociais.

Embora já existam algumas ferramentas que cruzam informação entre comunidades das redes sociais, a lógica de negócio do HappyHour.SAPO não está embebida em ferramentas como o FourSquare ou o Waze. O sistema proposto possibilita reunir numa base de dados central a geo-localização de utilizadores que instalem a aplicação HappyHour.SAPO nos seus dispositivos móveis. Esta base de dados irá permitir cruzar a informação geo-espacial com os gostos pessoais destes utilizadores, reconhecendo potenciais clientes nas imediações aos quais os estabelecimentos comerciais poderão divulgar promoções e actividades. Por exemplo, a aplicação HappyHour.SAPO permitirá aos bares aderentes divulgar a todos os utilizadores que se encontram a menos de 700 metros que nas próximas duas horas os preços das bebidas terão uma redução de 50%. Paralelamente, poderão também, em tempo real, reconhecer os gostos musicais dos clientes que se encontram nas proximidades e adaptar as suas músicas a estes perfis.

Trabalho desenvolvido – *“As propostas de projeto que tenham por base a continuidade de projetos que já possuam alguma maturidade, nomeadamente através de componentes já desenvolvidos em contexto letivo ou através de projetos desenvolvidos, ou em curso, com outras fontes de financiamento, são valorizados pelo labs.sapo. Neste cenário é relevante identificar as mais valias que o trabalho desenvolvido representa para esta proposta e o modo como se podem complementar. É igualmente relevante distinguir outros trabalhos de investigação desenvolvidos na área em que a proposta de enquadra.”*

(2000 caracteres)

Foi já implementado um pequeno protótipo laboratorial, baseado apenas na divulgação de músicas, que se encontra pronto para demonstração local e que poderá também ser visualizado através de um pequeno vídeo colocado em: <http://www.youtube.com/watch?v=L-ORxAcDy8&feature=plcp>. Em particular, a aplicação desenvolvida é baseada em *smartphones* com sistema operativo Android e na integração de uma interface Web com a popular rede social Facebook. A estrutura do protótipo implementado é apresentada na figura 1 em anexo.

O protótipo actual permitiu estudar também algumas das funcionalidades que serão necessárias na implementação do HappyHour.SAPO. Este protótipo baseou-se numa aplicação Android que é executada a partir do *smartphone* do utilizador comum e que representa num mapa (Google Maps) os bares que se encontram nas imediações. A cada um destes bares é associada a informação dos eventos, promoções e as *playlists* que poderão ser acedidas clicando em cima do respectivo *Point of Interest* (POI).

O HappyHour.PT recorrerá ainda a outras funcionalidades desenvolvidas no âmbito de projectos de investigação onde o grupo proponente participa ou participou. Por exemplo poderá utilizar-se os mecanismos de acesso ao meio em tempo real, os algoritmos de fiabilidade e os modelos de gestão da mobilidade desenvolvidos no projecto europeu FP7 GINSENG (<http://www.ict-ginseng.eu>) pelos investigadores proponentes da presente proposta. Poderão ainda ser utilizados modelos de localização precisa *indoor* desenvolvidos no âmbito de parcerias com empresas nacionais e ao abrigo de vários projectos QREN.

Relação com outros projectos – *“Se este projeto se relacionar de alguma forma com outro projeto do universo PT ou outros projetos/produtos de outras empresas e instituições, deverão ser descritas de que forma ambos se aproximam e quais as mais valias resultantes para os envolvidos.”*

(2000 caracteres)

A proposta HappyHour.SAPO oferece à SAPO.PT uma plataforma inicial, simples mas robusta, que pode ser lançada rapidamente no mercado e antecipar-se a potenciais empresas concorrentes. Não existem ainda ferramentas e sistemas que permitam aos estabelecimentos comerciais a divulgação de promoções, em tempo real, para clientes próximos e de acordo os seus perfis. Espera-se assim não só responder a uma oportunidade temporal sentida, mas também implementar uma plataforma base que poderá potenciar novos serviços, novos modelos de negócio e novas funcionalidades:

- A plataforma HappyHour.SAPO pode ser integrada com vários serviços SAPO. Poderá, por exemplo, ser associada à SAPO MusicBox para a venda de músicas.

- No caso da utilização do sistema HappyHour.SAPO em espaços de entretenimento nocturno, possibilitar aos estabelecimentos seleccionar as músicas de acordo com o perfil e os gostos dos utilizadores que se encontrem próximos.

- A SAPO.PT pode recorrer às base de dados da HappyHour.SAPO para também publicitar produtos seus de acordo com a localização, os gostos e actividades dos utilizadores.

- A plataforma HappyHour.SAPO permite aumentar os serviços SAPO.PT com uma plataforma que acreditamos ser interessante.

- A ferramenta proposta poderá ser utilizada para lançar um conjunto de outros serviços SAPO orientado a diferentes públicos alvo.

Descrição - *“Deve ser redigida explicando em detalhe o que se pretende fazer no projeto, quais os objectivos a alcançar e as razões da sua importância. Pretende-se que descreva qual é o problema a ser investigado, quais são os desafios, quais as abordagens e as respectivas metodologias para alcançar os objectivos. Deve ainda mostrar que as metodologias propostas são adequadas para alcançar os objectivos. Neste ponto, deve abordar os aspectos tecnológicos mais relevantes do projeto e também os aspectos organizativos necessários para a sua execução.”*

(6000 caracteres)

As Redes Sociais têm ganho muita popularidade e possuem actualmente milhões de utilizadores que, diariamente, partilham as suas experiências e planeiam as suas actividades pessoais e profissionais. Paralelamente, o avanço verificado nas tecnologias baseadas em *smartphones* faz prever para curto prazo a integração de sistemas inovadores na melhoria das interfaces e das funcionalidades das redes sociais de nova geração. A combinação destas tecnologias permite criar pontes entre os mundos reais e os mundos virtuais, e potenciar novos modelos de negócio.

Um dos desafios presente no sistema proposto é avaliar muito bem os benefícios oferecidos a cada um dos participantes alvo. Embora do ponto de vista dos estabelecimentos comerciais e da SAPO.PT as mais valias da solução HappyHour.SAPO sejam evidentes, será importante encontrar uma solução interessante para o utilizador final. O sistema HappyHour.SAPO não poderá ser encarado pelo utilizador final como "mais um serviço" de publicidade e de SPAM. Este terá de ser efectivamente do seu interesse. Para isso é necessário a participação activa dos estabelecimentos comerciais com a divulgação de promoções aliciantes e focadas, e que o HappyHour.SAPO seja complementado com outros serviços interessantes para o utilizador final. Para o desenho de tais serviços, os promotores da presente candidatura esperam contar também com o apoio dos profissionais da SAPO.PT.

Assim, o sistema HappyHour.SAPO permite:

- Oferecer aos utilizadores finais um sistema de informação sobre os estabelecimentos comerciais, respectivas promoções e programas de eventos, de acordo com os seus gostos e perfis. Embora o modelo de aplicação inicial tenha sido desenvolvido para o estabelecimentos de diversão nocturna, este poderá ter aplicação mais diversa como a restauração ou espaços comerciais.

- Oferecer aos utilizadores a possibilidade de saber em tempo real quais as promoções dos estabelecimento próximos.
 - Oferecer ao utilizador a possibilidade de saber em tempo real o grau de afluência de cada espaço de diversão. Paralelamente permitirá dar a conhecer ao utilizador o nível de agitação do local, por exemplo se o local é um bar muito agitado onde as pessoas se encontram a dançar ou, se pelo contrário, é um bar mais calmo onde é possível conversar. Esta informação possibilitará ao utilizador escolher o local de acordo com as suas vontades do momento.
 - Oferecer aos estabelecimentos um modelo de negócio inovador e inexistente, que permite divulgar as suas promoções e actividades, em tempo real, de uma forma simples e direccionada através de *push-notifications*, a micro-comunidades que se encontrem nas imediações do local.
 - Permitir aos estabelecimentos comerciais implementar políticas inovadoras de marketing com o convite à participação activa dos utilizadores nas actividades do local, e que pode ser incentivada com prémios e brindes.
 - Proporcionar à SAPO.PT uma base de dados muito completa com perfis, gostos e comportamento de utilizadores.
 - Oferecer à SAPO.PT um novo modelo de negócio que poderá utilizar para fidelizar mais clientes, sejam estes estabelecimentos comerciais ou clientes finais. Por outro lado permitirá à SAPO.PT envolver-se no negócios das micro-comunidades criadas.
-
- Possibilitar à SAPO.PT estabelecer parcerias comerciais com os estabelecimentos comerciais.
 - Facilitar à SAPO.PT combinar o HappyHour.SAPO com outros serviços do universo SAPO.PT. Por exemplo, poderia ser possível em versões futuras associar as músicas escutadas em cada bar e em cada noite com o serviço SAPO MusicBox. É comum cada utilizador associar momentos bem passados e com valor emotivo às músicas que escutou num determinado momento e num determinado local. Em muitas das situações, o utilizador desconhece mesmo o nome e o autor da música. A SAPO.PT poderá, assim, tirar proveito dos registos do HappyHour.SAPO para "oferecer" aos seus clientes a música que eles procuram.
 - Oferecer à SAPO.PT um sistema simples, robusto e flexível que poderá ser facilmente adaptado a novos serviços e a outros públicos alvo no futuro.

A presente proposta combina duas fases distintas:

- Numa primeira fase, que é aquela que compreende a presente candidatura, pretende-se implementar, de uma forma pragmática, um sistema base (*field trial*) que permita aos estabelecimentos comerciais implementar políticas de divulgação de produtos e promoções a clientes que se encontrem nas proximidades e de acordo com os seus perfis.
- Numa segunda fase, após o término do projecto associado a esta candidatura, enriquecer a plataforma HappyHour.SAPO com novas funcionalidades, serviços e inovações tecnológicas. Estes serviços e inovações poderão incluir, por exemplo a inclusão de novos dispositivos como redes de sensores ou sistemas RFID, mecanismos inovadores de privacidade, detecção de

actividade de utilizadores, partilha de gostos musicais entre utilizadores, associação de certos gostos a certos estabelecimentos nocturnos, entre outros.

Plano do projecto – *“Indique uma lista calendarizada de etapas e milestones que permitam aferir se os trabalhos do projeto estão a progredir face aos objectivos apontados na candidatura. Para cada etapa inclua uma designação (máx. 60 caracteres), uma data (mensal), e a descrição (máx. 300 caracteres) do que pode ser demonstrado ou reportado nessa data.”*

(2000 caracteres)

O plano proposto para a implementação da primeira fase do sistema HappyHour.SAPO tem a duração de 12 meses e compreende as seguintes etapas:

1) Reuniões com a equipa SAPO.PT para a especificação do sistema HappyHour.SAPO.

Data de início: Setembro 2012

Duração estimada: 1 mês

2) Desenvolvimento de um novo protótipo funcional, que compreenda as aplicações Facebook/Android do utilizador, a aplicação do estabelecimento comercial e a aplicação de gestão do sistema. Todas estas aplicações deverão ser integradas com os serviços SAPO.PT.

Data de início: Novembro 2012

Duração estimada: 3 meses

3) Implementação de novos algoritmos para detecção de actividade humana, localização e privacidade.

Data de início: Janeiro 2013

Duração estimada: 4 meses

4) Desenvolvimento de aplicações para iPhone.

Data de início: Março 2013

Duração estimada: 3 mês

5) Testes, Integração e avaliação.

Data de início: Junho 2013

Duração estimada: 3 meses

Recursos necessários – *“Aqui deve especificar quais são os recursos necessários do labs.sapo para a execução do projeto que está a propor. Nos recursos deve indicar todo o tipo de suporte que tenha que ser fornecido pelo labs.sapo, nomeadamente: acesso a infraestrutura tecnológica, equipamentos, recursos humanos e dados. Os recursos humanos devem ser expressos em bolsas de investigação, sendo necessário especificar quais as milestones (descritas no plano do projeto) que serão executadas pelo bolseiro. Deverá ainda especificar a duração prevista para as bolsas.”*

(2000 caracteres)

Recursos Humanos: Este projecto requer dois alunos de doutoramento com dedicação exclusiva. Este alunos poderão ser contratados directamente pela SAPO com vencimentos indexados às bolsas FCT e suportando o custo da propina anual de doutoramento no valor de 3.500€.

Valor estimado: 2 alunos x 12 meses x bolsa + 2 x propina anual = 2 x 12 x 980 + 2x 3500 = 23.520€ + 7.000€ = 30.520€

Paralelamente HappyHour.SAPO conta ainda com a participação de vários investigadores na Universidade de Coimbra, nomeadamente:

Jorge Sá Silva - Professor Auxiliar e investigador sénior, que coordenará o projecto.

Fernando Boavida - Professor Catedrático e investigador sénior.

David Nunes - aluno de doutoramento a desenvolver trabalhos relacionados com o tema do projecto.

Paulo Rupino - Professor Auxiliar e investigador sénior.

Luiz Correia - Professor visitante e investigador sénior.

Claudio Geyer - Professor visitante e investigador sénior.

Valderi Leinhart - aluno de doutoramento.

Vasco Pereira - Professor Auxiliar convidado e investigador sénior

Equipamento: 1 PC, 2 portáteis, 1 telemóvel Android, licenças MAC (programação iPhone) e 1 telemóvel iPhone

Valor estimado: 3.000€

Valor total para os 12 meses: 33.520 €

Resultados esperados – *“Após a conclusão do projeto quais os resultados esperados e de que forma estes constituem uma mais valia para as partes envolvidas. Se aplicável, poderá identificar potenciais modelos de negócio a explorar futuramente entre SAPO e a sua instituição.”*

(2000 caracteres)

Ao fim de um ano de trabalho o sistema será desenhado, implementado e testado com as funcionalidades propostas.