



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

PLATAFORMA DE COMUNICAÇÕES SEM FIOS PARA ZIGBEE E RFID

Luís Manuel Dias Pedro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia de Redes de Comunicações

Júri

Presidente: Prof. Dr. Luís Eduardo Teixeira Rodrigues

Orientador: Prof.^ª Dr.^ª Teresa Maria Sá Ferreira Vazão Vasques

Co-Orientador: Prof. Dr. Rui Manuel Rodrigues Rocha

Vogal: Prof. Dr. Alberto Manuel Ramos da Cunha

Setembro de 2008

Agradecimentos

À Professora Doutora Teresa Vazão e ao Professor Doutor Rui Rocha, pela orientação motivação e conselhos dados ao longo deste trabalho e curso.

Ao Engenheiro António Marcelo e ao Engenheiro Gabriel Saragoça pela oportunidade que me deram de efectuar este trabalho na empresa Tecmic, e por me ajudarem a definir o meu futuro profissional.

À minha família por todo o apoio e em especial ao meu irmão João, por acreditar em mim e ter investido na minha formação ao longo da minha vida.

A todos os meus colegas de curso e especialmente ao auto intitulado grupo Lambda. Ao Manuel Cabral e ao André Martins os meus eternos colegas de grupo e grandes amigos, verdadeiros responsáveis pelo meu sucesso ao longo do curso. Ao Tiago Sousa pela amizade, suporte e motivação que foram cruciais para o término desta tese. Ao Frederico Silva por ser o maior conselheiro tecnológico do Mundo e ao Nizar pela amizade e companheirismo. Ao Eduardo Batista, João Matos, Luís Santos e Daniel Branco por todo o clima de camaradagem e amizade que criámos, e que tornaram estes 5 anos mais fáceis de passar.

A todos os meus amigos que me apoiaram e em especial à Ana por tudo aquilo que é e representa para mim.

Resumo

O desenvolvimento de novas tecnologias sem fios tem permitido às empresas suportarem os seus modelos de negócio de forma automatizada. Uma das tecnologias que mais tem impulsionado esta automação é o RFID (*Radio Frequency Identifier*), que permite acesso em tempo real a informação sobre a localização de bens e equipamentos.

Consciente destas novas oportunidades, o Metro de Lisboa sentiu a necessidade de automatizar a monitorização de viagens na sua rede. Surge então este trabalho que é o resultado de uma parceria entre o Instituto Superior Técnico e a Tecmic, e que descreve a concepção, desenvolvimento e testes de uma plataforma RFID de identificação de composições em movimento, de forma a determinar a sua localização e armazenamento de viagens efectuadas.

É apresentada uma arquitectura que recorre à tecnologia de RFID activo, com readers instalados em pontos-chave e tags montadas na lateral das composições. A informação recolhida pelos readers é depois enviada para um sistema de recolha de dados centralizado. Este sistema tem como principais funcionalidades a integração e configuração do equipamento RFID, e o armazenamento e processamento da informação recolhida. É também descrito um cliente com a capacidade de interagir com o sistema de recolha de dados.

A arquitectura apresentada foi implementada em ambiente laboratorial e o resultado foi um protótipo funcional que serve como prova de conceito. Este protótipo utiliza maquetas de comboio e tecnologia de RFID passivo para simular a rede do metro. A ferramenta Biztalk RFID é explorada para implementar o sistema de recolha de dados.

Palavras-chave: RFID (*Radio Frequency Identifier*), *tag*, *reader*, *passagens*, *composições*, *viagens*, *recolha de dados*, *Phidgets*, *Biztalk RFID*

Abstract

New wireless technologies are enabling companies to support new business models that rely heavily on automation to improve operational efficiencies. One key enabler is RFID (Radio Frequency Identifier), which changed the way information is gathered and allows companies to have access to real time information regarding the localization of their goods and equipments.

Aware of these opportunities, the Lisbon Metro company felt the need to automate the monitoring of travels in their network, through the use of RFID technology. This work is the result of collaboration between Instituto Superior Técnico and Tecmic to conceive, develop and test an RFID platform to track trains in the Lisbon Metro and storage the travels performed by each train.

This work proposes a system architecture to solve the posed problem. Through the use of active RFID technology, with readers installed in key locations and tags mounted on each train, is possible to track all the trains. The information gathered by the readers is then sent to a centralized data collecting system, whose main objectives are to integrate and manage the RFID equipment, and to store and analyze the received information. It is also described a client to interact remotely with the centralized system.

This system architecture was implemented in a laboratorial environment, and the result was a functional prototype that uses scale train models and passive RFID to simulate the Metro network. Biztalk RFID is explored to implement the business logic of the platform.

Key-words: RFID (*Radio Frequency Identifier*), *tag*, *reader*, *trains*, *trackings*, *travels*, *data collecting*, *Phidgets*, *Biztalk RFID*

Índice

PLATAFORMA DE COMUNICAÇÕES SEM FIOS PARA ZIGBEE E RFID	1
[PLATAFORMA RFID DE MONITORIZAÇÃO DE VIAGENS NO METRO DE LISBOA]	Erro! Marcador não definido.
Agradecimentos	3
Resumo.....	5
Abstract	7
Índice.....	9
Índice de figuras	12
Índice de tabelas	13
Lista de Acrónimos	14
1. Introdução	15
1.1. Motivação e Enquadramento.....	15
1.2. Objectivos.....	15
1.3. Resumo do Estado da Arte	16
1.4. Sinopse da Solução.....	16
1.5. Terminologia utilizada	17
1.6. Organização deste documento	17
2. Estado da Arte	19
2.1. Introdução.....	19
2.2. Tecnologia RFID.....	20
2.2.1. Componentes de um Sistema RFID	22
2.2.1.1. Tags	22
2.2.1.2. Readers.....	24
2.2.2. Desafios	25
2.4. Frameworks de desenvolvimento de aplicações RFID	26
2.4.1. Sun Java System RFID	26
2.4.2. Microsoft Biztalk RFID	27

2.5.	Aplicações da Tecnologia RFID	29
2.6.	Aplicações RFID em identificação de passagens de veículos	31
2.6.1.	Vantagens da utilização do RFID em transportes	31
2.6.2.	Aplicações típicas do RFID em caminhos-de-ferro.....	32
2.6.3.	Monitorização automática do posicionamento do veículo	32
2.6.4.	Arquitecturas de Sistemas de Localização	34
2.7.	Casos Práticos.....	37
3.	Arquitectura da Solução Proposta	39
3.1.	Requisitos da Arquitectura.....	39
3.1.1.	Requisitos de Hardware	39
3.1.2.	Requisitos de Software.....	40
3.2.	Arquitectura Geral do Sistema.....	41
3.3.	Arquitectura de Hardware	42
3.3.1.	Readers.....	42
3.3.2.	Tags	44
3.3.3.	Equipamento a utilizar	45
3.4.	Arquitectura de Software.....	47
3.4.1.	Readers.....	48
3.4.2.	Sistema de Recolha de Dados	48
3.4.3.	Cliente	54
4.	Implementação do Protótipo da Solução	55
4.1.	Tecnologias utilizadas.....	55
4.1.1.	Tecnologias utilizadas no Bloco de Hardware.....	56
4.1.2.	Tecnologias utilizadas no Bloco de Software	58
4.2.	Detalhes da Implementação	61
4.2.1.	Instalação do equipamento RFID	61
4.2.2.	Implementação do Bloco de Software	62
4.2.2.1.	Sistema de Recolha de Dados	62

4.2.2.2. Cliente	73
5. Testes	77
5.1. Testes de Funcionalidade	77
5.2. Testes ao Algoritmo de Cálculo de Viagens	80
5.3. Teste de Performance	81
6. Conclusões.....	85
6.1. Concepção e Desenvolvimento.....	85
6.2. Implementação	85
6.3. Testes	86
6.4. Trabalho Futuro.....	86
7. Bibliografia	87
Anexo A – Imagens Biztalk RFID	90
Anexo B – Imagens Biztalk RFID II	91
Anexo C – Vista Readers & Vista Ligações.....	92
Anexo D – Resultados dos Testes Funcionais.....	93
Anexo E – Resultados dos Testes Funcionais II	94
Anexo F – Resultados dos Testes Funcionais III	95

Índice de figuras

Figura 1 - Componentes de um Sistema RFID	20
Figura 2 – Arquitectura de um sistema RFID	21
Figura 3 - Arquitectura da Framework Sun Java RFID	27
Figura 4 - Arquitectura da Framework Biztalk RFID	28
Figura 5 - Aplicações RFID em 2008	29
Figura 6 - Sistema RFID da empresa Transcore	33
Figura 7 - Arquitectura RFID com Reader instalado no comboio	34
Figura 8 - Arquitectura RFID com Reader instalado na linha.....	35
Figura 9 – Instalação do reader no comboio	35
Figura 10 - Reader instalado na linha ou na lateral da linha	36
Figura 11 - Arquitectura do sistema GOTCHA	38
Figura 12 - Arquitectura geral do sistema	41
Figura 13 – Localização readers duas linhas.....	43
Figura 14 - Localização readers três linhas.....	43
Figura 15 - Instalação reader	44
Figura 16- Reader Tagmaster LR3-HD.....	46
Figura 17 - Alcance ideal de leitura	46
Figura 18 - Tagmaster MarkTag S1456 HDS	47
Figura 19- Arquitectura de software	47
Figura 20 - Fluxo de Informação no Gestor de Eventos	51
Figura 21 - Tecnologias utilizadas no protótipo	56
Figura 22 - Phidget RFID Reader e Tags EM4102.....	57
Figura 23 - Instalação dos readers na maquete	61
Figura 24 - Diagrama das tabelas da base de dados do sistema de recolha de dados.....	64
Figura 25 - Exemplo Grafo Readers	67
Figura 26 - Exemplo Grafo Localizações	68
Figura 27 - Tabelas da base de dados do cliente.....	74
Figura 28 - Vista viagens	75
Figura 29 - Vista Composições.....	76
Figura 30- Grafo utilizado nos testes ao algoritmo de cálculo de viagens	80
Figura 31 - Interface DSPI do Biztalk RFID	90
Figura 32 - Interface de gestão de processos do Biztalk RFID	90
Figura 33 - Interface de gestão dos handlers Biztalk RFID	91
Figura 34 - Interface do Gestor de Dispositivos do Biztalk RFID.....	91
Figura 35 - Vista Readers da Interface Gráfica do Cliente	92

Figura 36 - Vista Ligações Reader da Interface Gráfica do Cliente	92
Figura 37 - Grafo Ligações Readers Localização Teste	94
Figura 38 - Grafo Ligações Readers Teste	94

Índice de tabelas

Tabela 1 - Características das frequências de utilização	24
Tabela 2 - Exemplo Tabela Readers.....	67
Tabela 3 - Exemplo tabela Ligações Readers.....	67
Tabela 4 - Exemplo tabela passagens explicação algoritmo.....	69
Tabela 5 - Exemplo 2 tabela passagens explicação algoritmo.....	70
Tabela 6 - Exemplo tabela viagens explicação algoritmo	70
Tabela 7 - Exemplo 3 tabela passagens explicação algoritmo.....	70
Tabela 8 - Exemplo 4 tabela passagens explicação algoritmo.....	71
Tabela 9 - Exemplo 2 tabela viagens explicação algoritmo	71
Tabela 10 - Exemplo 4 tabela passagens explicação algoritmo.....	71
Tabela 11 - Web Services Implementados no sistema de recolha de dados	72
Tabela 12 - Dados configuráveis do reader no Gestor de Dispositivos	73
Tabela 13 - Web Services Implementados no cliente	74
Tabela 14 - Variáveis do teste de performance.....	82
Tabela 15 - Resultados do teste de performance.....	83
Tabela 16 - Identificadores gerados automaticamente pelo Biztalk RFID.....	93
Tabela 17 - Resultado da inserção de readers no sistema	93
Tabela 18 - Resultado da inserção de ligações entre readers no sistema.....	93
Tabela 19 - Resultado da inserção da composição no sistema	93
Tabela 20 - Resultado da inserção de passagens no sistema	95
Tabela 21 - Resultado da inserção de viagens no sistema	95

Lista de Acrónimos

API	Application Programming Interface
CRM	Customer Relationship Management
DLL	Dynamic-Link Library
DSPI	Device Service Provider Interface
EAS	Electronic Article Surveillance
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EPC	Electronic Product Code
GSM	Global System for Mobile Communications
HF	High Frequency
IP	Internet Protocol
LED	Light Emitting Diode
LF	Low Frequency
RFID	Radio Frequency Identifier
ROM	Read Only Memory
TCP	Transmission Control Protocol
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UPC	Universal Product Code
USB	Universal Serial Bus

1. Introdução

1.1. Motivação e Enquadramento

As novas tecnologias de comunicação sem fios têm possibilitado novas formas de negócio, que permitem as empresas suportar os seus modelos de negócio de forma automatizada. Uma das tecnologias que mais tem impulsionado esta automação é o RFID (*Radio Frequency Identifier*), que mudou a forma como a informação sobre produtos, equipamentos e entidades é recolhida, permitindo uma análise em tempo real desta informação. A utilização de RFID possibilita reduzir a mão-de-obra dispendida, e aumentar a fiabilidade e precisão da informação proveniente de tarefas repetitivas. Existem ainda muitas tarefas realizadas de forma manual, e exemplo disso é a monitorização de viagens no Metro de Lisboa. A monitorização de viagens de composições é uma parte essencial do processo de escalonamento de motoristas, sendo este um processo moroso e susceptível a todos os erros provenientes de uma monitorização de viagens pouco eficaz.

Como tal surge este trabalho, que é o resultado de uma parceria entre o Instituto Superior Técnico e a Tecmic. A Tecmic em conjunto com um consórcio de empresas respondeu a um problema expresso pelo Metro de Lisboa, para desenvolver um sistema de informação que facilitasse o escalonamento de motoristas. Este sistema de informação está dividido em várias partes, sendo que a empresa Tecmic ficou responsável pelo desenvolvimento de uma plataforma para monitorização automática de viagens de composições, e sistema de localização das mesmas.

1.2. Objectivos

O objectivo desta tese é o de conceber, desenvolver e testar uma plataforma RFID de identificação de passagens efectuadas por composições do Metro de Lisboa. Com base na identificação de passagens a plataforma deve inferir a localização de cada composição num determinado instante e armazenar as viagens efectuadas por cada composição. A informação recolhida será depois utilizada por um sistema legado de escalonamento de motoristas. O resultado desta solução deverá ser implementado num protótipo desenvolvido em ambiente laboratorial que servirá como prova de conceito da solução.

1.3. Resumo do Estado da Arte

RFID ou Identificação por Radiofrequência é tal como o nome indica uma tecnologia que permite a identificação de entidades através de radiofrequências. Um sistema RFID é composto por tags que contêm informação, readers que têm a capacidade de ler a informação contida nas tags e um sistema de recolha de dados. Esta tecnologia é utilizada no ramo dos transportes para fazer a gestão de frotas e inventários de equipamento, controlos de acesso, pagamentos de portagens, identificação da localização de um veículo e controlo de partidas e chegadas. Actualmente existem plataformas RFID a funcionar nos Metros de todo o Mundo. No metro de Londres o RFID é utilizado para fazer a mudança de grupos rádio dentro de uma composição, no metro de Hamburgo e comboios locais de Bilbao é utilizado para localizar uma composição de forma a actualizar os dados de partida e chegada disponibilizados aos passageiros, e em Taipei é utilizado para servir de suporte a um transporte mono carril sem condutor.

1.4. Sinopse da Solução

O contributo desta tese para a resolução do problema é a proposta de uma arquitectura de hardware que inclui a tecnologia RFID e uma arquitectura de software que engloba um sistema de recolha de dados e um cliente. A arquitectura proposta recorre à tecnologia de RFID activo. Nesta proposta os readers são instalados na linha, nas fronteiras entre os locais onde se pretende fazer uma detecção de passagem, e cada composição é dotada de uma tag em cada lateral de forma a poder ser identificada.

A informação de cada passagem será depois enviada para um sistema centralizado de recolha de dados, cujas principais funções são a de integração e configuração de equipamento RFID, armazenamento dos dados das passagens, e cálculo de viagens com base na informação de cada passagem. Este sistema de recolha de dados é ainda responsável por gerir a replicação de dados para um cliente final, que é dotado de uma interface gráfica que permite visualizar a informação recolhida e a interacção com o sistema de recolha de dados.

É ainda implementado um protótipo em ambiente laboratorial, utilizando maquetas de comboios à escala e recorrendo à tecnologia RFID passivo para detecção de passagens, e utilização do Biztalk RFID para implementação do sistema de recolha de dados.

1.5. Terminologia utilizada

Por opção decidiu-se utilizar os estrangeirismos reader e tag, associados à tecnologia RFID, em vez da utilização dos termos portugueses leitor e etiqueta. Apesar de serem estrangeirismos não se colocaram estes termos em itálicos de forma a não prejudicar a facilidade de leitura do documento. Todos os restantes estrangeirismos serão colocados em itálico.

1.6. Organização deste documento

Este documento é composto por seis capítulos estruturados da seguinte forma:

O primeiro capítulo onde se insere esta secção descreve a motivação do problema, o enquadramento desta tese e os objectivos principais. Inclui ainda um resumo do estado da arte e uma sinopse da solução proposta, ou seja a contribuição desta tese para a resolução do problema apresentado.

O segundo capítulo inclui o estado da arte da tecnologia RFID. São abordadas questões técnicas do RFID assim como os seus principais desafios. São depois analisadas as aplicações do RFID no domínio dos caminhos-de-ferro e ainda casos reais de implementação de sistemas RFID para monitorização de passagens de veículos.

No terceiro capítulo é apresentada a contribuição desta tese para a resolução do problema na forma de uma arquitectura de solução. São descritos quais os requisitos da arquitectura e duas arquitecturas, uma de hardware onde se inclui o equipamento RFID e uma de software composta por um sistema de recolha de dados e um cliente.

O quarto capítulo inclui uma descrição da implementação do protótipo funcional que procura validar as arquitecturas propostas. São abordadas as tecnologias utilizadas e detalhes da instalação do equipamento RFID, e da implementação do bloco de software.

O capítulo número cinco contém os testes efectuados ao protótipo, assim como uma descrição e objectivo dos mesmos, e uma descrição do cenário em que foram efectuados os testes.

No último capítulo desta tese, o sexto, são apresentadas as principais conclusões assim como uma proposta de trabalho futuro.

No final deste documento encontra-se ainda um conjunto de anexos, que contém imagens das aplicações utilizadas no desenvolvimento do protótipo funcional e resultados de testes.

2. Estado da Arte

2.1. Introdução

Identificação por radiofrequência, ou RFID, é tal como o nome indica uma tecnologia que permite a identificação de um objecto, ou entidade, por meio de radiofrequências, através da atribuição de uma tag RFID a um objecto, e de readers que permitem recolher a informação de cada tag. Podemos ver esta tecnologia como um melhoramento do sistema UPC (*Universal Product Code*), vulgo código de barras, sendo na verdade um sistema bem mais versátil que permite a identificação de entidades a maiores distâncias, leitura de várias tags ao mesmo tempo e também uma comunicação bilateral entre a tag e o reader.

É uma tecnologia que teve a sua génese durante a segunda guerra mundial, com a criação de um sistema de radar que permitia identificar quais os aviões aliados, e é tida como uma tecnologia de referência para o futuro, visto que é uma grande impulsionadora da computação ubíqua que permite a localização e inserção de entidades num ambiente pervasivo. Actualmente a sua maior aplicação reside no controlo de mercadorias, sistemas de logística de apoio ao comércio, pagamento de portagens, identificação de animais domésticos, sistemas de segurança anti-roubo e controlo de acessos.

No âmbito desta tese irão ser estudados de forma mais aprofundada as aplicações do RFID na localização de veículos em movimento, neste caso as composições do Metro de Lisboa. Tal aplicação desta tecnologia neste tipo de ambientes permite a criação de sistemas que permitem identificar a localização de um veículo de forma a actualizar os dados que são disponibilizados aos utentes, controlo de gestão de frotas, sistemas de segurança para evitar choques entre veículos, controlo de distâncias percorridas, entre outras aplicações.

Com a descoberta de novas aplicações para o RFID tem surgido uma maior procura na área, o que leva os fabricantes a produzirem cada vez mais produtos a preços baixos, que impulsionam uma maior proliferação destes sistemas. No entanto, isto não é suficiente para o desenvolvimento da tecnologia e existe uma necessidade da criação de standards, tal como em qualquer tecnologia deste ramo, pois a criação de standards permite uma maior interligação de produtos de diferentes companhias e uma maior aceitação por parte dos fabricantes mundiais.

Um dos maiores desafios do RFID prende-se com as questões de segurança e privacidade que se levantam com a aplicação destes sistemas. Uma proliferação desmesurada desta tecnologia pode levar a grandes violações da privacidade dos consumidores se não forem tidas em conta as questões de ética necessárias.

2.2. Tecnologia RFID

Identificação por radiofrequências ou RFID é uma tecnologia que permite a identificação de objectos ou entidades. A maneira mais comum de se fazer essa identificação é através da acoplagem de uma tag com um identificador único a um objecto ou entidade. Esta tecnologia oferece grandes vantagens em relação aos outros métodos de identificação utilizados. Neste sistema uma tag não precisa de estar em linha de vista para com o reader, várias tags podem ser lidas ao mesmo tempo e uma tag consegue guardar mais informação que um código de barras. Os RFIDs permitem uma automação total do processo de identificação, e também a identificação de objectos individuais, o que garante uma maior granularidade que um código de barras que apenas permite identificar uma classe de objectos. Além disto a informação da tag pode ainda mudar consoante o ciclo de vida do objecto que identifica (ex. validade, data de entrada em stock), tornando-se assim muito versátil. Um sistema RFID é tipicamente composto pelos seguintes componentes; conforme se representa na figura 1.

- Tag RFID.
- Reader RFID que incorpora também uma antena e um transmissor.
- Sistema de recolha de dados.

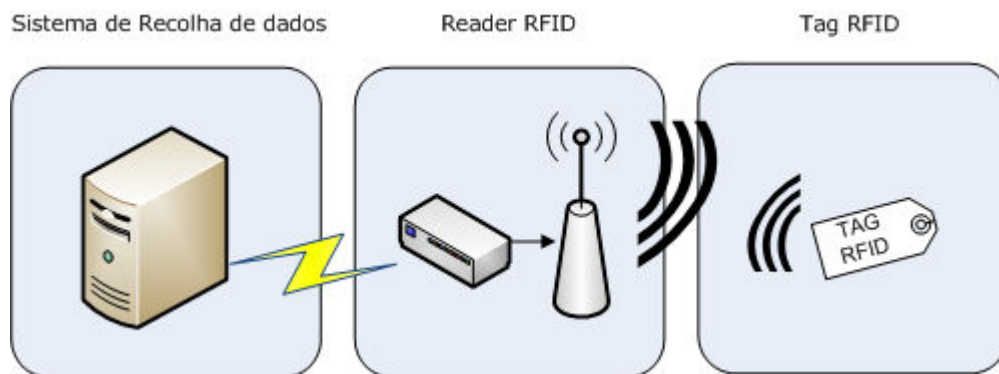


Figura 1 - Componentes de um Sistema RFID

O princípio de funcionamento deste sistema consiste no envio de uma onda rádio gerada pelo reader, (que apesar do nome aqui actua como um transmissor), que pode ser recebida por uma tag. Por sua vez, a tag vai reflectir alguma da energia recebida de volta para o reader, numa forma que depende da ID da tag. Ao mesmo tempo que esta reflexão acontece o reader está também a funcionar como um receptor rádio, de forma a poder detectar e decifrar o sinal recebido para poder identificar a tag. De seguida o reader vai enviar essa informação para um sistema de recolha de dados, através de uma qualquer ligação de dados (dependente da interface de comunicação do reader), que vai processar essa informação e agir de forma concordante [1] [2] [3] [4].

Na figura seguinte encontra-se apresentada uma arquitectura de referência para um sistema RFID [5].

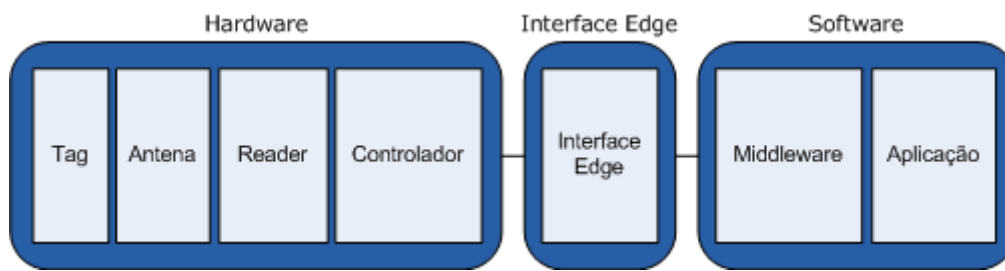


Figura 2 – Arquitectura de um sistema RFID

Esta arquitectura pode ser dividida em três blocos distintos, hardware, interface edge e software. No bloco de hardware, tal como o nome indica, é onde se encontram todos os dispositivos físicos, tais como a tag, o reader e a respectiva antena.

O controlador é usualmente chamado de *firmware*, e costuma estar integrado no reader. A função do controlador é a de permitir que um agente externo controle o comportamento do reader.

A interface edge é responsável pela integração do bloco de hardware com o bloco de software. A sua principal função é a de obter informação do reader e transferi-la para uma camada superior de software, que a saiba processar. Tal como em qualquer arquitectura estruturada por camadas, a utilização desta interface permite a existência de uma camada de abstracção que possibilita a aplicação desenvolvida não esteja dependente da configuração do hardware, permitindo uma futura adição de hardware sem que seja necessária a modificação da aplicação.

O chamado bloco de software geralmente encontra-se no sistema de recolha de dados e é onde reside a inteligência desta arquitectura. É composto por uma camada de *middleware* que neste caso vai ser a camada responsável pela comunicação entre a interface edge e as futuras aplicações que irão necessitar da informação que esta interface irá recolher. A aplicação é constituída pelo software aplicacional implementando a lógica do negócio do sistema.

De notar que esta é apenas uma arquitectura de referência, e não existe a obrigatoriedade da utilização de todos os componentes. Nestas circunstâncias, é possível construir uma aplicação que comunicasse directamente com a camada de hardware sem a existência da interface edge ou de *middleware*, mas tal solução não tornaria este sistema escalável e facilmente expansível no futuro, pelo que é de boa prática incluir todas estas componentes quando se pensa a arquitectura de um sistema RFID.

2.2.1. Componentes de um Sistema RFID

Já foram apresentadas as várias componentes de um sistema RFID. Nesta secção irão ser expostas em maior detalhe algumas dessas componentes.

2.2.1.1. Tags

Uma tag RFID é um dispositivo electrónico que contém informação e a capacidade de a transmitir. Tem embutido uma ID e uma antena mas pode também incorporar baterias, microprocessadores e memórias não voláteis EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) para armazenar mais informação. Actualmente existem tags nas mais variadas formas e tamanhos e estão divididas em três tipos, passivas, activas e semi-passivas. Pode-se também dividir as tags com base na sua frequência de utilização, baixas ou altas, e ainda quanto ao tipo de acesso aos dados que permitem. Com tanta variedade pode-se afirmar que existem tipos de tags adequadas para qualquer tipo de aplicação, e é tendo em conta a aplicação final da tag que ela deve ser escolhida.

Tags passivas - Uma definição simples para tag passiva é de que é uma tag que não possui nenhuma fonte de alimentação para alimentar os seus circuitos. A sua energia é obtida através das ondas de rádio frequência emitidas pelo reader. Estas tags passam grande parte do tempo “adormecidas”, sendo que apenas são activadas quando entram na zona de leitura de um reader, momento em que recebem a energia das ondas de rádio e a aproveitam para alimentar os seus circuitos de forma a retransmitir a informação necessária para o reader. Este modo de funcionamento é chamado de *backscatter*.

Por não possuírem uma bateria, têm uma duração de vida muito maior, e também são mais pequenas e baratas. A desvantagem que apresentam reside na limitada capacidade de guardar informação, apesar de poderem ter memória não volátil. Têm também um raio de alcance mais curto e requerem que os readers tenham mais potência. O seu desempenho é também muito afectado em ambientes com muitas interferências magnéticas.

Tags activas – De forma análoga a uma tag passiva, uma tag activa é uma tag que possui uma fonte de alimentação para alimentar os seus circuitos. Isto implica que este tipo de tags não seja dependente da energia das ondas rádio emitidas pelo reader para iniciar uma transmissão, e também permite que estas tags possuam maiores memórias onde podem guardar mais informação. Além destas capacidades podem ainda ter outras funções tal como efectuarem monitorizações e controlo independente, e a capacidade de decidir quando querem emitir informação. Resumindo, a existência de uma fonte de energia nestas tags permite que se possa dotar uma tag activa de mais electrónica e dessa forma aumentar a sua potencialidade.

Apesar de terem um raio de alcance muito superior ao das tags passivas, entre outras vantagens já descritas, estas tags têm como desvantagem um tamanho superior, uma duração de vida inferior, e custos muito superiores.

Tags semi-passivas – Estas tags são um híbrido entre as tags activas e tags passivas. Tal como as tags activas têm integrada uma fonte de alimentação, que lhes permite um raio de alcance maior, mas tal como as tags passivas, estas encontram-se adormecidas, sendo necessário estarem na zona de leitura para iniciarem uma transmissão (*backscatter*). São menos dispendiosas que as tags activas e como tal são também uma opção válida para determinadas aplicações.

Frequências de utilização – Existem sistemas a funcionar nas mais variadas bandas de frequência. Diferentes bandas de frequência oferecem diferentes características, no que diz respeito ao alcance do sistema e velocidade da comunicação de dados. É preciso ter em conta vários factores na escolha de uma frequência de utilização, sendo uma das principais as restrições a utilização de certas frequências em determinados países. O custo também é um factor importante, mas tal como na escolha do tipo de tags, a escolha de uma frequência deve ser feita em função do tipo de aplicação pretendido.

A tabela seguinte resume as características de cada frequência de utilização e qual o tipo de aplicação mais adequada a cada frequência [6].

Banda de frequência	Tipos de aplicação	Velocidade de transmissão	Alcance	Material que penetra	Custo
LF (Low Frequency) 125 - 134 kHz	Controlo de acessos Identificação de Animais Controlo de Inventários	Baixa	Curto (<30 cm)	Todo o tipo	Baixo
HF (High Frequency) 13 - 56 MHz	<i>Smart Cards</i> Localização de itens Livrarias Sistemas anti-roubo	Moderada	Médio (~1 m)	Todo o tipo	Baixo
UHF (Ultra High Frequency) 860 - 930 MHz	Gestão de bens Portagens Localização de veículos	Elevada	Médio a Elevado (<10 m)	Não penetra tecidos, água e metal	Elevado

Microwave Frequency 2.4 ; 5.8 GHz	Controlo de bagagens Monitorização de comboios	Muito Elevada	Elevado	Não penetra tecidos, água e metal	Muito Elevado
--	--	------------------	---------	---	------------------

Tabela 1 - Características das frequências de utilização

Dados - A quantidade de informação numa tag pode variar entre alguns bytes e vários Megabytes. A única informação que é assegurada existir numa tag é um Identificador que se encontra guardado numa ROM (*Read Only Memory*), mas dependendo das memórias utilizadas podem ser guardadas mais informações, sendo também possível que uma tag tenha um sistema operativo desde que possua um microprocessador, podendo dessa forma manipular os dados antes de os transmitir. O formato pelo qual os dados são guardados pode ser organizado de várias formas, e a única premissa é a de que o reader tenha conhecimento desse formato. Existem também várias formas de acesso aos dados, sendo que existem tags que apenas permitem a leitura dos dados e outras que permitem leitura e escrita.

2.2.1.2. Readers

O reader é a parte interrogadora de um sistema RFID. Existem nos mais variados formatos e geralmente englobam um módulo de rádio frequência composto por uma antena e transmissor. Além disso contêm interfaces de comunicação para se interligarem aos sistemas de recolha de dados.

Para comunicar com as tags, o reader cria uma zona de interrogação composto por um campo electromagnético. É este campo que alimenta alguns tipos de tags e pode ser considerado com uma zona de identificação de presença de uma tag. Quando uma tag entra nessa zona de interrogação responde ao reader com um sinal de presença, e de seguida o reader pode interrogar a tag para obter informação.

A maioria dos readers lê em toda a gama de frequências, ou então numa específica para o tipo de tag. Existem ainda aqueles que permitem que a gama de frequências lida seja configurada através do seu *firmware*. É este *firmware* que permite configurar todas as opções do reader, tais como os filtros de tags, ler ou escrever nas tags, configuração das antenas, definição de eventos a detectar entre outros.

Um reader pode ser fixo ou portátil. Ambos apresentam as mesmas características, devendo a opção por um dado tipo ser feita com base na aplicação. De forma a poder comunicar com outros dispositivos

o reader é dotado de uma ou mais interfaces de comunicação. As mais comuns são as RS485, RS232 e Ethernet e existem alguns que têm porta USB (*Universal Serial Bus*).

Além de todas estas características cada fornecedor distribui junto com os readers uma API (*Application Programming Interface*) que permite a criação de aplicações para interagir com o hardware. São estas API's que permitem a integração com os sistemas de recolha de dados.

2.2.2. Desafios

Apesar de ser uma tecnologia que apresenta inúmeras vantagens face às concorrentes, existem ainda muitos desafios que tem de superar, para que possa ser amplamente adoptada. O maior desafio para esta tecnologia prende-se com a vasta expansão da tecnologia de código de barras que é usada em todos os sectores. O facto de esta infra-estrutura estar já estabelecida faz com que exista uma resistência à mudança por parte de todos os potenciais clientes. A falta de definição de standards de equipamento RFID origina que cada fabricante opte por oferecer dispositivos completamente diferentes dos de outros fabricantes, o que torna complicado a integração de diferentes dispositivos num mesmo sistema. Esta situação também leva a que os fabricantes não produzam mais equipamento, o que não permite uma baixa significativa nos preços do equipamento, dificultando uma maior adesão por parte de possíveis utilizadores. [7]

Outro grande desafio para esta tecnologia é a questão da privacidade, e privacidade é considerada um direito de um consumidor. O problema que pode surgir com a utilização da tecnologia RFID é o não conhecimento por parte de um utilizador de que está a adquirir um produto que contém uma tag RFID, que não foi desactivada e que permite que qualquer entidade faça o rastreamento desse bem ou pessoa invadindo assim o direito básico da privacidade. Existe muita legislação quanto à recolha de dados de utilizadores, mas no entanto essas leis não cobriam as aplicações RFID. Como tal foi definida uma lista de direitos RFID [8], que consiste em cinco direitos que qualquer utilizador e fornecedor de um sistema RFID devem seguir, sendo eles:

- O direito a saber se um produto tem uma tag RFID
- O direito de que uma tag RFID embebida num produto seja removida, desactivada ou destruída quando esse produto é adquirido
- O direito a não perder outros direitos (tais como a troca de bens) caso o utilizador opte por não querer utilizar esta tecnologia nos bens que compra
- O direito a saber qual a informação que é armazenada numa tag RFID, e caso essa informação esteja incorrecta, tem que existir uma forma de a corrigir.
- O direito a saber quando, onde e como uma tag RFID está a ser lida.

Além destes desafios existem todo um conjunto de problemas que podem ser causados através da exploração de falhas de segurança nos equipamentos RFID. Alguns exemplos de ataques a estes sistemas incluem tentativas de leitura de tags privadas, pois se estas não incluem nenhum mecanismo de segurança, irão responder a qualquer reader que funcione na mesma gama de frequências. Esta é uma das maiores causas do rastreamento de tags e possível quebra de privacidade discutida anteriormente. Um atacante pode também criar tags que obedeçam ao protocolo de um determinado reader, originando assim falsa informação, desvirtuando todo o objectivo da implementação de um sistema destes. Podem ainda ser realizados ataques de negação de serviço, provocando interferências na gama de frequências que está a ser utilizada por um reader, ou causando um grande número de leituras, através da injeção contínua de informação errada, que poderá prejudicar o desempenho de um reader. Resumindo, um sistema RFID pode ser alvo de ataques tais como qualquer outro sistema informático, ou rede de comunicação sem fios, sendo para isso necessário aperfeiçoar mecanismos de segurança que não coloquem em causa a integridade da informação.

2.4. Frameworks de desenvolvimento de aplicações RFID

O sistema de recolha de dados pode ser considerado o “cérebro” de uma plataforma RFID, pois de nada serviria a recolha de informação de tags por parte dos readers se não existisse um servidor com a capacidade de armazenar e interpretar a informação recolhida. Para tal é necessário implementar um sistema de informação que tenha a capacidade de comunicar com os readers e de tratar a informação recolhida. Para ajudar na implementação destes sistemas existem várias *frameworks* de desenvolvimento que permitem uma fácil integração de diferentes dispositivos, e mecanismos que permitem uma fácil integração deste sistema com outros sistemas já existentes. De seguida irão ser descritos duas *frameworks* que são as mais conhecidas e utilizadas, sendo que uma é fornecida pela Sun e outra pela Microsoft. Ambas apresentam arquitecturas e funcionalidades muito similares.

2.4.1. Sun Java System RFID

A *framework* disponibilizada pela Sun [9] para o desenvolvimento de aplicações RFID tem como objectivo facilitar a integração de equipamento de vários fabricantes, e é especialmente focada no desenvolvimento de aplicações que comuniquem com a EPC (*Electronic Product Code*) *Global Network* [10]. É composta por quatro módulos, um gestor de eventos, um gestor de configuração que é parte integrante do gestor de eventos, um servidor de gestão de informação e uma consola de gestão de configuração. Na seguinte figura está presente a arquitectura desta *framework*:

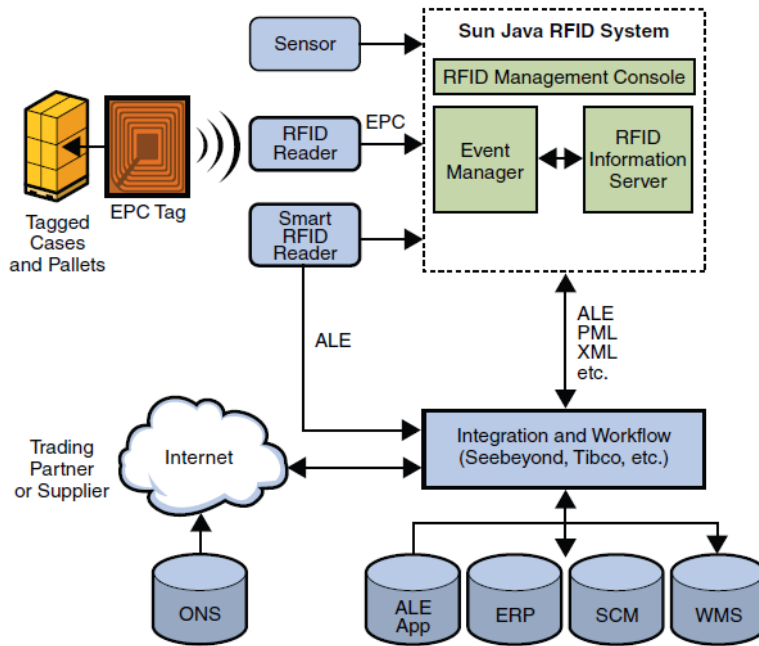


Figura 3 - Arquitectura da Framework Sun Java RFID

O gestor de eventos comunica com os leitores RFID para recolher informação que pode ser armazenada no gestor de informação para análise futura. Esta informação pode também ser enviada para outras aplicações. O gestor de configurações permite que o utilizador explicita quais os dispositivos ligados ao sistema, e também gerir o fluxo de informação que é obtido pelo gestor de eventos. Este gestor também permite que sejam adicionados mecanismos desenvolvidos por programadores para controlar todo o fluxo de informação e comunicação com os leitores, através da disponibilização de uma API. Através da consola de gestão de configuração é possível controlar e monitorizar todos os aspectos de configuração dos dispositivos.

A forma como o gestor de eventos interage com os readers RFID é através de um adaptador que implementa o protocolo de comunicação do reader, que recebe a informação de um reader e que gera eventos para serem consumidos pelo resto do sistema. A plataforma fornece alguns adaptadores para diverso equipamento e a possibilidade de se criar novos adaptadores. Depois de recolhida a informação por parte do gestor de eventos, esta é enviada para o gestor de informação. Este gestor tem a capacidade de comunicar com outras aplicações através de vários protocolos de comunicação, de forma a ser possível a sua integração com outras aplicações que necessitem de consumir os dados obtidos.

2.4.2. Microsoft Biztalk RFID

Biztalk RFID [11] é uma *Framework* de desenvolvimento de aplicações que utilizem a tecnologia RFID, desenvolvida pela Microsoft, que permite a integração de equipamento de vários fabricantes e também a integração da aplicação desenvolvida nesta *framework* com outras já existentes. Para tal esta *framework* está dividida em várias camadas sendo elas:

1. Dispositivos, onde se inclui o equipamento RFID
2. DSPI (*Device Service Provider Interface*), uma interface de comunicação para os dispositivos
3. Processador de Eventos
4. API para RFID
5. Ferramentas e Adaptadores

De seguida irão ser descritas quais as funções de cada camada, que se encontram representadas na figura 4 [12].

Dispositivos – Tal como o nome indica esta camada corresponde à camada onde se encontram todos os dispositivos que pretendemos controlar ou obter informação, onde podemos incluir readers RFID, impressoras de Tags, leitores de códigos de barras, etc.

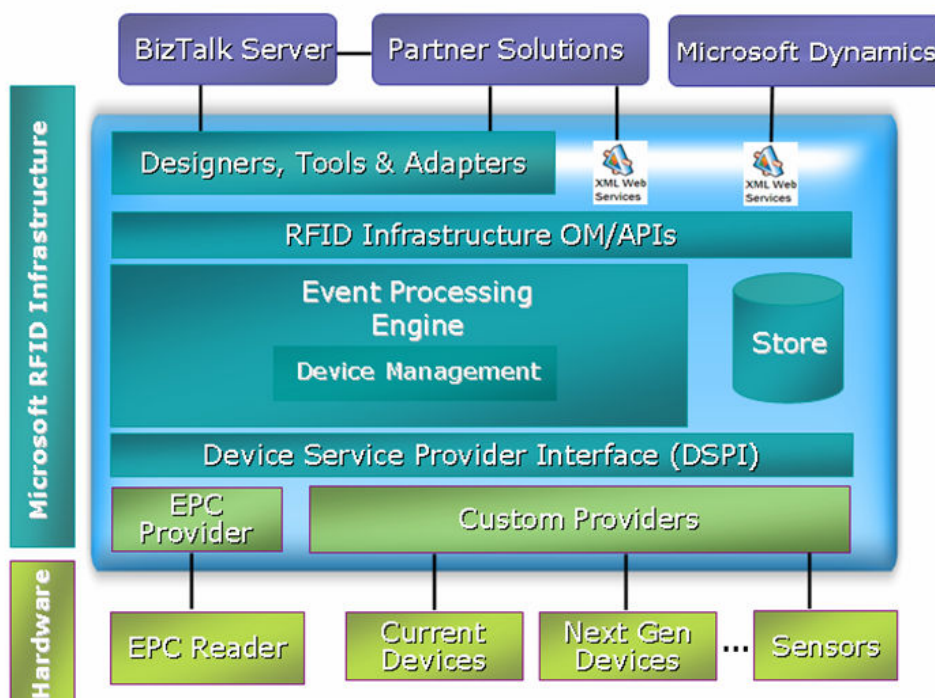


Figura 4 - Arquitetura da Framework Biztalk RFID

Device Service Provider Interface – O objectivo desta camada é a de fornecer mecanismos de integração de dispositivos de diferentes fabricantes num só sistema. Através da programação de um adaptador que implemente o protocolo de comunicação do dispositivo é possível recolher a informação fornecida por ele. O Biztalk tem já de origem um conjunto de adaptadores fornecidos pelos fabricantes de equipamento, sendo que caso se tencione utilizar equipamento que não tenha um adaptador de origem é possível programar um com base num esqueleto de código fornecido com a *framework*.

Processador de Eventos – Nesta camada é feita toda a gestão do fluxo de eventos e informação. Através da programação de regras e *handlers* é possível manipular os dados fornecidos pelos dispositivos de forma a respeitarem a lógica da aplicação a desenvolver. É também nesta camada que é feita a gestão dos dispositivos que se encontram ligados ao sistema. A programação destes *handlers* e regras é feita recorrendo à API RFID disponibilizada nesta *framework*.

Ferramentas e Adaptadores – Esta camada tem como objectivo oferecer mecanismos que permitam a integração desta plataforma com outros sistemas já existentes, facilitando assim a integração de uma plataforma RFID numa organização.

Toda a gestão do Biztalk RFID é feita através de uma interface gráfica, que contém também mecanismos para gerir o equipamento acoplado ao sistema.

2.5. Aplicações da Tecnologia RFID

A versatilidade da tecnologia RFID está bem patente nas inúmeras aplicações que ela tem. Desde um papel activo na melhoria na localização de mercadorias, segurança e controlo de acessos e até no entretenimento, existe um sem número de áreas onde esta tecnologia pode ser aplicada. O seguinte gráfico mostra os resultados de um estudo feito pela Venture Development Corporation, referente à distribuição da utilização desta tecnologia nos mais variados sectores, para o ano de 2008 [13].

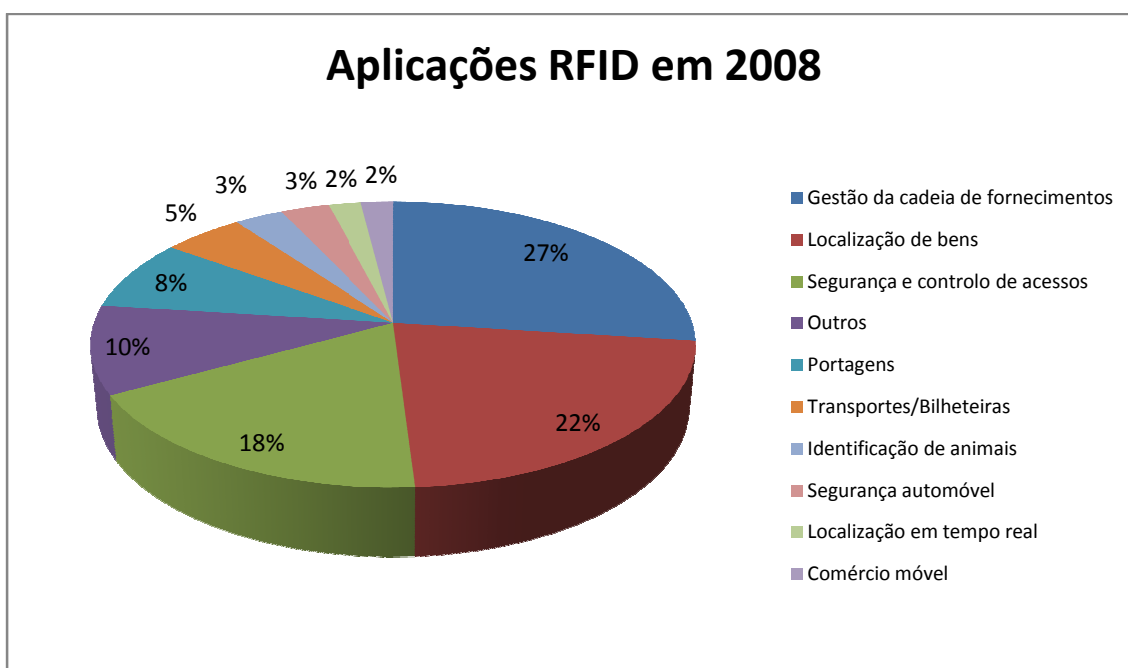


Figura 5 - Aplicações RFID em 2008

Os motivos que levam uma empresa a adoptar a tecnologia RFID no seu modelo de negócio são o aumento da velocidade de operação, aumento da integridade dos dados, redução dos custos de operação e redução dos custos de inventário. A implementação de sistemas RFID nas mais diversas áreas permite o aumento da eficiência e a redução de custos, através da automação de tarefas que anteriormente exigiam muita mão-de-obra.

De seguida são apresentados alguns exemplos de como a tecnologia pode ser utilizada em alguns sectores.

Gestão da cadeia de fornecimentos/Localização de bens – Através da colocação de tags em contentores e paletes de produtos é possível ter um maior controlo sobre os bens de uma companhia. Com a utilização de readers em pontos de carga e descarga, é possível fazer um rastreamento dos lotes de produtos e desta forma nunca perder rasto deles. Além disso é possível que uma tag contenha informação referente aos produtos, tal como temperaturas a que devem ser guardados, ou o seu destino, reduzindo assim o esforço para obter tal informação.

Segurança e controlo de acessos – Tags RFID em produtos são utilizadas em todo o mundo de forma a prevenir roubos. A colocação de uma tag num produto permite identificar à saída de uma loja se o produto foi pago ou não. Existem empresas a trabalhar em sistemas de combate à pirataria informática, através da utilização de RFID. A colocação de uma tag em discos permite que quando esse mesmo disco seja colocado num leitor se detecte se ele é original ou não, e até permite identificar se esse disco está na região certa no caso de DVD's. No controlo de acessos, é possível dotar um indivíduo de uma tag RFID e dessa forma ele ter acesso a certos espaços sem a necessidade de um cartão de identificação ou de um código, facilitando assim a sua mobilidade. No mundo automóvel, existem sistemas que dotam as chaves de ignição com uma tag e que apenas permitem que o automóvel inicie a marcha na presença dessa mesma chave.

Portagens – Existem portagens em todo o mundo a funcionar com tecnologia RFID, que permite que a colecta de uma portagem seja feita sem necessidade de um condutor parar na dita área de portagem. Cada veículo é dotado de uma tag RFID que contém a informação necessária para mais tarde com o apoio de um avançado sistema de software que está directamente ligado às autoridades responsáveis, o pagamento da portagem seja feito. Um bom exemplo deste sistema é a Via Verde.

Bilheteiras – A criação de passes e bilhetes dotados de RFID, permitem uma grande poupança de recursos e permitem a criação de sistemas CRM (*Customer Relationship Management*) de apoio ao cliente bastante avançados. O próprio passe passa a conter a informação do cliente e saldo do mesmo, facilitando o carregamento, e permitindo o rastreio da utilização do mesmo por parte da empresa que fornece o serviço. A recolha de dados permite que no futuro seja feito um tratamento desses dados, que impulsionam a correcção de certas lacunas que possam existir no fornecimento de um serviço ou incitar a criação de novos serviços.

Identificação de animais – Dada a quantidade de doenças animais associadas a certas regiões do mundo, é cada vez mais importante saber qual a origem dos animais. Com a utilização de RFID é possível saber qual a origem de um animal e dotar o mesmo de um registo veterinário. Esta tecnologia é também cada vez mais utilizada em animais domésticos, de forma a saber quem é o dono do animal em caso de desaparecimento.

Outros – Nesta categoria podem-se inserir todas as aplicações de RFID no campo da domótica, desportos e entretenimento. A tecnologia é de momento utilizada em alguns campos de golfe de forma a evitar a perda de tantas bolas, em campeonatos de hockey, de forma a assistir os árbitros na gestão do jogo. O suporte a sistemas de localização eficazes permite que esta tecnologia seja utilizada em sistemas de realidade virtual e sistemas pervasivos.

2.6. Aplicações RFID em identificação de passagens de veículos

A tecnologia RFID tem vindo a ser amplamente adoptada em todos os grandes meios de transporte a nível mundial [14]. A sua utilização vai desde sistemas de pagamento de portagens, à detecção de passagem de veículos em tempo real, sendo as suas aplicações e vantagens inúmeras. Tendo em conta o âmbito desta tese irão ser mostradas quais as vantagens e aplicações mais típicas do RFID na detecção de veículos em movimento, neste caso composições de comboios, sendo identificadas as configurações possíveis para o fazer [15].

2.6.1. Vantagens da utilização do RFID em transportes

A utilização do RFID no mundo dos transportes tem como base os mesmos objectivos que qualquer outro ramo: aumentar a eficácia e minimizar os custos. Anteriormente obter certas informações neste meio era uma tarefa árdua, pois uma monitorização manual de transportes exige muita mão-de-obra, podendo alguns erros resultar em acidentes e atrasos. A introdução do RFID permite a automação da maior parte da monitorização, impulsionando o desenvolvimento de avançados sistemas de localização e de gestão de frotas [16]. As principais vantagens da utilização do RFID nesta área são [17]:

- Melhoria no rastreamento de veículos, na gestão e utilização da frota
- Redução dos custos de operação
- Facilidade de obtenção de informação em tempo real
- Eliminação do risco de ocorrência de acidentes por causa de erros cometidos por humanos
- Aumento da segurança

- Melhoria da fiabilidade
- Aumento da eficiência

2.6.2. Aplicações típicas do RFID em caminhos-de-ferro

De seguida apresentam-se as aplicações típicas do RFID em caminhos-de-ferro:

- Identificação automática de equipamento
 - Rastreamento de carruagens e equipamentos
 - Gestão da frota e inventários de equipamento
 - Controlo de acessos
 - Autorização a terminais de abastecimento
- Monitorização automática do posicionamento do veículo
 - Identificação da localização do veículo
 - Monitorização da velocidade do veículo
 - Controlo de partidas e chegadas
 - Actualização de informação a bordo
- Monitorização automática de equipamento
 - Controlo do gerador, refrigerador, e níveis de combustível
 - Detecção de fugas
 - Detecção de abertura de portas
 - Monitorização de temperaturas

2.6.3. Monitorização automática do posicionamento do veículo

No âmbito desta tese as aplicações que têm mais interesse são as de monitorização automática do posicionamento de um veículo. A utilização de RFID permite criar avançados sistemas que recolhem informação sobre a passagem de um veículo, e dessa forma obter a sua localização. A recolha desta informação permite mais tarde a construção de inúmeras aplicações e serviços [18] [19] [20] [21].

Actualização de informação de tráfego/ Localização do veículo - Através da localização do veículo é possível adquirir informação precisa e de confiança. Através do encaminhamento dessa informação para um sistema informático é possível fazer a actualização de painéis informativos nas paragens. Essa informação pode também ser utilizada pelo próprio veículo, para actualização de informação a bordo tal como mudança automática de grupos rádio.

Operação e manutenção – Informação sobre a configuração dos vagões de um comboio pode ser fornecida automaticamente. Tal informação pode ser utilizada para fazer a correspondência de vagões em termos de largura dos eixos ou outra característica relevante. Permite também obter informação sobre os troços e distâncias percorridas, fornecendo assim detalhes precisos que anteriormente seriam difíceis de contabilizar manualmente. A obtenção destes dados permite uma futura análise estatística que pode desencadear a detecção de falhas num sistema e dessa forma accionar um plano para as corrigir.

Posicionamento rigoroso – Informação de localização do veículo precisa permite o desenvolvimento de sistemas de apoio ao estacionamento, paragem exacta e separação automática de carruagens.

A empresa americana Transcore disponibiliza várias aplicações para caminhos-de-ferro com base na tecnologia RFID. A figura seguinte ilustra uma dessas aplicações [22].

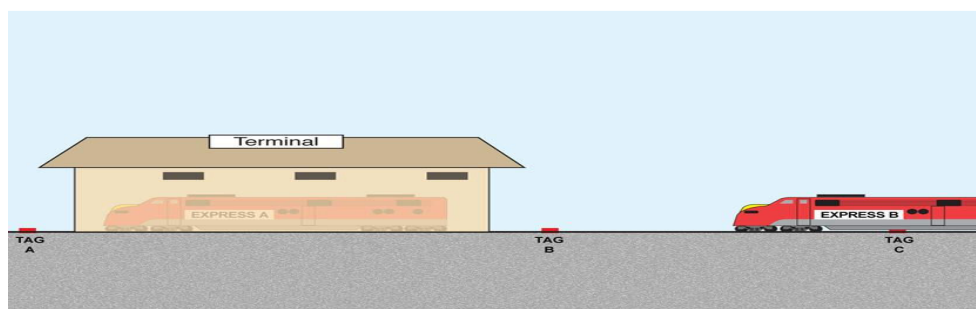


Figura 6 - Sistema RFID da empresa Transcore

Com a colocação de tags em vários pontos de referência e instalação de readers nos comboios, este sistema permite a separação automática de carruagens, redução automática de velocidade em caso de infracção da distância de segurança, e apoio ao maquinista para uma paragem num ponto exacto. Este sistema permite ainda a obtenção das distâncias percorridas por um comboio e lançar um alerta em caso de necessidade de manutenção.

Outro serviço oferecido por esta empresa, é o da criação de espaços de privacidade, visto que em determinadas áreas os comboios atravessam zonas em que a linha está ao mesmo nível que edifícios de habitação. Com a colocação de tags antes e depois dessas zonas é possível o comboio detectar uma zona de privacidade e dessa forma escurecer as suas janelas para não se ver o exterior.

Além destes serviços oferece ainda a possibilidade de rastrear a localização exacta de vagões, através de colocação de tags nas carruagens, e readers em localizações específicas de forma à informação ser constantemente actualizada. Esta informação é o que possibilita também a existência de painéis informativos com a informação mais corrente. Através da explicação destas aplicações foram

introduzidas duas configurações distintas do equipamento RFID que irão ser apresentadas em mais detalhe na próxima secção.

2.6.4. Arquitecturas de Sistemas de Localização

A arquitectura deste tipo de sistemas é similar à arquitectura de outros sistemas RFID. É composta por um bloco de hardware composto pela tag e reader, e um sistema de recolha de dados que comunica com esse bloco. A particularidade destes sistemas é a de que existem 2 modos de se fazer a configuração do hardware. O reader pode estar instalado no próprio veículo, como ilustrado na figura 7 [19], ou então podem se colocar vários readers, espalhados por certas localizações chave, como se encontra ilustrado na figura 8 [22] [23] [24].

Não se pode afirmar que uma arquitectura é melhor que a outra, pois ambos são perfeitamente viáveis e servem aplicações completamente diferentes. O tipo de aplicação, custos, e até os meios disponíveis vão influenciar a escolha da arquitectura.

Nestes sistemas geralmente existem requisitos de tempo real, que implicam que os dados entre a tag e o reader sejam transmitidos o mais rapidamente possível. Além disso o alcance de leitura dos readers e de transmissão das tags tem que ser mais longa que o habitual, pelo que este tipo de sistemas requer a utilização de tags activas numa banda de frequência de utilização alta. O uso de tags activas implica uma maior preocupação com a manutenção do sistema, pois tem de se garantir que as baterias das tags ainda têm energia.

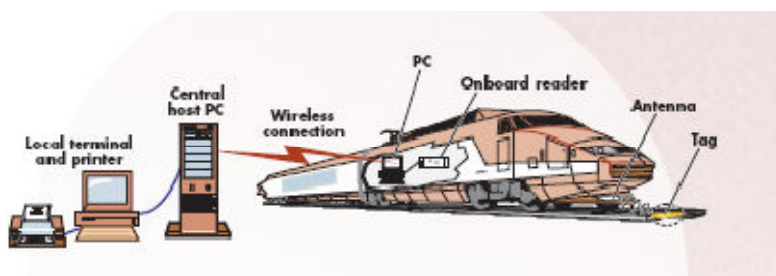


Figura 7 - Arquitectura RFID com Reader instalado no comboio

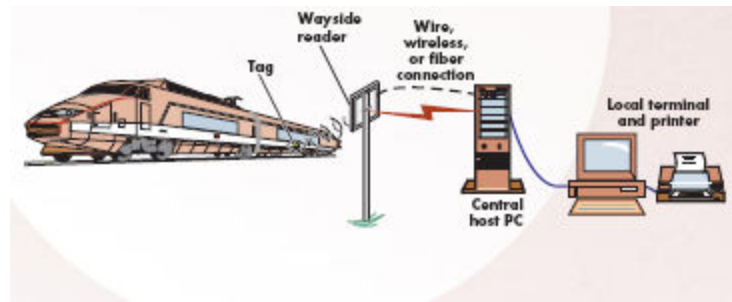


Figura 8 - Arquitectura RFID com Reader instalado na linha

2.6.5. Arquitectura RFID com Reader instalado no comboio

Nesta arquitectura o reader e o sistema de recolha de dados estão instalados no comboio e as tags são colocadas em pontos-chave localizados no ambiente exterior, entre os carris. Esta arquitectura é aconselhada para aplicações em que o comboio tenha que saber a sua localização exacta, e não exista a necessidade de comunicação dessa informação para o exterior. Este tipo de instalação encontra-se representado na figura 9 [23].

Exemplos destas aplicações são a mudança de grupo rádio, actualização de painéis de informação no interior do comboio e sistemas de apoio à navegação, tais como paragem em locais precisos ou separação de carruagens assistida automaticamente.

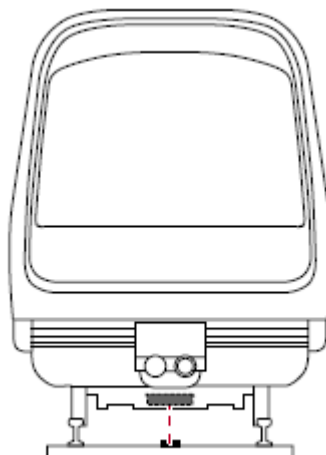


Figura 9 – Instalação do reader no comboio

No caso da existência de rede sem fios é possível que o comboio comunique esses dados directamente a um sistema de recolha de dados fora do comboio, o que possibilita a criação de novas aplicações idênticas às que se conseguem com a arquitectura em que os readers estão instalados na linha. No

entanto, a introdução de uma rede sem fios para comunicação de dados pode representar mais um ponto de falha no sistema, e dado que muitas das vezes estas aplicações são vitais, esta complexidade acrescida pode introduzir problemas de segurança. Os problemas advêm do curto raio de alcance de cada ponto de acesso em tecnologias como o 802.11, que provocam a perda de sinal aquando da mudança de ponto de acesso (*handover*). Esta situação pode vir a ser alterada, uma vez que com a introdução do Wi-Max, o raio de cada célula é muito superior ao do 802.11. Outra tecnologia sem fios que pode ser utilizada é o GSM (*Global System for Mobile Communications*), Porém esta tecnologia apresenta ritmos de transmissão baixos, pelo que pode causar problemas em sistemas de tempo real. Outra opção pode ser uma rede de 3ª geração tal como o UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) [25] [26].

2.6.6. Arquitectura RFID com Reader instalado na linha

Nesta arquitectura os readers são instalados em pontos-chave, e uma tag é colocada no comboio, como ilustrado na figura 10 [23]. Esta arquitectura é aconselhada para aplicações em que é importante identificar a localização do comboio mas o comboio não precisa de ter acesso a essa informação.

Exemplos dessas aplicações, são todos os sistemas de logística para manter um rastreamento de carruagens, painéis informativos nas estações, e sistemas para armazenar as distâncias percorridas para controlo de manutenções.

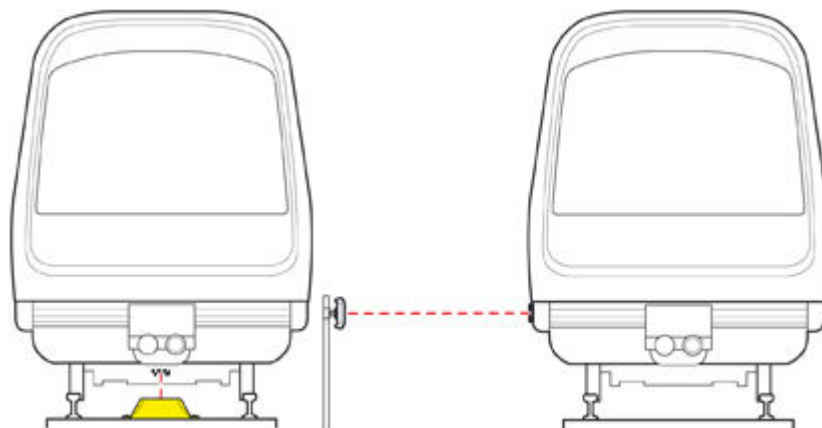


Figura 10 - Reader instalado na linha ou na lateral da linha

Nesta arquitectura os readers vão comunicar directamente com um sistema de recolha de dados, através de uma qualquer ligação de dados.

2.7. Casos Práticos

De seguida irão ser apresentados alguns casos práticos de implementações deste tipo de sistemas. Os casos aqui apresentados são implementações efectuadas pela empresa Sueca Tagmaster, fornecedora de equipamento RFID.

As tags utilizadas nos casos seguintes, são tags activas que apenas permitem leitura dos seus dados, têm grande alcance, capacidade de serem lidas a velocidades até 400 km/h e que funcionam na frequência dos 2.45 GHz.

Os readers utilizados têm uma construção específica para aguentarem as condições extremas a que são submetidas na parte inferior de uma carruagem ou na linha, efectuando a leitura das tags na frequência dos 2.45 GHz. Tem um alcance de leitura que atinge os 6 metros e comunica com o sistema de recolha de dados através de uma interface RS485, RS232 ou Ethernet.

- **Sistema RFID para mudança de grupos de conversação TETRA no metro de Londres**

No Metro de Londres [27] é utilizado um sistema de comunicação rádio TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*). Este sistema implica a utilização de diferentes grupos de conversação em diferentes localizações geográficas. O objectivo deste projecto foi a criação de um sistema automático de mudança de grupo de conversação, para garantir que a unidade móvel de conversação a bordo do Metro comunica com o operador correcto. Para isto ser possível é preciso dotar o Metro de um sistema de localização a bordo ligado ao sistema de rádio. A solução para o problema passou pela utilização da tecnologia RFID. Dado que apenas o Metro precisava de saber a sua localização, foi adoptada a solução de instalar o reader na parte inferior da carruagem, que comunica com o sistema de rádio a bordo. As tags foram colocadas em pontos que identificavam a entrada num novo grupo de conversação.

- **Sistema RFID para identificação automática de veículos no metro de Hamburgo**

De forma a melhorar o serviço para passageiros e otimizar os processos de controlo no Metro de Hamburgo [28], Alemanha, foi desenvolvido um sistema de monitorização e controlo de operações tendo como base a tecnologia RFID. Os requisitos eram o de identificação fiável da passagem de um comboio e também a direcção do movimento do mesmo. Neste sistema foram instalados readers na linha e tags nos comboios. Os readers por sua vez estão interligados a um sistema central que permite a actualização de painéis informativos para os clientes e monitorização do tráfico.

- **Sistema RFID de apoio a sistema de detecção de falhas**

Os caminhos-de-ferro da Holanda utilizam um sistema automático que permite a detecção de falhas nos eixos/rodas de uma composição a que deram o nome de GOTCHA [29]. Este sistema permite a empresa reduzir os custos de manutenção através de uma monitorização automática da vibração dos carris. Para

detectar as vibrações foram instalados sensores nos carris em vários pontos da linha, que futuramente são traduzidas em medidas que permitem determinar anomalias num veículo. Para associar os valores medidos a cada carruagem foi utilizado um sistema RFID, que guarda a informação de qual a carruagem que passou nos sensores.

Dado que os sensores estão instalados na linha, a opção passou por instalar os readers na lateral da linha, como tal as tags também são instaladas na lateral de cada carruagem. A figura seguinte representa a arquitectura deste sistema.

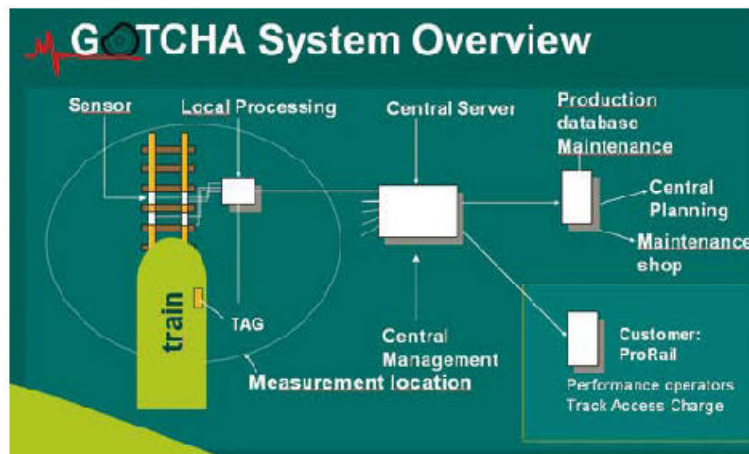


Figura 11 - Arquitectura do sistema GOTCHA

- **Sistema RFID para actualização de informação a passageiros em Bilbao**

Nos comboios locais de Bilbao, Espanha, a tecnologia utilizada para se efectuar a actualização de dados nos painéis informativos para os passageiros é a tecnologia RFID. Através da instalação de readers nos carris em cada estação, e de tags RFID em cada comboio é possível criar um sistema que fornece informação sobre chegadas e partidas de comboios [18].

- **Sistema RFID para controlo de veículo sem condutor**

Em Taipei, na Tailândia, existe um meio de transporte sem condutor orientado por um carril. Como é necessário que o veículo saiba a sua posição a cada momento, foi desenvolvido um sistema RFID que fornece a posição absoluta em pontos-chave da rede. Este sistema é particularmente útil em situações em que o veículo tem de parar numa posição exacta de forma a alinhar as suas portas com a plataforma de desembarque [18].

3. Arquitectura da Solução Proposta

Neste capítulo irá ser apresentada a contribuição desta tese para a resolução do problema apresentando. Esta contribuição inclui uma arquitectura de hardware em que os readers RFID são instalados na linha e as tags instaladas nas composições a identificar. A tecnologia a utilizar será a tecnologia de RFID activa. Além da arquitectura de hardware é especificada uma arquitectura de software que engloba um sistema de recolha de dados, responsável por armazenar e manipular a informação recebida pelos readers, e um cliente que poderá interagir com o sistema de recolha de dados. Para além destas arquitecturas são também descritos os requisitos que cada arquitectura deve ter em conta.

3.1. Requisitos da Arquitectura

Existe um conjunto de requisitos que este sistema deve cumprir e que devem ser tidos em conta no desenho e especificação da arquitectura da solução ao problema proposto. Os requisitos que vão ser apresentados de seguida podem claramente ser divididos em requisitos de hardware, que devem ser respeitados aquando da escolha do equipamento, e requisitos de software, que se relacionam mais com a funcionalidade pretendida do sistema. Um ponto-chave para todo o desenvolvimento desta plataforma, é o facto deste sistema não ter requisitos de sistema crítico, ou seja, a plataforma a desenvolver não vai alimentar nenhum outro sistema crítico existente no Metro de Lisboa, que possa colocar em causa a segurança de qualquer pessoa ou equipamento.

3.1.1. Requisitos de Hardware

O principal requisito de hardware é a utilização da tecnologia de identificação por rádio frequência ou RFID. O equipamento a utilizar tem de ter a capacidade de fazer a detecção da passagem de uma composição do METRO à sua velocidade máxima, que se encontra na ordem dos 70 km/h. A identificação de cada composição deve ser feita nos dois sentidos possíveis de movimento que as composições suportam, e a colocação do equipamento deve ser feita de tal forma que permita identificar qual o sentido do movimento da mesma. Além de ser necessário saber qual o sentido da composição, a escolha dos locais onde colocar o equipamento tem de ter em conta os quatro locais onde se pretende determinar a localização de uma composição, nomeadamente: linha, parque, término ou oficina. O equipamento a utilizar não deve requerer a instalação de mais nenhuma infra-estrutura de comunicação, pelo que deve utilizar a já existente. Informação disponibilizada pelo Metro indica que existe uma rede *cablada* Ethernet em todos os pontos onde se pretende fazer a identificação de uma

passagem, pelo que o equipamento a utilizar deve ser dotado de uma interface de comunicação TCP (*Transmission Control Protocol*)/IP (*Internet Protocol*) para troca de dados. Além da necessidade do equipamento estar dotado desta interface tem ainda de ter um *firmware* que permita a gestão remota de toda a sua configuração, e acesso ao estado actual de funcionamento, de forma a não ser necessário a deslocação ao local para qualquer modificação de configuração e monitorização do equipamento. De forma sintetizada os principais requisitos de hardware do sistema são os seguintes:

- Utilização da tecnologia RFID
- Equipamento a utilizar deve suportar identificação de passagens a 70 km/h
- Identificação deve suportar os dois sentidos do movimento da composição
- Colocação do equipamento deve ter em conta os quatro locais onde se pretende fazer uma identificação, em linha, parque, término ou oficina
- Equipamento deve estar dotado de interface de comunicação TCP/IP e permitir configuração e monitorização remota

3.1.2. Requisitos de Software

O software a desenvolver deve ser completamente independente do hardware a utilizar, de forma a se poder utilizar equipamento de fornecedores diferentes. O software tem de ter a capacidade de recolher toda a informação referente às passagens identificadas pelo bloco de hardware. Deve existir uma persistência de toda a informação que é recolhida. O bloco de software tem de ter em conta que podem existir falhas de funcionamento do equipamento RFID, pelo que deve ser desenvolvido um sistema que seja tolerante a falhas e que tenha a capacidade de inferir passagens que ocorram durante uma falha de equipamento. Cabe ao software a capacidade de fazer o cálculo de percursos efectuados assim como gestão de toda a informação referente às composições. Pretende-se que a aplicação a desenvolver tenha a capacidade de mostrar o estado actual do equipamento e a capacidade de o gerir. A aplicação deve ainda ser dotada de uma interface de acesso remoto que permita o desenvolvimento de clientes que possam aceder à configuração e monitorização do equipamento e replicação da informação recolhida. Sendo assim os principais requisitos de software de forma resumida são os seguintes:

- Independência do equipamento RFID a utilizar
- Capacidade de recolher toda a informação referente a passagens
- Persistência de dados
- Tolerância a falhas do equipamento RFID
- Capacidade de inferir passagens em caso de falha do equipamento RFID
- Gestão e monitorização do equipamento RFID
- Interface de acesso remoto ao sistema
- Mecanismo de replicação de dados recolhidos

3.2. Arquitectura Geral do Sistema

A arquitectura base deste sistema é idêntica à de um sistema RFID comum. Este sistema é composto por um bloco de hardware que contém os readers e as tags, e um bloco composto por um servidor central com um sistema de recolha de dados que recolhe os dados do bloco de hardware. Como existe o requisito de acesso remoto ao sistema, é preciso também adicionar a esta arquitectura um terceiro componente composto por terminais de acesso remoto, que vão correr uma aplicação cliente do sistema de recolha de dados. A figura seguinte contém uma representação gráfica da arquitectura geral do sistema.

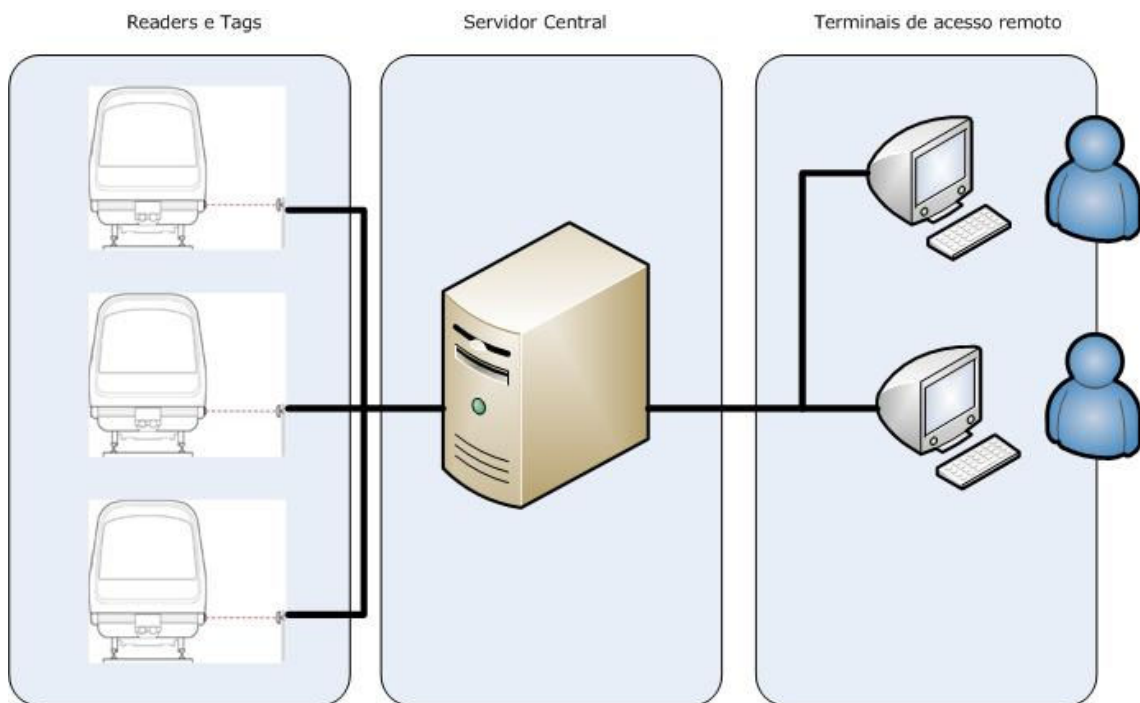


Figura 12 - Arquitectura geral do sistema

A existência de uma rede Ethernet na rede do Metro faz com que a ligação entre os readers e o sistema de recolha de dados seja feito por meio desta rede, sendo que os readers e servidor central necessitam de estar dotados de interfaces de comunicação TCP/IP. Por sua vez o servidor central e os terminais de acesso remoto podem não se encontrar na mesma rede, pelo que o meio mais provável de ser utilizado para a comunicação entre estes componentes deverá ser a Internet.

A opção de se utilizar um sistema de recolha de dados centralizado tem a ver com o volume de informação gerado. Dado que os readers irão ser instalados apenas em locais onde uma composição inicia e termina o seu serviço, o volume de tags lidas por segundo vai ser muito inferior ao de um

sistema que fizesse uma localização mais precisa de uma composição. É esperada a instalação de readers em 14 pontos, pelo que o número mais provável de instalação de readers será de 28 (explicação na secção de arquitectura de hardware), pelo que o número de passagens identificadas por segundo nunca será superior a este valor. No entanto a utilização de um sistema de recolha de dados centralizado pode originar problemas de disponibilidade do serviço. Como tal é necessário procurar mecanismos que ofereçam redundância ao servidor central. Nesta tese não irão ser abordados os mecanismos de redundância, sendo o principal foco a integração do equipamento RFID com o sistema de recolha de dados.

O princípio de funcionamento deste sistema é o seguinte: cada composição do Metro vai estar dotada de tags RFID com um identificador único, e em certos pontos da rede do Metro irão estar instalados readers RFID. Aquando da passagem de uma composição do Metro por esses pontos, irá ser gerado um evento que vai conter o identificador da tag que se encontra na composição e o nome do dispositivo que fez a identificação da passagem. Este evento irá ser transmitido para o sistema de recolha de dados que o irá processar e armazenar a informação referente a essa mesma passagem. Essa informação poderá depois ser acedida remotamente através de um cliente que comunica com o sistema de recolha de dados.

Nas seguintes secções irão ser descritas com detalhes as arquitecturas da solução proposta para cada um dos blocos apresentados nesta arquitectura geral do sistema.

3.3. Arquitectura de Hardware

A arquitectura de hardware engloba todas as questões referentes a instalação dos readers e tags, assim como a escolha de equipamento que permitem satisfazer os requisitos apresentados. Cada uma das secções seguintes demonstra todas as opções tomadas e o porquê das mesmas.

3.3.1. Readers

A arquitectura escolhida para instalação dos readers foi a de readers instalados na linha. Esta opção deve-se ao facto de a composição não necessitar de obter informação quanto à sua localização, sendo apenas necessário disponibilizar esta informação para o sistema de recolha de dados. Outro motivo é o de que informações disponibilizadas pelo Metro indicam que o número de locais onde se pretende fazer a identificação das composições é igual a 14, enquanto que o número de composições em funcionamento é aproximadamente 330. Caso se optasse pela configuração de readers em composições seriam necessários instalar cerca de 330 readers, tornando o custo deste projecto demasiado elevado.

Os locais onde os readers vão ser instalados são todos os pontos de fronteira entre os quatro locais onde se pretende fazer uma identificação, ou seja em todas as fronteiras entre linha, parque, oficina ou término. É necessária a colocação de um reader para cada linha existente na fronteira, de forma a se poder fazer a identificação em ambos os sentidos. O caso mais comum é o de existirem duas linhas por fronteira, uma para cada sentido, mas podem existir casos em que existe mais do que uma linha por fronteira. As imagens seguintes demonstram exemplos de fronteiras e as devidas localizações dos readers.

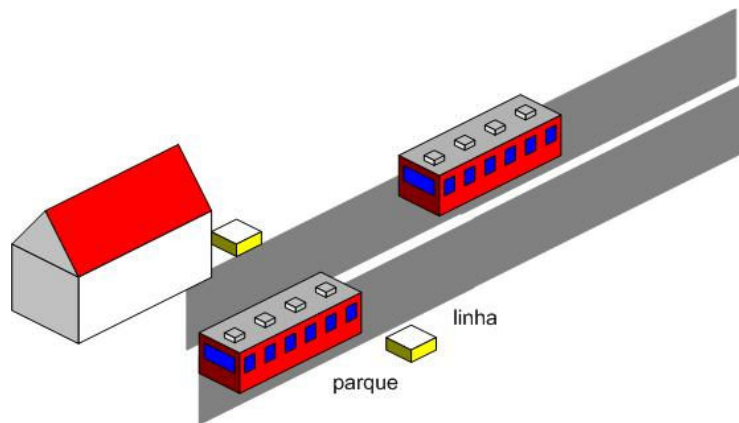


Figura 13 – Localização readers duas linhas

Nesta figura consideremos que a casa representa um parque e os blocos amarelos representam readers. Neste caso a fronteira existente é uma fronteira entre parque e linha, e existem duas linhas, uma para cada sentido, logo existe a necessidade de instalar dois readers, um por cada linha no local exacto onde se delimitam as áreas de cada local a identificar.

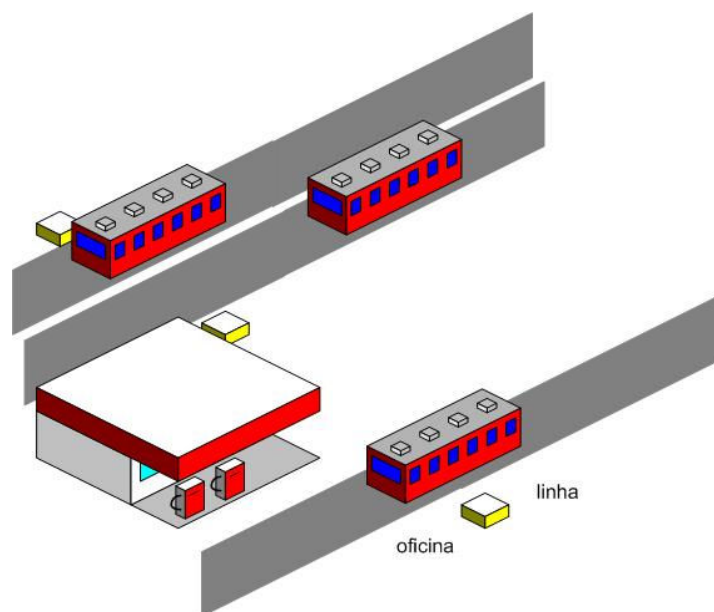


Figura 14 - Localização readers três linhas

Neste caso a fronteira existente é entre uma oficina e linha. Como existem três linhas, analogamente ao exemplo anterior, existe a necessidade de instalar 3 readers.

Tem se referido que a instalação dos readers será feita na linha, mas no entanto essa não será a sua localização exacta. Devido à necessidade de ligar os leitores a uma rede de comunicação existe o cuidado de ter de se instalar os readers junto a uma ligação da rede. Essas ligações existem nas laterais da linha, pelo que sempre que possível procurar-se-á instalar os readers numa superfície já existente. No caso de não existir nenhuma superfície existe a necessidade de instalação de um poste para fixar o mesmo. A distância entre o reader e a composição nunca poderá ser superior à distância suportada pelo equipamento a utilizar. É também necessário que se adopte uma distância base do reader ao solo, e todos os readers devem cumprir essa distância de forma a ser possível instalar as tags segundo esta distância. A imagem seguinte demonstra um exemplo de como deverá ser instalado um reader na lateral [23].

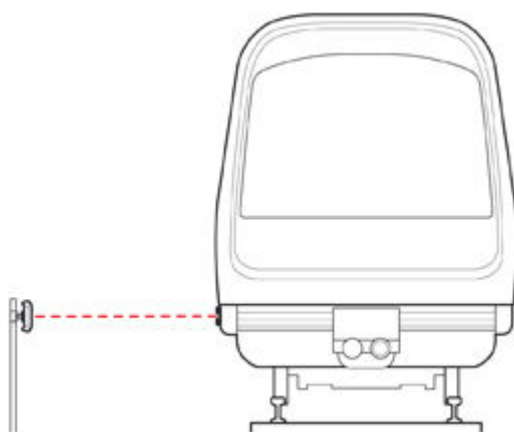


Figura 15 - Instalação reader

3.3.2. Tags

A localização da colocação das tags está directamente relacionada e dependente da arquitectura escolhida para colocação dos readers, pelo que as tags irão ser instaladas nas composições. Como existe o requisito de se ser possível identificar a passagem de uma carruagem nos dois sentidos possíveis de movimento, torna-se peremptório a colocação de uma tag em cada lateral de uma composição. Estas tags podem ser de leitura apenas e neste caso vão conter um identificador único, e o mapeamento entre identificador tag e composição será feito no bloco de sistema de recolha de dados. Pode também utilizar-se tags que suportem escrita, e neste caso a informação que a tag irá conter será o nome da composição em que está acoplada. A localização para instalação da tag terá de ser uma que respeite o campo de acção do reader, e na figura 13 está representada um exemplo de colocação de tag. A colocação da tag deve também respeitar a altura base definida para a instalação dos readers.

3.3.3. Equipamento a utilizar

Dados os vários requisitos existentes, a tecnologia mais adequada a utilizar é a de RFID activo. O motivo para isto acontecer prende-se com a velocidade a que as composições se movem e os débitos a que os dados têm de ser transmitidos, e também o maior alcance dos readers. A tecnologia passiva tem um alcance e débitos de transmissão muito reduzidos comparado com a tecnologia activa, pelo que se exclui a sua utilização. A utilização de tecnologia activa introduz outros aspectos que têm de ser tidos em conta na manutenção do sistema. As tags activas recorrem a baterias para alimentar os seus circuitos, pelo que exige que estas sejam substituídas quando o seu tempo de vida terminar. Além de se necessitar de utilizar tecnologia activa, é necessário que os readers sejam dotados de uma interface de comunicação TCP/IP e permitam a sua gestão e monitorização remota. Também é preciso ter em conta o domínio desta aplicação, dado que os readers vão estar sujeitos a condições adversas, como grandes variações de temperatura, humidade e vibrações, pelo que o equipamento a escolher tem de ser robusto.

Como foi explorado no capítulo de estado da arte, existe um conjunto de fornecedores muito variado que oferece equipamento muito díspar um do outro, o que leva a que os fornecedores se especializem num equipamento que cumpra os requisitos para uma aplicação específica tal como a aplicação aqui apresentada. Como tal existem fornecedores especializados na construção de tecnologia RFID activa para identificação de passagens de composições. De seguida irá ser apresentado o equipamento que a empresa Tecmic pretende adquirir e que cumpre todos os requisitos e que seria o ideal para utilizar na arquitectura proposta.

O reader escolhido tem o nome de **LR3-HD** [30] e é fornecido pela companhia Tagmaster. Este reader é robusto e especialmente desenhado para aplicações em caminhos-de-ferro: funciona na banda de frequência dos 2,4 GHz; tem um alcance máximo de leitura de 3 metros e suporta leitura de composições em movimento até 400 km/h. A plataforma de software instalada no reader é baseada num sistema Linux e permite controlar todos a configuração do reader assim como o desenvolvimento de aplicações para o mesmo. É dotado de várias interfaces de comunicação, entre elas uma interface de comunicação TCP/IP.

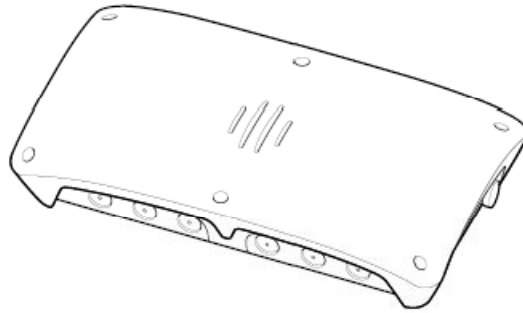


Figura 16- Reader Tagmaster LR3-HD

O reader tem a capacidade de identificar todas as tags que se encontram dentro do *lobe* de leitura que tem a forma de um balão. A distância mais apropriada para a leitura encontra-se nos 60% a 70% da distância máxima de leitura especificada, pois é a essa distância que o *lobe* é maior. A imagem seguinte demonstra esta situação [30].

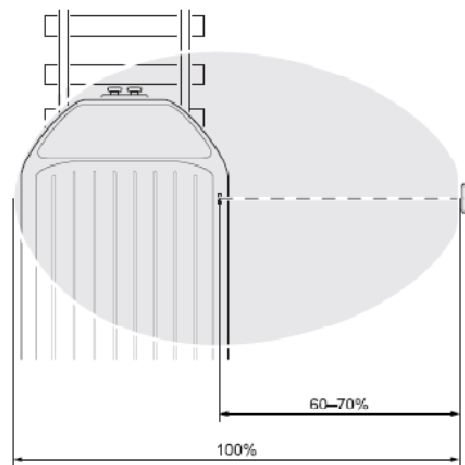


Figura 17 - Alcance ideal de leitura

As tags escolhidas são as tags **MarkTag S1456 HDS** [31] também fornecidas pela empresa Tagmaster. São tags RFID activas que apenas permitem modo de leitura. Esta escolha prende-se apenas com o facto de apresentarem um custo consideravelmente mais reduzido. A sua frequência de funcionamento é a mesma dos readers, 2,4 GHz. Sendo também desenhadas especificamente para aplicações de caminho de ferro, são resistentes às condições adversas a que vão ser submetidas. Contém um identificador único e a bateria que inclui tem um tempo de vida estimado de cerca de 10 anos.



Figura 18 - Tagmaster MarkTag S1456 HDS

O equipamento aqui apresentado é apenas um dos possíveis para o funcionamento desta arquitectura. Não existe nenhuma obrigatoriedade de utilização do mesmo, pelo que caso se deseje utilizar um equipamento diferente ou de outro fabricante, mas que cumpra os requisitos, é possível fazê-lo.

3.4. Arquitectura de Software

A arquitectura de software engloba todos os componentes necessários para o sistema de recolha de dados e cliente. A imagem seguinte demonstra a arquitectura proposta e quais os seus componentes.

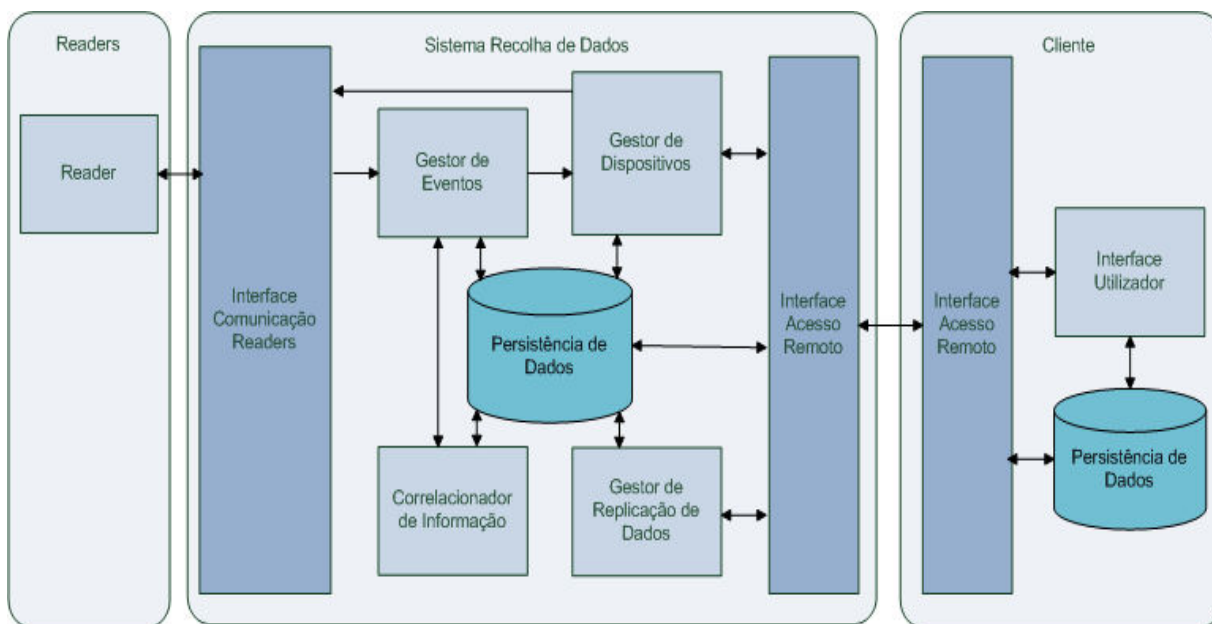


Figura 19- Arquitectura de software

Nesta arquitectura existem três blocos com funcionalidades distintas, readers, sistema de recolha de dados e cliente, que irão ser detalhados nas secções seguintes.

Esta arquitectura é baseada num modelo de eventos, pois é o modelo que mais se adequa a este problema. Num modelo de eventos existe um conjunto de componentes que gera eventos e um conjunto de componentes que subscreve esses eventos.

3.4.1. Readers

A principal fonte de eventos neste sistema são os readers, que vão originar eventos por cada passagem detectada e também eventos de gestão do próprio equipamento. Existe um conjunto de eventos comum a todos os readers, e que são:

- Evento de Tag *Gain* – originado quando uma tag entra no campo de leitura de um reader e que contém a informação da tag, identificação do reader que fez a leitura e data da leitura
- Evento de Tag *Loss* – originado quando uma tag que anteriormente entrara no campo de leitura de um reader o abandona
- Evento de Reader *Attached* – despoletado quando um reader se liga ao sistema
- Evento de Reader *Detached* – despoletado quando um reader se desliga do sistema

É depois da responsabilidade do componente Interface Comunicação Readers, do sistema de recolha de dados, subscrever estes eventos.

3.4.2. Sistema de Recolha de Dados

As principais funcionalidades deste sistema são:

- Integração dos readers com o sistema de recolha de dados
- Subscrição dos eventos gerados pelos readers
- Armazenamento da informação recolhida nos eventos
- Cálculo de viagens efectuadas pelas composições
- Tolerância a erros de hardware
- Inferência de informação em casos de erro
- Replicação de informação para clientes
- Gestão da configuração dos equipamentos RFID

Para obter estas funcionalidades é então necessária a inclusão dos seguintes componentes na arquitectura:

3.4.2.1. Interface Comunicação Readers

O principal objectivo desta interface é a de criar uma abstracção entre o bloco de hardware e o bloco de software. Podemos chamar a esta interface o bloco de *edgeware* deste sistema, e além de permitir a abstracção entre estes blocos vai também permitir a utilização de qualquer tipo de reader nesta plataforma.

Outro dos objectivos é o de traduzir os eventos de baixo nível gerados pelos readers em eventos de alto nível que possam ser interpretados pelo resto do sistema. Para tal torna-se necessário a criação de um Adaptador para cada tipo de reader a utilizar. Este Adaptador vai funcionar como um *driver*, e vai implementar o protocolo de comunicação utilizado pelo reader, tendo por isso de recorrer à API fornecida com o dispositivo.

O conjunto de métodos base que todos os readers devem suportar, e que devem ser incluídos num Adaptador são os seguintes:

Gestão de Ligação Reader

- Estabelecer Ligação Reader
- Fechar Ligação Reader
- Obter Estado Ligação Reader

Operações Reader

- Reiniciar Reader
- Ligar Antena Reader
- Desligar Antena Reader

Troca de Informação Reader

- Obter Tag
- Enviar Mensagem Reader
- Receber Mensagem Reader
- Obter Informação Reader

Os métodos aqui apresentados foram deliberadamente divididos em blocos de funcionalidade. O primeiro bloco de Gestão de Ligação Reader, contém métodos que permitem estabelecer uma ligação com o reader, obter o estado dessa mesma ligação e fechá-la. No ciclo de vida de um adaptador o

primeiro passo a efectuar será a ligação com o reader, sendo que os métodos dos outros blocos apenas poderão ser realizados caso exista uma ligação estabelecida.

Os métodos do bloco de Operações Reader, contêm operações básicas que se podem efectuar sobre um reader, tal como reiniciar o seu sistema, ligar ou desligar uma antena, e será neste bloco o sítio mais provável de ser necessário implementar mais métodos consoante as operações que o equipamento suportar.

O último bloco de métodos, Troca de Informação Reader, contém métodos genéricos para comunicar com o reader. O método Enviar Mensagem Reader permite que o Adaptador comunique com o reader através da ligação estabelecida, como por exemplo para enviar uma mensagem de configuração. O método Obter Tag existe para o caso de se querer suportar a utilização de um reader de modo síncrono, pois todos os outros eventos gerados pelos readers são assíncronos. O método Receber Informação Reader, é o método que faz a subscrição dos eventos que podem ser gerados pelo reader, e deve ser criado um método para cada evento que possa ser originado.

Existe um conjunto de eventos base originados pelo reader que vão ser traduzidos nos seguintes eventos de alto nível para o sistema:

Eventos Tag

- Evento Tag Lida
- Evento Tag Perdida

Eventos de Gestão Readers

- Evento Descoberta de novo Reader
- Evento Reader Desligado
- Evento Comunicação Reader

Tal como nos métodos, aqui também é possível dividir os eventos em dois tipos genéricos, Eventos de Tag e Eventos de Gestão Readers. Os Eventos Tag tal como o nome indica, estão associados à leitura de tags. O evento de Tag Lida corresponde à recepção de um evento de Tag *Gain*. Deste evento será gerado um novo Evento Tag Lida que terá como informação base o identificador da tag, o identificador do reader que fez a leitura e a data da leitura. Consoante a funcionalidade de cada reader é possível que este evento tenha mais informação. O evento de Tag Perdida é gerado quando for recebida um evento de Tag *Loss*.

Os eventos de Gestão Readers estão associados a questões de configuração e descoberta de novos readers no sistema. Quando um reader é ligado ao sistema de recolha de dados ele vai gerar um evento de Reader *Attached* que vai ser traduzido num evento de Descoberta de novo Reader que deverá ser tratado pelo componente de Gestão de Dispositivos. De forma análoga quando um reader é desligado

do sistema irá ser gerado um evento de Reader *Detached*, que irá originar um Evento Reader Desligado que também irá ser tratado pelo Gestor de Dispositivos. O evento Comunicação Reader é um evento genérico que poderá encapsular qualquer outro evento que possa ser originado por um dispositivo e que tenha relevância para o sistema.

Além de comunicar com o bloco de hardware, a Interface de Comunicação Readers tem uma ligação directa com o gestor de eventos, que é responsável pelo fluxo de informação pelo resto do sistema de recolha de dados, e que irá tratar os eventos gerados por esta interface.

3.4.2.2. Gestor de Eventos

Sendo esta plataforma orientada a eventos surge a necessidade da inclusão de um Gestor de Eventos que tenha a capacidade de gerir o fluxo de eventos criados e que tenha a capacidade de manipular a informação contida nele através da interacção com os componentes vizinhos, e de os entregar ao componente que o queira consumir. De forma a poder manipular a informação contida nos eventos é necessário a adopção de *handlers* criados pelo componente que deseja ser notificado da existência de um evento. A imagem seguinte demonstra o fluxo que um evento pode seguir dentro do Gestor de Eventos:

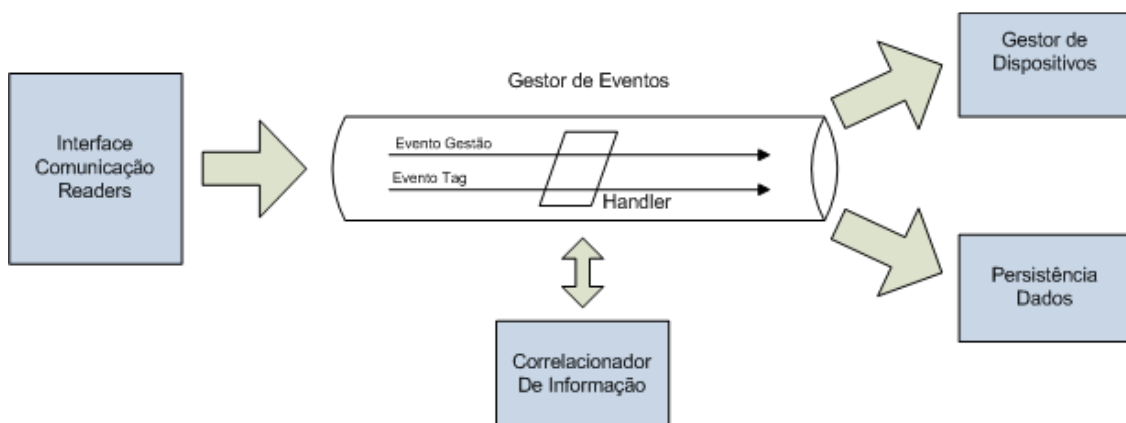


Figura 20 - Fluxo de Informação no Gestor de Eventos

Depois de um evento ser gerado na Interface de Comunicação Readers vai ser enviado para o Gestor de Eventos. Dentro do Gestor de Eventos vão ser aplicados *handlers* ao evento de forma a decidir o seu destino final. Caso seja um evento de gestão esse evento será entregue ao Gestor de Dispositivos, caso seja um evento Tag será entregue à Persistência de Dados. O Gestor de Eventos interage com o Correlacionador de Informação, também por meio de um *handler*, para decidir se um evento deve continuar a ser processado ou se é necessário terminar o processamento do mesmo. O Correlacionador de Informação pode ainda manipular a informação contida nos eventos, de forma a adicionar mais informação à já fornecida pelo evento.

3.4.2.3. Persistência de dados

O bloco de persistência de dados é um repositório de informação. Nele deve ser guardada toda a informação referente a passagens assim como a informação que é gerada com base nessas passagens. Esta informação é fulcral para que o correlacionador de informação possa fazer inferência de informação, correlacionando a informação já existente com a que vai sendo fornecida com os novos eventos. A informação que se deve persistir nesta plataforma é a seguinte:

Composições - As composições são a entidade que desejamos ver identificada pelo sistema, pelo que se torna peremptório a disponibilização da informação referente a cada composição para o sistema, de forma a ser possível fazer um mapeamento entre o identificador das tags e uma composição física.

Readers - Os readers são também entidades físicas que precisam de estar mapeadas no sistema de forma a ser possível corresponder um identificador de reader a um objecto no mundo real. Informação como a localização física, fronteira em que se encontra instalado e sentido são alguns exemplos de informação que é necessária estar associado a um reader. Além desta informação pode ainda ser guardada informação referente ao estado do reader e sua configuração.

Rede de Readers - Além do mapeamento de readers é necessário o mapeamento da forma como eles estão interligados, para que o sistema tenha uma noção de alto nível da rede física.

Passagens – Um dos objectivos principais deste sistema é a persistência das passagens. Cada passagem vai conter informação referente a qual a composição identificada e qual o reader onde ela passou. Outra informação relevante de ser armazenada é a data desta mesma passagem.

Viagens - Com base na informação de passagens é possível fazer a inferência de viagens, que podem ser considerada um aglomerado de duas passagens entre dois pontos consecutivos na rede de readers. Esta será a informação mais relevante para o sistema e para o cliente.

Alarmes - Qualquer anomalia no sistema pode ser persistida neste repositório de informação de forma a se manter um histórico de falhas.

Informação Replicação – Esta informação consiste em dados que permitam o sistema identificar qual a informação que já foi replicada para o cliente e qual informação que não foi consumida.

3.4.2.4. Correlacionador de Informação

O Correlacionador de Informação é a entidade onde é executada toda a lógica da aplicação. Cabe a este bloco a resolução de todos os possíveis erros de hardware e a correlação da informação recebida nos eventos com a informação já armazenada na Persistência de Dados. É também este o componente responsável pela geração de alarmes e pelo cálculo de viagens, a informação mais relevante do sistema.

O conjunto de erros de hardware que poderão surgir nesta plataforma são:

- Eventos duplicados, qualquer falha no equipamento poderá originar eventos duplicados
- Eventos fora de ordem, qualquer atraso na rede ou no processamento de leitura de tags pode originar eventos cuja ordem não seja a real
- Falhas de leitura, um reader pode falhar e não detectar uma passagem

A resolução destes problemas passa pela análise do histórico de eventos persistidos e também da criação de uma representação virtual da rede física dos readers.

Esta representação deverá ser uma estrutura de dados, que contem todas as ligações entre readers e que representam caminhos que uma composição do Metro pode percorrer. Com base neste mapeamento da rede torna-se possível fazer a inferência da ordem correcta dos eventos.

É também com base neste mapeamento que as viagens serão calculadas, sendo que por viagem entenda-se o aglomerado de duas passagens entre dois readers consecutivos. Caso existam falhas no equipamento o correlacionador deverá ter a capacidade de inferir passagens que deveriam ter ocorrido entre duas passagens em que esse erro ocorreu.

No caso de detecção de falhas é da responsabilidade do correlacionador de informação a geração de alertas que devem ser persistidos.

3.4.2.5. Gestor de Dispositivos

O principal objectivo deste componente tal como o nome indica é o de gerir todos os aspectos relacionados com os dispositivos de hardware. Este componente tem uma ligação directa com o Gestor de Eventos, de forma a receber eventos relacionados com Gestão dos Readers, e também uma ligação com a Interface de Comunicação Readers, de forma a interagir directamente com o equipamento e ainda uma ligação à Interface de Acesso Remoto de forma a ser possível fazer a gestão e monitorização do equipamento remotamente. Os aspectos que devem ser geridos e monitorizados são a ligação ao reader, configuração dessa ligação, configuração do reader e seus aspectos físicos e ainda a detecção de ligação e desconexão de readers do sistema. Além disso deve permitir o acesso ao estado de cada reader assim como informação estatística referente à leitura de tags. Este Gestor deve ainda suportar a adição manual e automática de readers à plataforma. Toda a informação de configuração e monitorização deve ser mantida no componente de Persistência de Dados. É também importante que seja disponibilizada uma interface que permita o utilizador interagir com este componente.

3.4.2.6. Gestor de Replicação de Dados

Este sistema de recolha de dados tem como objectivo final o de disponibilizar a informação recolhida para um cliente. Como tal torna-se necessária a criação de um mecanismo de replicação que tenha a capacidade de gerir qual a informação que já foi replicada e qual a que deve ser replicada. O motivo para este bloco ser inserido no sistema de recolha de dados e não no cliente, prende-se com o facto de a informação ser gerada neste bloco, não criando assim a necessidade de o cliente interrogar o sistema

de recolha de dados em situações em que não exista informação para ele consumir. Sendo assim cabe a este Gestor de Replicação de dados a tarefa de notificar o cliente da existência de novos dados. Para poder interagir com o cliente este componente está directamente ligado à Interface de Acesso remoto.

3.4.2.7. Interface Acesso Remoto

Tal como o nome indica este componente tem como objectivo providenciar um mecanismo que permita a interacção remota com este sistema. Esta interface deve fornecer métodos que permitam a inserção, alteração e remoção de dados do repositório de informação. Deve ainda fornecer métodos que permitam a utilização do Gestor de Dispositivos e aceder à informação de monitorização fornecida por esse componente, e ainda oferecer mecanismos de comunicação bilateral entre o sistema de replicação de dados e o cliente final que permita a notificação da existência de nova informação para ser consumida.

3.4.3. Cliente

O principal objectivo deste cliente é o de criar um mecanismo de interagir remotamente com o sistema de recolha de dados, de forma a poder receber os dados recolhidos e também fazer a configuração do sistema de recolha de dados e do equipamento acoplado a ele. Para tal é necessários os seguintes componentes:

3.4.3.1. Interface Comunicação Remota

Esta interface tem um propósito semelhante ao do sistema de recolha de dados ou seja, providenciar um mecanismo que permita a inserção, modificação e remoção de dados no cliente, de forma a ser possível gerir a replicação dos dados do sistema de recolha de dados.

3.4.3.2. Persistência de Dados

A Persistência de Dados no cliente consiste numa réplica da informação recolhida no sistema de recolha de dados, pelo que é uma réplica do repositório de dados do sistema de recolha de dados.

3.4.3.3. Interface Gráfica

A interface gráfica tem como objectivo permitir um utilizador invocar os métodos da Interface de Comunicação Remota do sistema de recolha de dados de forma a poder fazer a configuração do mesmo e a configuração do equipamento RFID. Deve também possibilitar o utilizador ter uma representação gráfica do conteúdo inserido no componente de persistência de dados.

4. Implementação do Protótipo da Solução

Neste capítulo é descrita a implementação do protótipo que procura validar a arquitectura descrita no capítulo anterior. Alteração nas datas da concretização deste projecto por parte do Metro de Lisboa inviabilizou o desenvolvimento de um protótipo na sua rede. Como tal recorreu-se a maquetas de comboios à escala e a tecnologia RFID de baixo custo para simular a rede do Metro. Para implementar o bloco de software destaca-se a utilização do Biztalk RFID.

Primeiro serão introduzidas as tecnologias utilizadas assim como a justificação de utilização das mesmas, seguidos dos detalhes da implementação tanto da arquitectura de hardware como de software.

4.1. Tecnologias utilizadas

A impossibilidade de se instalar um protótipo na rede do Metro levou a que fossem utilizadas maquetas de comboio para a implementação do bloco de hardware do protótipo funcional. Como tal não se justificava a compra do equipamento descrito na arquitectura da solução, o que levou a que se adquirisse uns readers de tecnologia passiva da companhia **Phidgets**, que se ligam ao sistema de recolha de dados através de uma interface de comunicação USB.

Para implementação do bloco de recolha de dados e cliente foi utilizado um ambiente Windows Server 2003, e recorreu-se à *framework* Microsoft Biztalk RFID para a implementação dos componentes Interface Comunicação Readers, Gestor de Eventos e Gestor de Dispositivos. A Persistência de dados foi implementada através da tecnologia Microsoft SQL Server 2005. Para implementar o Correlacionador de informação recorreu-se à linguagem de programação C# e a bibliotecas aplicacionais nomeadamente a biblioteca Quickgraph. A linguagem de programação foi também utilizada no desenvolvimento do Gestor de Replicação de Dados e Interface Gráfica do Cliente onde também se utilizou a biblioteca aplicacional GLEE. Para implementar a interface de Acesso Remoto de ambos os blocos recorreu-se à tecnologia de Web Services. A seguinte imagem demonstra as tecnologias utilizadas em cada um dos componentes da arquitectura especificada.

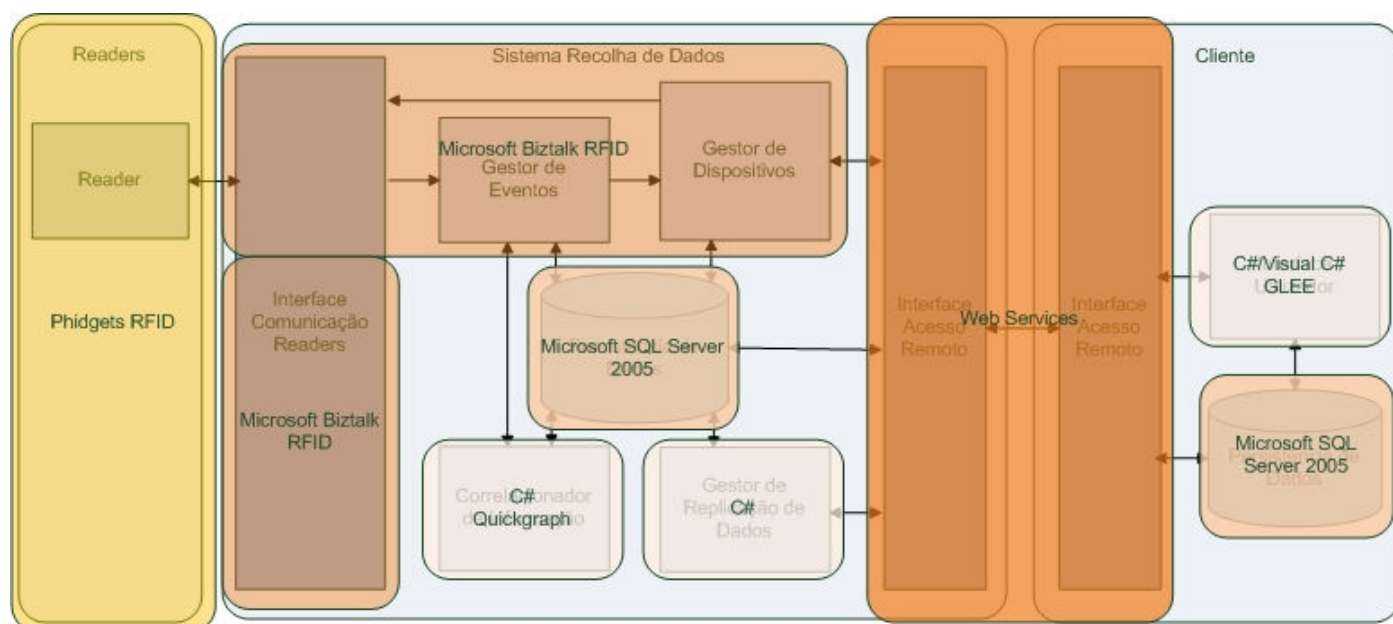


Figura 21 - Tecnologias utilizadas no protótipo

Nas secções seguintes irão ser explicadas com maior detalhe o porquê da escolha destas tecnologias.

4.1.1. Tecnologias utilizadas no Bloco de Hardware

Condições imprevistas e fora do âmbito da presente tese conduziram à impossibilidade de prototipagem e instalação do protótipo da rede do Metro de Lisboa durante o tempo de realização da tese. Como tal foi necessário encontrar outra solução que permitisse a exploração da tecnologia RFID num cenário que simulasse o comportamento da rede do Metro e que pudesse, futuramente, ser utilizado como demonstrador de conceito. A existência de maquetas de comboios nas instalações do Instituto Superior Técnico do Tagus Park originou a oportunidade desta tese as aproveitar para a implementação do protótipo. A opção de utilizar estas maquetas como cenário de implementação, levou a que a empresa Tecmic toma-se a opção de não investir, nesta fase, nos readers e tags sugeridos no capítulo de arquitectura, pois não faria sentido utilizar esse mesmo equipamento numa maqueta à escala. Como tal tornou-se necessário procurar equipamento RFID que permitisse fazer a identificação de passagens das composições à escala.

Dada a baixa velocidade a que estas composições se deslocam, constatou-se que não seria necessário recorrer a tecnologia RFID activa que apresenta custos muito elevados. A maior premissa para a escolha de equipamento foi a capacidade de este detectar as passagens das composições mas também um equipamento que tivesse custos reduzidos. Como tal o equipamento escolhido foi o da empresa **Phidgets** [32] e as suas características irão ser apresentadas de seguida.

- **Phidget RFID – Reader [33]**
 - Reader alimentado através de ligação USB que utiliza o protocolo EM Marrin (EM4102) [34] que funciona na gama de frequências dos 125 KHz, e que é de leitura apenas.
 - Comunicação via interface USB
 - Antena Integrada com alcance de leitura de 6 cm
 - LED (*Light Emitting Diode*) integrado que sinaliza as leituras

- **Tags**
 - Contêm identificador único de 40 bits
 - Respeitam o protocolo EM Marrin (EM4102)
 - São de leitura apenas

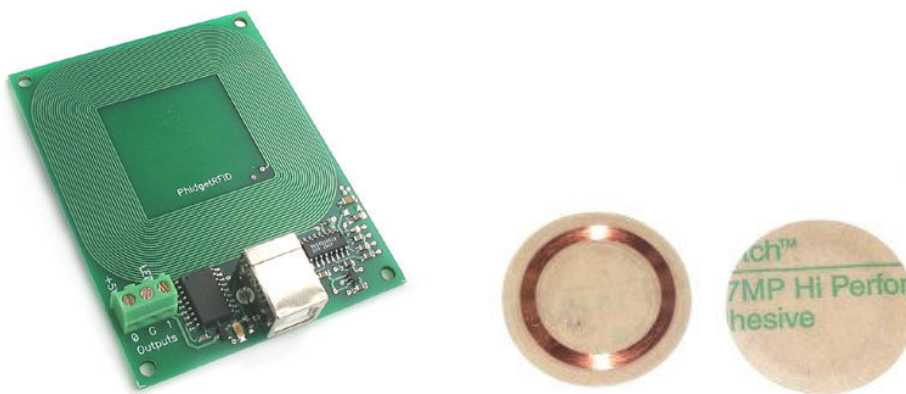


Figura 22 - Phidget RFID Reader e Tags EM4102

A escolha da *framework* Biztalk RFID para implementação do bloco de software também teve o seu peso na escolha deste equipamento, pois a Microsoft disponibiliza um adaptador [35] para a integração destes Phidgets com o Biztalk RFID, adiando assim o esforço do desenvolvimento de um adaptador para a altura em que se adquirir o equipamento que irá ser utilizado no sistema real.

Existem algumas questões a ter em conta na utilização destes readers e tags RFID, documentadas pelo fabricante [36]. A existência de múltiplos readers num espaço entre um a dois metros pode causar interferências entre os campos de leitura criados pelos readers, sendo que estes readers não têm a capacidade de detectar colisões de tags e de as evitar. Quer-se com isto dizer que o reader apenas consegue fazer a leitura de uma tag de cada vez, não permitindo a existência de múltiplas tags no mesmo campo de leitura, sendo necessária a remoção de uma tag do campo antes da introdução de uma nova tag.

O equipamento proposto para a solução do problema recorre à tecnologia activa, tem um alcance de leitura de três metros e comunica via interface TCP/IP. O equipamento escolhido para identificar as passagens nas maquetas utiliza a tecnologia passiva, tem um alcance de cerca de seis centímetros e comunica via interface USB. São equipamentos completamente diferentes, mas são também completamente diferentes os ambientes em que vão ser instalados, sendo que no entanto o importante a realçar, é que para o sistema de recolha de dados os dados fornecidos vão ser os mesmos.

Apesar do ambiente da implementação ser diferente do ambiente real, é possível simular viagens de composições muito similares às efectuadas no Metro de Lisboa, e fazer a identificação de passagens que irão originar eventos em tudo iguais aqueles que irão ser gerados no sistema real.

Além da diferença óbvia das escalas e grandezas de valores nas velocidades de deslocação, a maior diferença desta opção reside na forma como os leitores irão comunicar com o sistema de recolha de dados. No sistema real os readers irão comunicar com o sistema real por meio de uma rede Ethernet existente no Metro de Lisboa, enquanto que neste protótipo os readers irão estar directamente ligados ao sistema de recolha de dados por meio de uma interface de comunicação USB. Sendo assim perde-se a capacidade de testar os efeitos que as latências e perdas de pacotes, na comunicação que os readers terão com o sistema de recolha de dados, terão na performance global do sistema, focando assim o resto do desenvolvimento deste protótipo na funcionalidade e capacidade de interpretar os dados recolhidos.

4.1.2. Tecnologias utilizadas no Bloco de Software

A principal opção a tomar na escolha da tecnologia a utilizar está directamente relacionada com a opção de implementar de raiz a arquitectura proposta ou a utilização de uma *framework* que ofereça os módulos necessários para implementar a lógica da aplicação. No domínio desta aplicação existem várias *frameworks* que fornecem os componentes necessários que respeitem a arquitectura especificada e que permitem reduzir o esforço de implementação. Outro ponto a favor da utilização de uma *framework* é a de ela estar exaustivamente testada o que permite um maior foco por parte do desenvolvedor no desenvolvimento da lógica da aplicação.

Sendo assim foi tomada a opção de recorrer a uma *framework* que permitisse implementar a lógica do sistema e complementar a funcionalidade da *framework* recorrendo a outras tecnologias que fossem necessárias. Na investigação feita para esta tese foram abordadas duas *frameworks*, a Java Sun RFID e a Microsoft Biztalk RFID. Ambas as *frameworks* oferecem elementos que permitem implementar a arquitectura especificada no capítulo anterior, e a escolha acabou por recair na *framework* Biztalk RFID da Microsoft. Um dos principais motivos para esta escolha foi o da empresa onde esta tese foi efectuada ter um histórico de utilização de ferramentas Microsoft, pelo que teria maior suporte durante a

implementação do protótipo, e outro motivo foi o do Biztalk RFID incluir os meios necessários da integração do equipamento RFID escolhido para este protótipo sem esforço adicional.

A decisão de utilização do Biztalk RFID levou a que tivesse que ser instalado um ambiente de implementação no sistema operativo Windows Server 2003 [37]. Além disso levou a que a linguagem de programação utilizada para o protótipo fosse o C# e a base de dados utilizada o Microsoft SQL Server 2005, pois são facilmente integráveis com o Biztalk RFID. Para além destas tecnologias foram utilizadas bibliotecas C# sempre que possível, nomeadamente a biblioteca Quickgraph e GLEE, e a tecnologia de Web Services. De seguida irá ser explicado o que cada tecnologia oferece e em que parte da arquitectura a implementar foi utilizada.

Microsoft Biztalk RFID – Biztalk RFID é uma *framework* dividida em camadas que permite a integração de equipamento RFID e o desenvolvimento de aplicações no domínio RFID. Os componentes da arquitectura de software que esta *framework* implementa são os componentes de interface de comunicação readers, o gestor de eventos e o gestor de equipamento. A interface de comunicação readers é implementada através do Device Service Provider Interface do Biztalk RFID, que é uma interface que permite o desenvolvimento de um adaptador de comunicação com os readers RFID, que permitem a aplicação recolher os dados captados pelos readers. O Biztalk RFID é dotado de um gestor de eventos que permite associar processos a blocos de hardware, processos estes que contêm *handlers* que têm como função manipular a informação recolhida. Este gestor desempenha o mesmo papel que o gestor de eventos especificado na arquitectura. Por fim o último componente do Biztalk RFID que é utilizado é o gestor de dispositivos, que é uma interface gráfica que permite interagir com o equipamento que comunica com o Biztalk RFID. Toda a configuração e monitorização do equipamento são feitas através deste gestor.

SQL Server 2005 – Sql Server 2005 [38] é um servidor de base de dados que permite a criação de base de dados e armazenamento de informação nelas. Esta tecnologia é utilizada para implementar o componente de persistência de dados do sistema de recolha de dados e cliente.

C#/Visual C# - C# é uma linguagem de programação orientada a objectos desenvolvida pela Microsoft. Neste protótipo foi utilizada para implementar os *handlers* para manipular a informação recolhida, interacção com a base de dados, implementação da interface gráfica do cliente e para implementação dos componentes da arquitectura; correlacionador de informação e gestor de replicação de dados.

Quickgraph & GLEE – Quickgraph [39] é uma biblioteca desenvolvida em C# que permite a criação e manipulação de grafos. Esta biblioteca foi utilizada na implementação do correlacionador de informação. GLEE [40] é também uma biblioteca desenvolvida em C# que permite a representação gráfica de grafos e que foi utilizada na implementação da interface gráfica do cliente.

Web Services – Web Services [41] é uma tecnologia que permite interoperabilidade entre vários sistemas, permitindo a invocação de métodos remotos através da Web. Esta foi a tecnologia escolhida para implementar a interface de comunicação remota tanto do sistema de recolha de dados como do cliente.

4.2. Detalhes da Implementação

4.2.1. Instalação do equipamento RFID

A forma como o equipamento RFID foi instalado procura seguir da forma mais fiel possível o especificado na arquitectura, mas no entanto a diferença entre o ambiente real e o ambiente de implementação levou a que a disposição dos readers e das tags fosse diferente da especificada. Na maquete não existem duas linhas, uma para cada sentido, pelo que não faz sentido a instalação de dois readers frente a frente para identificar passagens em ambos os sentidos. Dadas as restrições do equipamento que se utilizou também não seria possível colocar os readers nessa configuração pois iria provocar interferências entre eles. Esta diferença também faz com que cada composição seja apenas dotada de uma tag, não sendo necessário colocar uma em cada lateral, sendo que uma vez mais também não seria possível essa opção pois o equipamento não suporta mais do que uma tag dentro do campo de leitura.

Na figura 13, do capítulo Arquitectura da Solução, é possível ver que os readers devem estar instalados na fronteira entre os locais onde pretendemos fazer a identificação, neste protótipo para simular a existência dessas fronteiras e respeitar as limitações da maquete e equipamento, é necessário a colocação de um reader antes e depois do local que pretendemos identificar uma passagem. A figura seguinte demonstra esta situação.

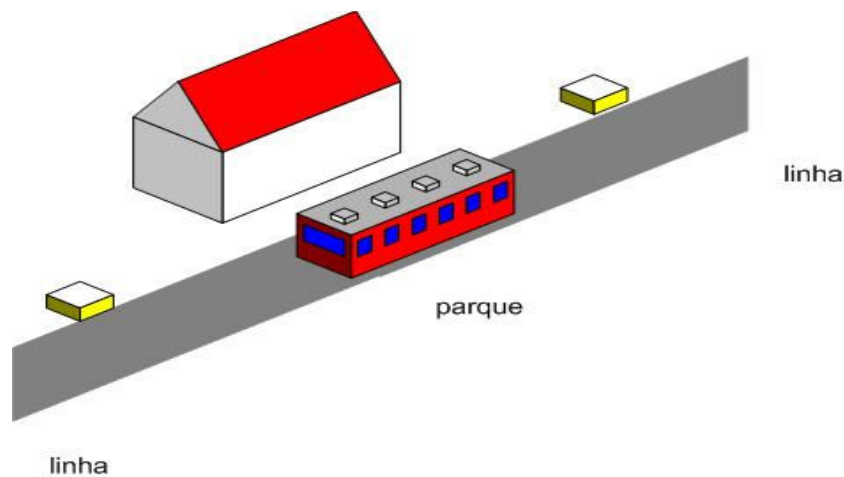


Figura 23 - Instalação dos readers na maquete

A fronteira representada na figura é uma fronteira entre parque e linha, sendo que a fronteira do parque está delimitada por um reader colocado imediatamente antes dessa zona e um reader colocado imediatamente depois. Nesta configuração a composição irá estar dotada de uma tag na lateral que está voltada para o exterior onde se encontram instalados os readers.

4.2.2. Implementação do Bloco de Software

De seguida irá ser explicado de forma detalhada os pormenores da implementação dos componentes do sistema de recolha de dados e do cliente.

4.2.2.1. Sistema de Recolha de Dados

Interface Comunicação Readers

Esta interface foi implementada recorrendo ao DSPI do Biztalk RFID. A *framework* disponibiliza um *template* [42] para a programação de um adaptador (denominado de *provider*), com os métodos que devem ser implementados de forma a um reader poder comunicar com o Biztalk. No entanto existe um conjunto de equipamento cujos fabricantes disponibilizam este adaptador, sendo que no caso dos readers da marca Phidgets um colaborador da Microsoft disponibilizou para a comunidade um adaptador que permite a integração dos Phidgets com o Biztalk RFID.

De forma a fazer a integração dos Phidgets foi então necessário fazer a publicação do adaptador no Biztalk RFID através da interface gráfica de gestão do mesmo. A figura 31 presente no Anexo A mostra a interface de publicação do adaptador.

Nesta interface gráfica é possível adicionar bibliotecas DLL (*Dynamic-Link Library*) que são resultado da implementação do adaptador, e que fornecem ao Biztalk toda a informação necessária para a comunicação do equipamento.

Junto com a biblioteca DLL fornecida foi também fornecido parte do código fonte que permitiu a análise do que foi implementado neste adaptador. Desta análise foi possível verificar que este adaptador permite que o Biztalk fique à escuta de ligações de novos readers nos portos USB. O que permite a adição automática de novo equipamento (a gestão desse equipamento será depois feita no gestor de equipamento). Quando um novo reader se liga é-lhe automaticamente atribuído um identificador único que permite a *framework* identificar qual a origem de um evento.

Os eventos de gestão que um reader Phidget pode originar são os eventos Reader *Attached* e Reader *Detached* [43] [44], que são eventos que permitem o adaptador fazer a escuta de ligações e fornecer informação ao sistema sobre o estado da ligação de um reader. Em termos de eventos de tags um reader Phidget pode originar eventos de Tag *Gain* e Tag *Loss*, que são originados respectivamente quando uma tag entra no campo de leitura e quando uma tag abandona o campo de leitura de um reader. O adaptador fornecido apenas subscreve o evento de Tag *Gain*, o que origina eventos duplicados durante o tempo que uma Tag esteja dentro do campo de leitura do reader. Esta situação faz

com que seja necessário tratar os eventos duplicados de leitura noutra componente do sistema de recolha de dados.

A informação contida num evento de Tag *Gain* contém o identificador único de 40 bits da tag, o identificador do reader que fez a leitura e uma timestamp, com a data da leitura. O adaptador traduz este evento num Tag Read Event perceptível pelo resto do sistema e que contém a mesma informação fornecida pelo evento Tag *Gain*, e também mais meta dados não relevantes para a aplicação deste protótipo (ex. tipo de tag lida).

Os eventos gerados serão depois processados pelo Gestor de Eventos responsável por tratar a informação contida nos mesmos.

Gestor de Eventos

O Biztalk RFID possui um Gestor de Eventos que comunica directamente com o Device Service Provider Interface, que permite a associação de processos a grupos de readers, de forma a se poder tratar a informação gerada pelos readers Phidget. A associação de processos é feita recorrendo à interface gráfica do Biztalk, sendo que a cada processo é possível associar um conjunto de *handlers* [45] programados pelo utilizador. São estes *handlers* que permitem implementar a lógica da aplicação e é através deles que é feita a comunicação com o componente da arquitectura especificada, Correlacionador de Informação.

Para este protótipo foi criado um processo chamado Identificador Passagens, associado a um grupo de readers que contém todos os readers instalados na maquete. Foram também desenvolvidos três *handlers* que foram associados a este processo sendo eles, *handler* Elimina Eventos Duplicados, *handler* Verifica Tag e um *handler* Trata Evento, e que são processados pela ordem porque foram apresentados. A lógica de cada um destes *handlers* será descrita nos detalhes da implementação do componente Correlacionador de Informação. A figura 32 e 33 presentes no Anexo A e B demonstram a interface de configuração dos processos e handlers do Biztalk RFID.

Para cada evento de Tag Read Event que for originado este processo vai ser processado e os *handlers* contidos nele executados cumprindo assim a lógica da aplicação. O resultado do processamento deste processo fica armazenado num *log* em formato de texto de forma a se poder analisar todas as execuções.

Modelo de Dados

As seguintes tabelas são as tabelas que foram criadas no servidor de base de dados SQL Server 2005 de forma a implementar o protótipo, e corresponde ao componente Persistência de Dados da Arquitectura.

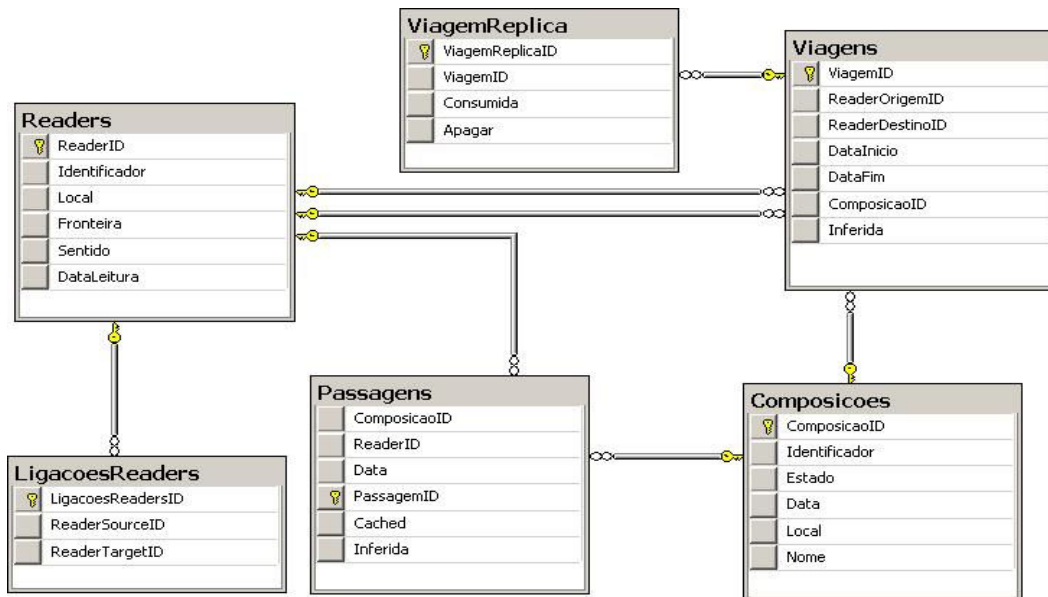


Figura 24 - Diagrama das tabelas da base de dados do sistema de recolha de dados

Comum a todas as tabelas existe um identificador único que é a chave primária de cada tabela, que permite identificar cada entrada numa tabela. De seguida irão ser explicados cada um dos campos de cada tabela e qual o seu propósito.

Composições – As composições são a entidade que queremos ver identificadas. O objectivo desta tabela é o de se fazer o mapeamento entre um identificador de uma Tag e uma composição física. Sendo assim é necessário guardar o identificador da tag e o nome da composição a que estamos a associar uma tag. O campo local indica qual o local actual em que a composição se encontra e o campo estado determina qual o estado em que se encontra a composição e pode tomar 4 valores, em parque, oficina, linha ou término. O campo data alteração indica a data da última alteração feita aos dados de uma composição.

Readers – Tal como as composições, é também necessário fazer um mapeamento entre o identificador de um reader, que é atribuído pelo Biztalk RFID, e um reader físico. Para tal armazena-se esse identificador, assim como o local onde o reader está instalado e qual a fronteira e sentido em que está instalado. É esta informação que em conjunto com a informação da tabela Ligações Readers que permite o Correlacionador de Informação fazer um mapeamento lógico da rede física de readers. O campo data última leitura tal como o nome indica, armazena um timestamp da última leitura efectuada por um reader.

Ligações Readers – Nesta tabela são guardadas as ligações entre readers contíguos. Por readers contíguos entenda-se dois readers x e y em que uma composição pode passar pelo reader y após ter passado pelo reader x. Sendo assim armazenam-se o ID do reader de Origem neste caso x, e o ID do reader de destino, neste caso o y. Através destas ligações é possível criar um grafo que representa a rede de readers.

Passagens – Nesta tabela são armazenadas todas as passagens de uma composição num determinado reader, ou seja são armazenadas todos os Tag Read Events originados. É então armazenado o ID da composição identificada, o ID do reader que fez a leitura, e a data dessa passagem. O campo consumida e inferida são campos de suporte para o Correlacionador de Informação poder fazer o cálculo de viagens e serão explicados com mais detalhe na secção do mesmo.

Viagens – Nesta tabela são armazenadas o resultado do cálculo de viagens. Por viagem entenda-se o conjunto de 2 passagens consecutivas por uma mesma composição. Cabe ao Correlacionador de Informação o cálculo destas viagens e garantir que elas fazem sentido. Sendo assim armazena-se os IDs dos readers de origem e destino da viagem, a data de início e término da viagem e também se foi inferida pelo sistema, isto acontece quando existe algum erro de leitura do bloco de hardware que leva a que o correlacionador de informação infira viagens que deviam ter ocorrido.

Para que o sistema funcione é necessária a inserção na base de dados das composições que se pretende identificar, os readers instalados e as ligações entre eles, antes de se iniciar o sistema. Esta inserção de dados é feita através do cliente.

Correlacionador de Informação

A implementação do Correlacionador de Informação foi feita recorrendo à linguagem de programação C#. Maior parte da implementação consistiu na criação de objectos de domínio que mapeiam a base de dados e os mecanismos necessários para manipular a base de dados. Estes objectos e mecanismos foram depois utilizados nos *handlers*, que são o mecanismo de o Correlacionador de Informação comunicar com o Gestor de Eventos. Os *handlers* foram programados partindo do *template* fornecido pela Microsoft para desenvolvimento de *handlers* para o Biztalk RFID.

- **Handler Elimina Eventos Duplicados**

Tal como foi explicado anteriormente, a forma como foi implementado o adaptador para os readers faz com que sejam originados eventos de leitura duplicados enquanto uma tag estiver dentro do campo de leitura de um reader. Vários testes efectuados com as maquetas e readers levaram a que se verificasse que uma composição demora 10 segundos a passar o campo de leitura de um reader, e durante esse intervalo de tempo são originadas as duplicações. A solução passou pela criação de um *handler* que armazena em memória para cada tag lida a última data de leitura. Para cada Tag Read Event é então comparada a data do evento com a última data de leitura correspondente ao ID da tag lida, e caso o intervalo de tempo entre essas datas seja inferior ou igual a 10 segundos, e o identificador do reader igual ao de uma leitura dentro desse intervalo, o evento é descartado e o *pipeline* de execução do gestor de eventos parado, não sendo executados os seguintes *handlers*.

- **Handler Verifica Tag**

Este *handler* tem como objectivo validar a existência de uma composição correspondente ao ID da tag lida. Como tal este *handler* pesquisa na base de dados uma composição que tenha associado um ID da tag lida e caso não seja encontrada nenhuma composição correspondente é descartado o evento e o *pipeline* de execução do gestor de eventos parado tal como no *handler* anterior. Neste protótipo não são armazenados alarmes tal como descrito na arquitectura, mas caso fossem, este *handler* seria responsável por armazenar um alarme que indicasse a leitura de uma tag não conhecida pelo sistema.

- **Handler Trata Evento**

Caso um evento de Tag Read Event não seja duplicado e caso o ID da tag seja válido então este *handler* é executado. Este *handler* é onde é efectuada toda a lógica da aplicação. As operações que são efectuadas neste *handler* são descritas de seguida:

- Obtenção da composição da base de dados com base no ID da tag lida
- Obtenção do reader da base de dados com base no identificador de reader do evento
- Validação e armazenamento da passagem
- Cálculo e armazenamento de Viagem
- Alteração e armazenamento do local, estado e data da composição
- Alteração e armazenamento da data de leitura do reader

A obtenção da composição e reader consiste numa procura na base de dados por uma composição e reader com o mesmo identificador que é fornecido no evento e na criação de um objecto de domínio que represente essa composição e reader. Com base na informação contida no objecto reader é possível alterar a informação da composição referente ao local onde se encontra e o estado dela. O estado é calculado com base na fronteira e sentido armazenado no reader. A fronteira é armazenada respeitando um formato do tipo estado1-estado2, e com base no sentido é determinado qual o estado da composição, caso seja entrada a composição está no estado1 caso seja de saída está no estado2. Os estados possíveis são parque, linha, oficina ou término. São ainda alteradas as datas de alteração na composição e data de leitura no reader com base na data fornecida pelo Tag Read Event. No final deste processamento são armazenadas na base de dados as respectivas alterações.

Para fazer a validação da passagem e cálculo de viagens é necessário criar um mapeamento virtual da rede física dos readers. Para fazer esse mapeamento recorreu-se a uma biblioteca chamada Quickgraph que serve para criar grafos e que contem métodos para manipular esses grafos. Sendo assim o mapeamento lógico da rede irá ser representada por um grafo, em que cada reader será um nó e cada ligação reader será uma ligação entre esses nós. Este grafo pode ser bidireccional e permite que os nós tenham ligações para eles mesmos. Outro grafo que pode ser gerado com base na informação armazenada é um grafo por localizações, em que cada nó é um local onde um reader pode estar colocado. O seguinte exemplo permite clarificar a construção dos grafos e dar uma visualização gráfica dos mesmos.

Supondo que a informação contida na base de dados é a seguinte:

ReaderID	Identificador	Local	Fronteira	Sentido	Data Leitura
1	Reader_1	Local_1	Parque-Linha	Entrada	-
2	Reader_2	Local_1	Parque-Linha	Saída	-
3	Reader_3	Local_2	Oficina-Linha	Entrada	-
4	Reader_4	Local_2	Oficina-Linha	Saída	-

Tabela 2 - Exemplo Tabela Readers

LigacaoReaderId	Reader Origem ID	Reader Destino ID
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	1

Tabela 3 - Exemplo tabela Ligações Readers

Os grafos originários destas tabelas seriam os seguintes:

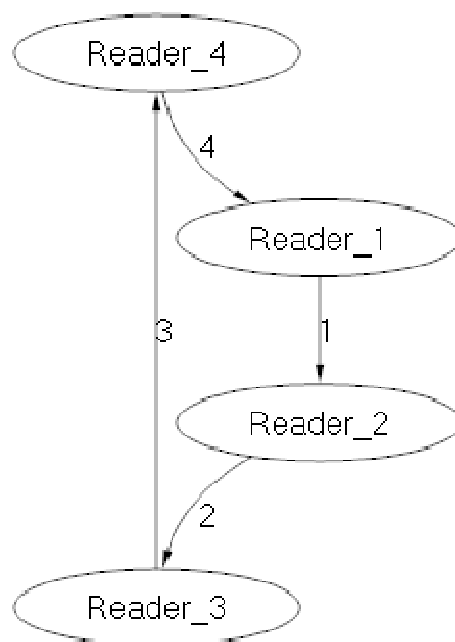


Figura 25 - Exemplo Grafo Readers

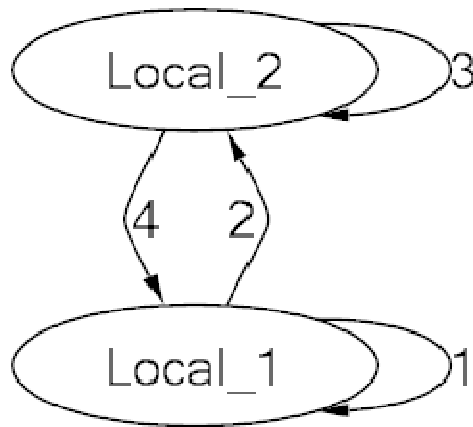


Figura 26 - Exemplo Grafo Localizações

Contudo o grafo utilizado para fazer as validações das passagens e cálculo de viagens é o grafo em que os nós são readers. O algoritmo para validar uma passagem é o seguinte:

- Verifica se existe uma passagem anterior na base de dados com o mesmo ID da composição da passagem actual
- Caso não exista, limita-se a inserir a passagem na base de dados, armazenando o ID da composição, identificador do reader, data da passagem, coloca o campo consumida a falso e inferida a falso pois não foi uma passagem inferida
- Caso exista uma passagem anterior não consumida vai ser feita a verificação de que esta nova passagem tem origem num reader que é imediatamente adjacente ao reader da passagem anterior, ou seja é uma passagem entre dois readers que contêm ligação
- Caso a passagem seja feita entre dois readers adjacentes vai ser inserida na base de dados
- Caso não seja feita entre dois readers adjacentes vai ser necessário inferir quais as passagens que a composição teria de fazer para a passagem actual ser válida
- O modo como é feito a inferência destas viagens é recorrendo ao algoritmo de Dijkstra [46], que é utilizado para encontrar o caminho mais curto entre dois nós de um grafo, sendo que neste caso o nó de origem é o reader da passagem anterior e o nó de destino o da passagem actual, sendo que o resultado do algoritmo são todos os nós necessário percorrer para ir de um nó ao outro pelo caminho mais curto
- Todos os nós pertencentes ao caminho devolvido pelo algoritmo de Dijkstra vão ser inseridos na base de dados como passagens inferidas, ou seja insere-se na base de dados uma passagem para cada nó resultante do algoritmo cujo identificador do reader é o do nó devolvido, o ID da composição da passagem actual, a data de passagem será igual ao da passagem anterior e o campo inferida será colocado a verdadeiro para indicar que é uma passagem inferida. Depois é também inserida na base de dados a passagem actual

Este algoritmo permite ter a certeza que a ordem dos eventos faz sentido e recuperar de possíveis falhas de equipamento. Das passagens inferidas é também possível gerar alarmes de que um reader pode não estar a funcionar devidamente pois não foi capaz de detectar uma passagem. Existem limitações no uso deste método para cálculo de viagens inferidas, pois caso existam mais do que um caminho possível entre dois nós, vai ser sempre devolvido o mais curto, sendo que podia não ser esse o caminho percorrido pela composição. Uma maneira mais sofisticada de fazer este cálculo poderia ser com base em caminhos pré definidos para uma determinada composição a uma determinada hora. Essa informação associada a uma variação do algoritmo de Dijkstra que devolvesse todos os caminhos entre dois nós e não apenas ao mais curto poderia levar a uma comparação de caminhos e inferir de forma mais “inteligente” o caminho correcto. No sistema real deverá ser o caminho a seguir.

Após esta validação de passagens é possível fazer o cálculo de viagens. Uma viagem vai ser um conjunto de duas passagens consecutivas entre nós adjacentes. O algoritmo de cálculo de viagens é o seguinte:

- Obter passagens cujo valor de consumida seja falso e ID da composição seja igual ao da composição actual
- Caso o valor de passagens retornado seja maior do que um, é feito a inserção na base de dados de uma viagem cujos dados de origem são inseridos com base nos dados da passagem não consumida mais antiga, e os dados de destino com base na passagem imediatamente a seguir
- Quando é inserida uma viagem é inserida o campo consumida da passagem mais antiga é colocada a verdadeiro, de forma a não ser utilizado por outra viagem
- Repete-se o processo até só existir uma passagem não consumida

O seguinte exemplo pretende demonstrar o funcionamento destes algoritmos, tendo como base a rede apresentada anteriormente como exemplo. Considerando que na tabela de passagens existe a seguinte passagem:

PassagemID	ComposicaoID	ReaderID	Data Passagem	Inferida	Consumida
1	1	1	1-1-2008 16:45	falso	falso

Tabela 4 - Exemplo tabela passagens explicação algoritmo

Durante a execução do processamento Tag Read Event é gerada uma nova passagem cuja informação é:

- ComposicaoID = 1
- ReaderID = 2
- Data Passagem = 1-1-2008 16:50

Dado que é uma passagem entre dois readers adjacentes iria ser criada uma nova passagem e tabela passaria a ter as seguintes entradas:

PassagemID	ComposicaoID	ReaderID	Data Passagem	Inferida	Consumida
1	1	1	1-1-2008 16:45	Falso	Falso
2	1	2	1-1-2008 16:50	Falso	Falso

Tabela 5 - Exemplo 2 tabela passagens explicação algoritmo

De seguida iria ser feito o cálculo de viagens no que resultaria na seguinte inserção na tabela de viagens:

ViagemID	ComposicaoID	Reader OrigemID	Reader DestinoID	Data Início	Data Fim	Inferida
1	1	1	2	1-1-2008 16:45	1-1-2008 16:50	Falso

Tabela 6 - Exemplo tabela viagens explicação algoritmo

O resultado do cálculo de viagens iria alterar a tabela de passagens sendo que iria ficar assim:

PassagemID	ComposicaoID	ReaderID	Data Passagem	Inferida	Consumida
1	1	1	1-1-2008 16:45	Falso	Verdadeiro
2	1	2	1-1-2008 16:50	Falso	Falso

Tabela 7 - Exemplo 3 tabela passagens explicação algoritmo

De seguida durante a execução do processamento Tag Read Event é gerada uma nova passagem cuja informação é:

- ComposicaoID = 1
- ReaderID = 4
- Data Passagem = 1-1-2008 17:00

Neste caso a passagem não é uma passagem adjacente por isso iriam ser originadas passagens inferidas ficando a tabela passagens assim:

PassagemID	ComposicaoID	ReaderID	Data Passagem	Inferida	Consumida
1	1	1	1-1-2008 16:45	Falso	Verdadeiro
2	1	2	1-1-2008 16:50	Falso	Falso
3	1	3	1-1-2008 16:50	Verdadeiro	Falso
4	1	4	1-1-2008 17:00	Falso	Falso

Tabela 8 - Exemplo 4 tabela passagens explicação algoritmo

E novo cálculo de viagens iria originar as seguintes adições na tabela de viagens:

ViagemID	ComposicaoID	Reader OrigemID	Reader DestinoID	Data Início	Data Fim	Inferida
1	1	1	2	1-1-2008 16:45	1-1-2008 16:50	Falso
2	1	2	3	1-1-2008 16:50	1-1-2008 16:50	Verdadeiro
3	1	3	4	1-1-2008 16:50	1-1-2008 17:00	Verdadeiro

Tabela 9 - Exemplo 2 tabela viagens explicação algoritmo

E a tabela passagens após cálculo de viagens ficaria assim:

PassagemID	ComposicaoID	ReaderID	Data Passagem	Inferida	Consumida
1	1	1	1-1-2008 16:45	Falso	Verdadeiro
2	1	2	1-1-2008 16:50	Falso	Verdadeiro
3	1	3	1-1-2008 16:50	Verdadeiro	Verdadeiro
4	1	4	1-1-2008 17:00	Falso	Falso

Tabela 10 - Exemplo 4 tabela passagens explicação algoritmo

Gestor de Replicação

A implementação do Gestor de Replicação foi feita em C#. O Gestor implementado é uma aplicação que corre em simultâneo com o Biztalk RFID e que periodicamente replica as viagens existentes na base de dados do sistema de recolha de dados para o cliente. O mecanismo de replicação implementado suporta apenas um cliente para simplificar o protótipo. Para servir de suporte à replicação das viagens foi criada a tabela ViagemReplica.

Cada vez que é inserida uma viagem na base de dados é também adicionada uma entrada nesta tabela, que contém o ID da viagem inserida, um ID único para a entrada e uma variável que permite identificar se uma viagem já foi replicada ou não. A forma como a replicação é feita é a seguinte:

- Periodicamente, num intervalo de tempo definido pelo utilizador, é verificado se existem viagens por replicar com base na tabela Viagens Replicação
- Caso existam, vai ser replicada a viagem para a base de dados do cliente

- A inserção na base de dados do cliente é feita através da invocação de um Web Service existente no cliente para inserção de viagens
- É actualizada a informação referente à viagem replicada

Interface de Comunicação Remota

A Interface de Comunicação Remota do Sistema de Recolha de dados foi implementada recorrendo à tecnologia de Web Services. Estes são os métodos que o Cliente vai invocar de forma a poder manipular a informação contida na base de dados do Sistema de Recolha de Dados. Neste protótipo não foram implementados métodos que permitam a gestão do equipamento de forma remota, sendo que o Biztalk RFID fornece uma API que permite o desenvolvimento desses métodos. A tabela seguinte demonstra os métodos que foram implementados no serviço Servidor Service e qual a sua funcionalidade.

Método	Funcionalidade
Insert Composicao	Permite inserir uma Composição na base de dados e devolve o ComposicaoID dessa Composição
Modify Composicao	Permite modificar os dados de uma Composição dado o seu ID
Remove Composicao	Permite remover uma Composição dado o seu ID
Insert Reader	Permite inserir um Reader na base de dados e devolve o ReaderID desse Reader
Modify Reader	Permite modificar os dados de um Reader dado o seu ID
Remove Reader	Permite remover um Reader dado o seu ID
Insert Reader Link	Permite inserir uma Ligação Reader na base de dados e devolve o ReaderLigacaoID dessa Ligação
Remove Reader Link	Permite remover uma Ligação Reader dado a sua ID

Tabela 11 - Web Services Implementados no sistema de recolha de dados

Estes Web Services serão publicados na máquina onde corre o Sistema de Recolha de dados.

Gestor de Dispositivos

A implementação do Gestor de Dispositivos foi feita recorrendo ao gestor de dispositivos do Biztalk RFID. Este gestor é uma ferramenta com interface gráfica que permite gerir todos os aspectos dos readers que foram definidos no adaptador da Interface de Comunicação readers. A figura 34 do Anexo B representa a interface gráfica de gestão dos dispositivos do Biztalk RFID.

A seguinte tabela demonstra quais os parâmetros configuráveis de cada reader [35].

Parâmetro	Descrição
Nome	Nome do Dispositivo que pode ser alterado
Localização	Permite inserir dados sobre a localização do leitor
Descrição	Permite inserir informação sobre o leitor
Enable Event Mode	Se seleccionado permite o leitor funcionar de forma assíncrona, caso contrário apenas funciona de forma síncrona
Tag Data Selector – ID Tag Data Selector – Time	Se seleccionado evento de Tag Read Event contém ID e Timestamp da Tag
Phidget Device Serial Number	Número de Série do reader
Flash Led on Read	Se seleccionado o Led presente no reader pisca quando uma tag é lida
Polling Interval	Intervalo de tempo que o leitor espera para verificar a presença de tags no campo de leitura

Tabela 12 - Dados configuráveis do reader no Gestor de Dispositivos

Quando um reader é ligado ao sistema ele é listado numa lista de readers. Através desta lista é possível ver qual o estado da ligação ao reader e é possível alterar esse estado. É ainda possível verificar um histórico de tags lidas por cada reader que é armazenado automaticamente pelo Biztalk RFID.

4.2.2.2. Cliente

Persistência de dados Cliente

Tal como no sistema de recolha de dados, a implementação do componente Persistência de dados no cliente foi feita recorrendo ao SQL Server 2005. As tabelas criadas na base de dados do cliente foram as seguintes:

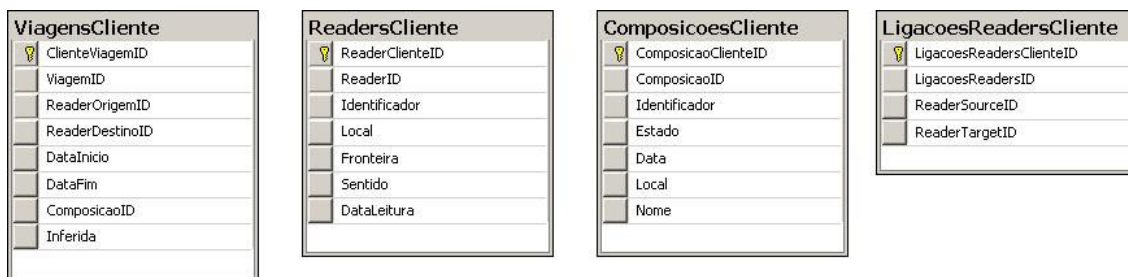


Figura 27 - Tabelas da base de dados do cliente

Estas tabelas são réplicas das tabelas criadas no sistema de recolha de dados, com a diferença que o cliente não armazena as passagens detectadas mas apenas as viagens resultantes dessas passagens. A principal diferença destas tabelas é a adição de uma nova chave primária que permite o cliente identificar de forma única cada uma das entradas nas tabelas, mas mantendo o ID da entrada replicada de forma ser possível fazer alterações na entrada original.

Interface de Comunicação Remota Cliente

Uma vez mais foi utilizada a tecnologia de Web Services para implementar a Interface de Comunicação Remota do Cliente, sendo que o único método implementado no cliente foi o de inserção de viagens, que permite o sistema de recolha de dados inserir novas viagens na base de dados do cliente. A tabela seguinte mostra esse o método implementado no Cliente Service:

Método	Funcionalidade
Insert Viagem Cliente	Permite Inserir uma Réplica de Viagem no Cliente

Tabela 13 - Web Services Implementados no cliente

Este Web Service encontra-se publicado na máquina onde o cliente corre.

Interface Gráfica

A interface gráfica foi desenvolvida em C# na *framework* de desenvolvimento Microsoft Visual Studio 2005. No desenho desta interface procurou seguir-se as normas de usabilidade, garantindo uma fácil navegação entre componentes e identificação clara dos componentes disponíveis. Esta interface é composta por 4 separadores principais, sendo a navegação entre eles feita através de uma barra de ferramentas que contém atalhos para esses separadores. Os separadores desenvolvidos foram os seguintes:

- Vista Viagens
- Vista Composições
- Vista Readers

- Vista Ligações Readers

A vista viagens é composta por uma tabela que contém todas as viagens inseridas na base de dados e que vai sendo actualizada num intervalo de tempo pré-definido. Além disso contém uma representação gráfica do grafo das ligações readers implementado com a biblioteca GLEE. O objectivo desta vista é mostrar de forma interactiva as viagens efectuadas, sinalizando no grafo a origem e destino da viagem. Esta vista é apresentada na seguinte figura.

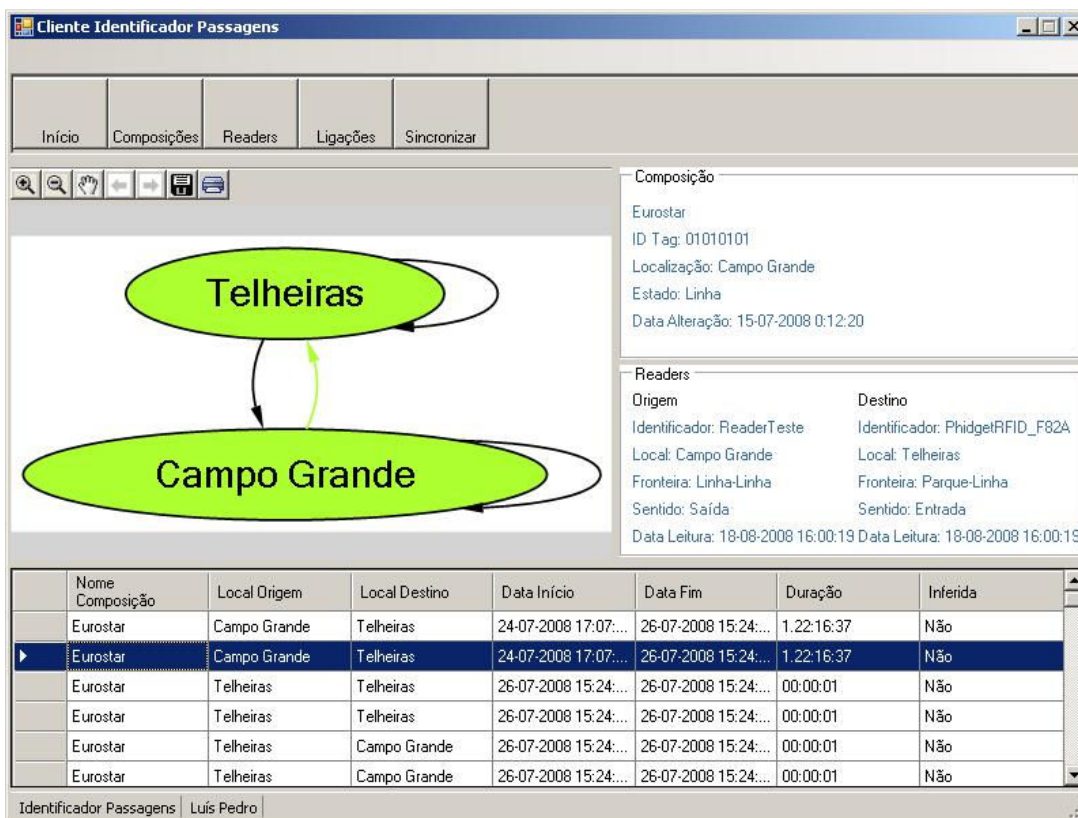


Figura 28 - Vista viagens

A vista composições é composto por uma lista das composições existentes na base de dados do cliente, em que seleccionando uma composição é possível ter informação visual dos dados da mesma, assim como indicação num grafo idêntico ao da vista viagens da localização da composição. Contem ainda um conjunto de formulários que permitem a inserção de dados que são utilizados na invocação dos Web Services implementados no sistema de recolha de dados que permitem a inserção, modificação ou remoção de uma composição. Esta vista é apresentada na seguinte figura.

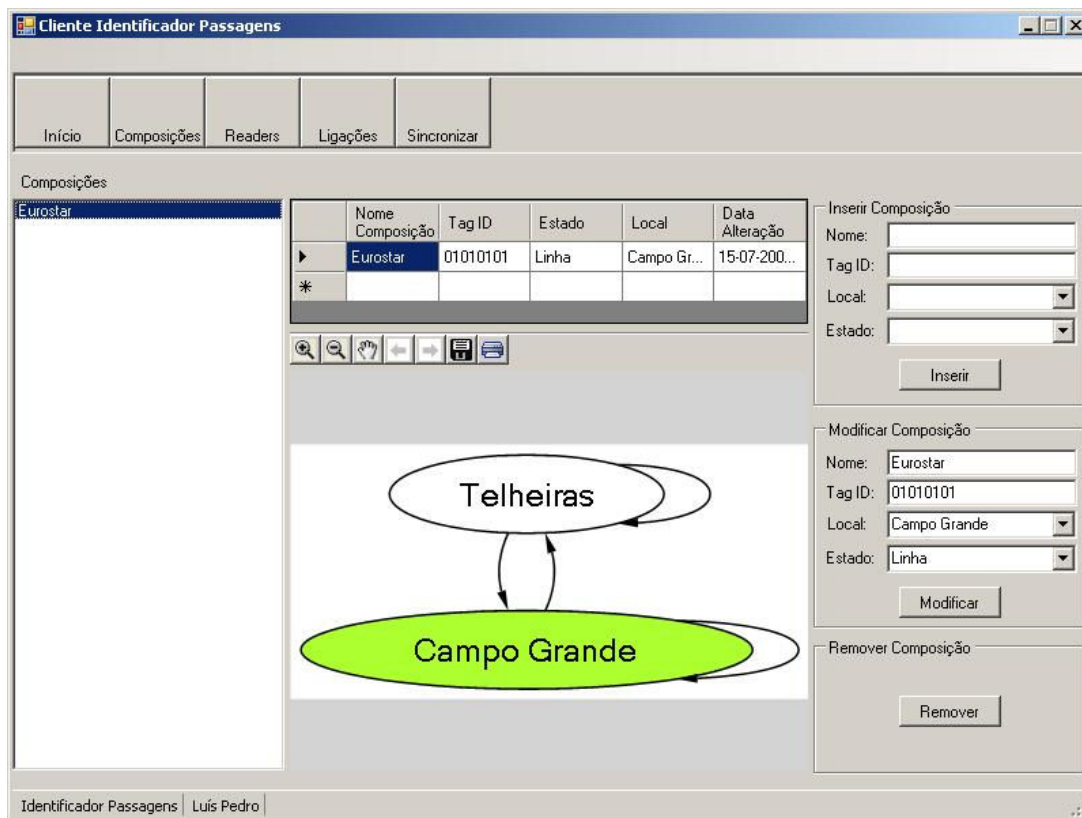


Figura 29 - Vista Composições

De forma análoga á vista composições a vista readers e ligações readers apresentam as mesmas funcionalidades. As figuras que representam estas vistas encontram-se no Anexo C.

A inserção, modificação e remoção de dados na base de dados do cliente é feita localmente, ou seja, primeiro é invocado o Web Service no sistema de recolha de dados, e em caso de o Web Service ser executado com sucesso a informação é inserida na base de dados local.

5. Testes

Neste capítulo irão ser apresentados os testes efectuados ao protótipo. Dada a natureza do ambiente de implementação a maioria dos testes efectuados recorrendo à maqueta são testes de funcionalidade. Para efectuar testes ao algoritmo de cálculo de viagens foi criada uma rede maior que permita existirem vários caminhos entre dois pontos, em que não foi utilizada a maqueta mas sim mecanismos de simulação de eventos providenciadas pelo Biztalk RFID. Por fim são ainda efectuados testes de performance de forma a se avaliar o desempenho da implementação e da própria *framework* Biztalk RFID. Para cada teste irá ser apresentado qual o ambiente utilizado, qual o objectivo e quais os resultados esperados, assim como o resultado obtido.

5.1. Testes de Funcionalidade

O equipamento utilizado para efectuar estes testes foi o seguinte:

- Maqueta de comboios à escala utilizada na implementação
- 1 composição à escala
- 6 readers Phidgets
- 1 tag EM4102
- 2 Computadores ligados em rede na mesma rede Local

Dado que apenas se dispunha de 6 readers, foi apenas possível criar 3 localizações na maqueta. A tag utilizada foi colada na lateral da composição. Um computador foi utilizado como sistema de recolha de dados e o outro como cliente. O software a correr em cada um dos computadores foi o seguinte:

- Sistema de recolha de dados
 - Sistema operativo: Windows 2003 Server
 - Microsoft SQL Server 2005 com as tabelas apresentadas na implementação criadas
 - Biztalk RFID Service a correr o processo Identificador Passagens
 - Web Service Servidor Service
 - Sistema de replicação de dados
- Cliente
 - Sistema operativo: Windows 2003 Server
 - Microsoft SQL Server 2005 com as tabelas apresentadas na implementação criadas
 - Web Service Cliente Service
 - Interface gráfica do Cliente

5.1.1. Teste à Interface Comunicação Readers

Objectivo: O objectivo deste teste é o de se verificar que a Interface de Comunicação Readers comunica da forma esperada com os readers.

Procedimento: Para efectuar este teste ligou-se cada um dos readers através da interface de comunicação USB ao computador que funciona como sistema de recolha de dados.

Resultado esperado: Pretende-se que ao ligar cada um dos readers ao sistema de recolha de dados, estes sejam reconhecidos pelo Biztalk RFID e adicionados à lista de readers disponíveis com um identificador único. No final da ligação dos 6 readers deve se obter 6 readers na lista assim como 6 identificadores únicos.

Resultado obtido: No final da ligação dos readers a lista de dispositivos ligados ao Biztalk RFID apresentava 6 dispositivos ligados. Na tabela 16 do anexo D apresentam-se os identificadores originados pela Interface de Comunicação Readers para cada um dos dispositivos.

5.1.2. Teste de configuração da plataforma

Objectivo: Este teste tem como objectivo testar os Web Services de comunicação entre o cliente e sistema de recolha de dados assim como a interface gráfica do cliente, através da utilização dos mesmos para configuração da plataforma.

Procedimento: Utilizando a interface gráfica do cliente inseriu-se todos os dados necessários para o funcionamento da plataforma, sendo eles, informação dos readers, composição e ligações entre os readers para criar o cenário de testes.

Resultado esperado: Após a inserção dos dados, espera-se que eles fiquem disponibilizados na interface gráfica do cliente e inseridos nas bases de dados do sistema de recolha de dados e cliente, o que significa que todos os dados foram inseridos com sucesso na base de dados do cliente e do sistema de recolha de dados

Resultado obtido: Os dados foram inseridos como esperado nas bases de dados e as tabelas presentes no Anexo D e E demonstram quais os dados inseridos em cada uma das tabelas da base de dados, assim como os grafos originados com a inserção dos dados.

5.1.3. Teste de detecção de passagens e cálculo de viagens

Objectivo: Verificar que o equipamento RFID consegue fazer a identificação da passagem de uma composição, e que o sistema de recolha de dados recebe essa informação e a armazena, fazendo o cálculo de viagens com base nas passagens recolhidas, e também a inferência da localização de uma composição.

Procedimento: Utilizando a maqueta e o sistema configurado utilizando a configuração do teste anterior colocou-se a composição à escala em movimento, deixando ela efectuar várias voltas à pista.

Resultado esperado: O resultado esperado é o de todas as passagens serem identificadas pelo equipamento RFID e as passagens armazenadas no sistema de recolha de dados. Além disso devem ser calculadas as viagens derivadas dessas passagens e a localização da composição actualizada

Resultado obtido: O resultado obtido foi o de que todas as passagens efectuadas foram detectadas e armazenadas na base de dados, foram também armazenadas as viagens calculadas, e a localização da composição foi actualizada de forma correcta a cada passagem. As tabelas presentes no Anexo F apresentam as passagens e viagens, sendo apenas apresentados resultados para a primeira volta à pista, pois os resultados seguintes apenas diferiam nas datas.

5.1.4. Teste de replicação de dados

Objectivo: Este teste tem como objectivo testar o funcionamento correcto do componente Gestor de Replicação de Dados e o Web Service Cliente Service para inserção de viagens.

Procedimento: Tendo como base o mesmo cenário dos testes anteriores e com a tabela de viagens do sistema de recolha de dados contendo os valores inseridos no teste anterior, correr o gestor de replicação de dados.

Resultado esperado: Depois de efectuar o teste é esperado que a tabela viagens da base de dados do cliente contenha as mesmas viagens inseridas na base de dados do sistema de recolha de dados.

Resultado obtido: Como esperado, no final do teste a base de dados do cliente continha as mesmas viagens que o sistema de recolha de dados.

5.1.5. Teste de inserção de tag não existente no sistema

Objectivo: Testar o comportamento do sistema de recolha de dados quando se insere uma tag desconhecida no sistema

Procedimento: Dotou-se a composição de uma tag que não foi inserida na base de dados do sistema de recolha de dados e fez-se a composição movimentar-se ao longo da pista

Resultado esperado: Espera-se que a inserção de este tag faça com que o *pipeline* de execução do processo seja parado não armazenando dados da passagem

Resultado obtido: O resultado obtido foi o esperado.

5.2. Testes ao Algoritmo de Cálculo de Viagens

Nesta secção irão ser apresentados alguns testes realizados ao algoritmo de cálculo de viagens implementado.

O cenário de testes utilizado foi idêntico ao dos testes anteriores com a excepção que não foi utilizada a maquete para gerar os eventos. Para gerar os eventos recorreu-se a uma ferramenta disponibilizada pelo Biztalk RFID que permite adicionar eventos aos processos. Para realizar os testes foi criada uma nova rede, recorrendo à interface gráfica do cliente, de forma a poder testar alguns casos particulares. Essa rede encontra-se ilustrada na seguinte figura.

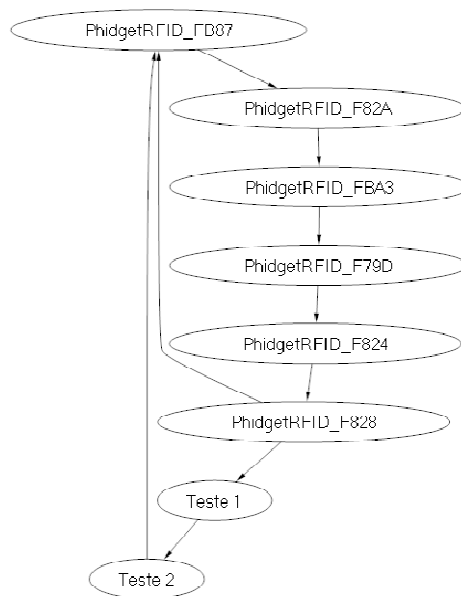


Figura 30- Grafo utilizado nos testes ao algoritmo de cálculo de viagens

5.2.1. Teste de passagens correctas

Objectivo: Este teste tem como objectivo verificar que o algoritmo calcula viagens de forma correcta quando as passagens que ocorrem são sempre feitas entre readers adjacentes.

Procedimento: Utilizando a ferramenta para inserir eventos no processo, foram simuladas passagens nos readers seguindo a seguinte ordem, PhidgetRFID_F828 -> Teste 1 -> Teste 2 -> PhidgetRFID_FB87.

Resultado esperado: O resultado esperado é o de serem calculadas viagens entre PhidgetRFID_F828 -> Teste 1, Teste 1 -> Teste 2 e Teste 2 -> PhidgetRFID_FB87

Resultado obtido: O resultado obtido foi o esperado.

5.2.2. Teste de passagens incorrectas

Objectivo: Este teste tem como objectivo verificar que o algoritmo calcula viagens de forma correcta quando as passagens que ocorrem não são feitas entre readers adjacentes, sendo assim necessário inferir viagens.

Procedimento: Utilizando a ferramenta para inserir eventos no processo, foram simuladas passagens nos readers seguindo a seguinte ordem, PhidgetRFID_F828 -> Teste 2 -> PhidgetRFID_FB87.

Resultado esperado: O resultado esperado é o de serem calculadas viagens entre PhidgetRFID_F828 -> Teste 1, Teste 1 -> Teste 2 e Teste 2 -> PhidgetRFID_FB87, sendo que as viagens PhidgetRFID_F828 -> Teste 1 e Teste 1 -> Teste 2 vão ser viagens inferidas, pois o algoritmo vai inferir uma passagem em Teste 1

Resultado obtido: O resultado obtido foi o esperado.

5.2.3. Teste de verificação do caminho mais curto

Objectivo: Verificar que caso existam mais do que dois caminhos entre dois readers, e caso seja necessário inferir passagens entre eles, o algoritmo vai sempre escolher o caminho mais curto.

Procedimento: Utilizando a ferramenta para inserir eventos no processo, foram simuladas passagens nos readers seguindo a seguinte ordem, PhidgetRFID_F824 -> PhidgetRFID_FB87

Resultado esperado: O resultado esperado é o de serem calculadas viagens entre PhidgetRFID_F824 -> PhidgetRFID_F828 e entre PhidgetRFID_F828 -> PhidgetRFID_FB87, sendo que vão ser ambas viagens inferidas pois a passagem em PhidgetRFID_F828 vai ser inferida.

Resultado obtido: O resultado obtido foi o esperado.

5.3. Teste de Performance

No site do Biztalk RFID é possível aceder a um estudo de planeamento de capacidade e melhoria de performance efectuado pela Microsoft [47]. Neste estudo são identificados os pontos que introduzem atraso no processamento da leitura de uma tag e qual o número de tags por segundo que o Biztalk RFID suporta. O tempo de processamento da leitura é o resultado da soma do tempo de comunicação entre um reader e o Biztalk, o tempo de processamento do *pipeline* que gere os eventos e os tempos de acesso à base de dados. Os testes efectuados no estudo mediram o impacto de cada um destes tempos através da inserção de tags no Biztalk, que foram sendo aumentadas gradualmente.

O teste que aqui vai ser apresentado tem como base os testes efectuados pela Microsoft, e pretende medir qual a capacidade do sistema implementado, em termos de tags por segundo e qual a latência desde que uma tag é entregue ao Biztalk RFID até que é inserida na base de dados. O atraso introduzido pela comunicação com os readers não é medido, pois de forma a poder inserir no sistema um maior número de tags por segundo recorreu-se a um simulador por software tal como nos testes ao algoritmo de cálculo de viagens.

Sendo assim o cenário de teste é idêntico ao dos testes ao algoritmo de cálculo de viagens, com a excepção de que foi desactivado o *handler* de eliminação de duplicados, de forma a ser possível inserir um maior número de tags por segundo, e foi adicionado um novo *handler* que armazena a data em que a tag chegou ao sistema e a data em que é inserido na base de dados depois de ser processado. As variáveis do teste estão presentes na seguinte tabela.

Tags por segundo	Número de tags inseridas por segundo
<i>Throughput</i>	Número de tags processadas por segundo pelo Biztalk RFID
Latência	Intervalo de tempo (em ms) desde que uma tag é inserida no sistema até que é inserida na base de dados

Tabela 14 - Variáveis do teste de performance

De forma a efectuar este teste foi criado um simulador que permite aumentar de forma gradual o número de tags por segundo, e que com base na API do Biztalk RFID consegue obter medidas da performance em termos de tags processadas num determinado intervalo de tempo.

O procedimento do teste foi o de ir aumentando gradualmente o valor de tags por segundo inserida no sistema e apontar os valores de *throughput* e latência correspondentes. A gama de valores testado varia entre as 10 tags por segundo e as 100. O motivo da escolha destes valores tem a ver com valor máximo previsto de passagens por segundo que não poderá ser superior ao número de readers instalados, que se prevê serem cerca de 28. Para cada valor de tags por segundo foi repetido o teste várias vezes sendo que os valores apresentados na seguinte tabela são a média dos valores obtidos.

Tags por segundo	Throughput	Latência (em ms)
10	10	14
20	20	24
30	30	32
40	40	58
50	50	79
60	60	123
70	70	242
80	80	323
90	90	400
100	100	550

Tabela 15 - Resultados do teste de performance

O resultado destes testes demonstra que para esta gama de valores todas as tags são processadas. É também possível inferir que o aumento de tags por segundo faz com que o tempo de processamento das mesmas aumente.

6. Conclusões

Esta dissertação descreve a concepção, desenvolvimento e testes de uma plataforma RFID de identificação de passagens de composições do Metro de Lisboa. Neste capítulo são revistas as várias fases desta tese e quais as conclusões a extrair de cada uma dessas fases. É ainda feita uma proposta de trabalho futuro para a continuidade deste projecto.

6.1. Concepção e Desenvolvimento

A arquitectura apresentada no capítulo 3 fornece uma solução que cumpre os objectivos propostos e os requisitos funcionais da plataforma. Através da especificação de uma arquitectura de hardware é apresentada uma solução para a instalação do equipamento RFID. Conclui-se que a instalação de readers na linha, nos pontos de fronteira entre os locais onde se pretende fazer uma identificação, e a instalação de tags em ambas as laterais duma composição, permite detectar todas as passagens requeridas. Conclui-se também que a tecnologia de RFID activa é a mais adequada para a solução, e é apresentada uma proposta de equipamento a utilizar.

É também descrita uma arquitectura de software que inclui um sistema de recolha de dados e um cliente. O sistema de recolha de dados é um sistema centralizado que apresenta uma arquitectura orientada a eventos e modular, em que cada componente satisfaz um requisito aplicacional. As principais funcionalidades deste sistema são a integração e configuração do equipamento RFID, gestão dos eventos gerados pelos readers quando detectam uma passagem, armazenamento e processamento da informação recolhida, de forma a inferir a localização e cálculo de viagens. Como esta plataforma irá fornecer informação a um sistema legado de escalonamento de motoristas torna-se também necessário desenvolver mecanismos de replicação. Para além disto é ainda especificado um cliente e interfaces de comunicação remota que permitam o cliente interagir com o sistema central.

6.2. Implementação

No capítulo 4 é apresentado um protótipo funcional que procura validar os conceitos especificados no capítulo 3. São apresentadas as tecnologias utilizadas e detalhes da implementação. A impossibilidade de efectuar um protótipo nas instalações do Metro de Lisboa fez com que se desenvolvesse o protótipo em ambiente laboratorial. Foram utilizadas maquetas de comboios e tecnologia de RFID passiva para a detecção de passagens. Para implementar o componente de software destaca-se a utilização da

framework Biztalk RFID que facilitou o desenvolvimento do protótipo. Foi ainda desenvolvido um algoritmo para cálculo das viagens efectuadas por cada composição. O resultado final é um demonstrador de prova de conceito que serve como plataforma para os testes e como base para uma futura solução a desenvolver pela Tecmic.

6.3. Testes

No capítulo de testes foram efectuados vários testes de funcionalidade que comprovam o funcionamento do protótipo implementado e a validade dos conceitos desenvolvidos. Foram também efectuados testes ao algoritmo de cálculo de viagens que demonstram o funcionamento correcto do mesmo em caso de passagens correctas ou incorrectas. Por fim é também efectuado um teste de performance ao sistema que permite concluir que a plataforma implementada suporta a carga necessária, e validando o Biztalk RFID como uma tecnologia a utilizar no sistema real.

6.4. Trabalho Futuro

Para finalizar esta tese são apresentadas algumas questões a ter em conta no futuro deste projecto.

A utilização de um sistema centralizado para o sistema de recolha de dados pode originar problemas de disponibilidade, pelo que se torna necessário procurar mecanismos de redundância. É também necessário fazer um estudo sobre a carga real que irá ser introduzida no sistema de forma a comprovar que uma arquitectura centralizada é a ideal.

É necessário um estudo sobre a rede de comunicações a ser utilizada para a comunicação entre os readers e sistema central, de forma a perceber qual será o impacto das latências na comunicação e a quantidade de erros que irão ser introduzidos no sistema.

Com a compra do equipamento necessário para detectar as passagens das composições, será necessário implementar os mecanismos necessários para a comunicação entre os readers e o sistema central, assim como a instalação de todo o equipamento RFID e verificação do funcionamento do mesmo.

É necessária também a definição do sistema legado de escalonamento de motoristas de forma a se definir o formato da informação que será replicada para ele.

7. Bibliografia

- [1]. **Harrison, Steve Hodges & Mark.** *Demystifying RFID: Principles & Practicalities*. 1 de Outubro de 2003.
- [2]. **Mark L. McKelvin, Jr., Mitchel L. Williams, Mitchel L. Williams.** *Integrated Radio Frequency Identification and Wireless Sensor Network Architecture for Automated Inventory Management and Tracking Applications*. Outubro 2005.
- [3]. **Haver, Torstein.** Security and Privacy in RFID Applications. *Master of Science in Communication Technology*. Junho 2006.
- [4]. **Landt, Dr. Jeremy.** The History of RFID. *Aim Global*. [Online] 1 de Outubro de 2001. <http://www.aimglobal.org>.
- [5]. **Piçarra, Francisco Miguel de Sousa Gomes Teixeira e Sérgio Manuel Maçoas.** Estado da Arte em RFID. *Comunidade RFID Portugal*. [Online] 12 de Outubro de 2007. <http://www.portalfid.net/>.
- [6]. **John Curtin, Robert J. Kauffman, Frederick J. Riggins.** Making the 'MOST' out of RFID technology: a research agenda for the study of the adoption, usage and impact of RFID. *Springer Science Business Media*. 21 de Abril 2007.
- [7]. **Microsoft.** *The Bussiness Value of RFID*. Janeiro 2006.
- [8]. **Garfinkel, Simson L.** Adopting Fair Information Practices to Low Cost RFID Systems. 2002, Vol. Presented at Ubiquitous Computing 2002 Privacy Workshop.
- [9]. **Sun, Microsystems.** Sun RFID and Sensors Community. [Online] [Citação: 14 de Setembro de 2008.] <http://sun.java.net/rfid-sensors/>.
- [10]. **EPCglobal.** *The EPCglobal Network™ Demonstration*. s.l. : EPCglobal INC, 2004.
- [11]. **Microsoft.** Microsoft Biztalk Server RFID. [Online] [Citação: 4 de Março de 2008.] <http://www.microsoft.com/biztalk/en/us/rfid.aspx>.
- [12]. —. Biztalk RFID Architecture. [Online] [Citação: 4 de Março de 2008.] <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb749746.aspx>.
- [13]. **Corporation, Venture Development.** Venture Development Corporation. *Venture Development Corporation*. [Online] [Citação: 22 de 2 de 2008.] <http://www.vdc-corp.com/>.
- [14]. **Group, Metro.** *RFID - a key technology with great potential for innovation - experiences in trade and retail*. 2005.

- [15]. **Railway, Technology.** *Railway Technology*. [Online] [Citação: 11 de 2 de 2008.] <http://www.railway-technology.com/>.
- [16]. **Transcore.** RFID Products and Vehicle Tracking Systems. *Transcore*. [Online] [Citação: 11 de 2 de 2008.] <http://www.transcore.com/>.
- [17]. **Guillon, Antoine.** The Value of RFID in Transportation. *Massachusetts Institute of Technology*. Junho 2004.
- [18]. **Tagmaster.** Tagmaster. *Tagmaster*. [Online] [Citação: 11 de 2 de 2008.] <http://tagmaster.com/>.
- [19]. **Transcore.** WORLD OF EXPERIENCE. *Transcore*. [Online] [Citação: 11 de 22 de 2008.] <http://www.transcore.com/>.
- [20]. **Q-Free.** *Stockholm Congestion Tax Charging System*. s.l. : Q-Free ASA, 2006.
- [21]. —. *Sydney Cross City Tunnel (SCCT) Project*. s.l. : Q-Free ASA, 2006.
- [22]. **Transcore.** Rail Mass Transit. *Transcore*. [Online] [Citação: 11 de 2 de 2008.] <http://www.transcore.com/>.
- [23]. **Tagmaster.** High Performance RFID for Railway Solutions. *Tagmaster*. [Online] [Citação: 11 de 2 de 2008.] www.tagmaster.com.
- [24]. **Q-Free.** *Multilane Free Flow System*. s.l. : Q-Free ASA, 2005.
- [25]. **Schiller, Jochen.** *Mobile Communications*. s.l. : Addison-Wesley, 2003.
- [26]. **Pahlavan, Kaveh.** *Principles of Wireless Networks: A Unified Approach*. s.l. : Prentice Hall, 2002.
- [27]. **Tagmaster.** TagMaster RFID system for automatic change of talkgroups in the London Underground. [Online] [Citação: 15 de Janeiro de 2008.] www.tagmaster.com.
- [28]. —. TagMaster RFID for Automatic Vehicle Identification in the in Hamburg Metro. [Online] [Citação: 15 de Janeiro de 2008.] www.tagmaster.com.
- [29]. —. A joint solution for wheel flat detection and axle load measurement. [Online] 15 de Janeiro de 2008. www.tagmaster.com.
- [30]. —. *LR-3HD reader brochure*. s.l. : Tagmaster, 2005.
- [31]. —. *S1456 MarkTag HDS brochure*. s.l. : Tagmaster, 2006.
- [32]. **Phidgets.** Phidgets - Products for USB sensing and control. [Online] [Citação: 15 de Maio de 2008.] www.phidgets.com.

- [33]. —. *1023 - PhidgetRFID Product Manual*. s.l. : Phidgets, 2008.
- [34]. **Marin, EM MICROELECTRONIC**. *EM4102 Read Only Contactless Identification Device*. s.l. : Marin SA.
- [35]. **Cruz, Irving De La**. Biztalk RFID - Device Deployment Kit for Phidgets Devices. [Online] 12 de Maio de 2007. [Citação: 2 de Junho de 2008.] <http://blogs.msdn.com/irvingd/>.
- [36]. **Phidgets**. Addressing Electromagnetic Interference Issues with Phidgets. [Online] 2 de Junho de 2008. [Citação: 5 de Julho de 2008.] <http://www.phidgets.com/>.
- [37]. **Microsoft**. Installing and Configuring BizTalk RFID. [Online] [Citação: 10 de Maio de 2008.] <http://www.microsoft.com/biztalk/en/us/rfid.aspx>.
- [38]. —. Sql Server 2005. [Online] [Citação: 20 de Setembro de 2008.] <http://www.microsoft.com/sql/default2.aspx>.
- [39]. **Codeplex**. Quickgraph. *Quickgraph*. [Online] Code Plex. [Citação: 1 de Setembro de 2008.] <http://www.codeplex.com/quickgraph/>.
- [40]. **Microsoft**. GLEE. [Online] [Citação: 20 de Setembro de 2008.] <http://research.microsoft.com/research/downloads/Details/c927728f-8872-4826-80ee-ecb842d10371/Details.aspx>.
- [41]. **Gustavo Alonso, Fabio Casati, Harumi Kuno, Vijay Machiraju**. *Web Services: Concepts, Architecture and Applications*. s.l. : Springer, 2004.
- [42]. **Microsoft**. Creating an RFID Device Provider. [Online] 10 de Maio de 2008. <http://www.microsoft.com/downloads/>.
- [43]. **Phidgets**. A Single RFID Reader in Visual C#. *Phidgets*. [Online] 1 de Junho de 2008. [Citação: 2 de Julho de 2008.] <http://www.phidgets.com/>.
- [44]. —. Phidgets Programming Manual. *Phidgets*. [Online] 15 de Maio de 2008. [Citação: 1 de Junho de 2008.] <http://www.phidgets.com/>.
- [45]. **Microsoft**. Tutorial - Supply Chain. [Online] [Citação: 10 de Maio de 2008.] <http://www.microsoft.com/downloads/>.
- [46]. **Keshav, Srinivasan**. *An Engineering Approach to Computer Networking*. s.l. : Addison Wesley, 2003.
- [47]. **Microsoft**. BizTalk RFID: Capacity Planning and Performance Tuning . [Online] [Citação: 21 de Setembro de 2008.] <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb870305.aspx>.

Anexo A - Imagens Biztalk RFID

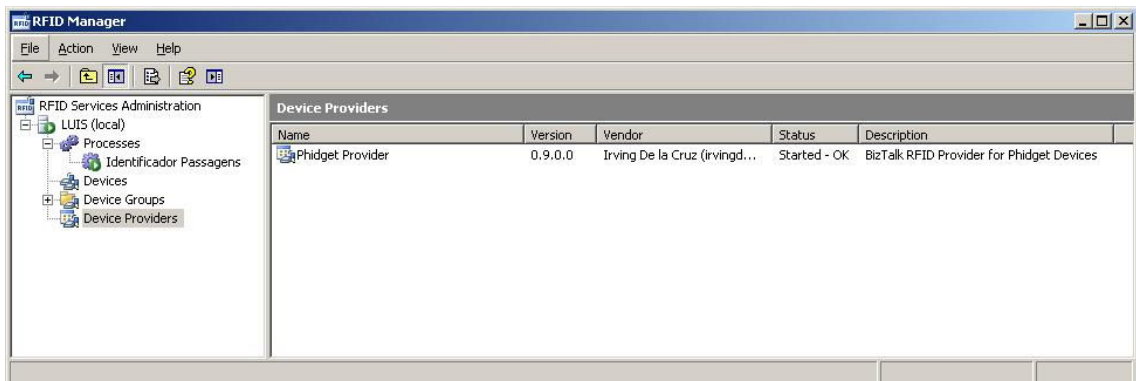


Figura 31 - Interface DSPI do Biztalk RFID

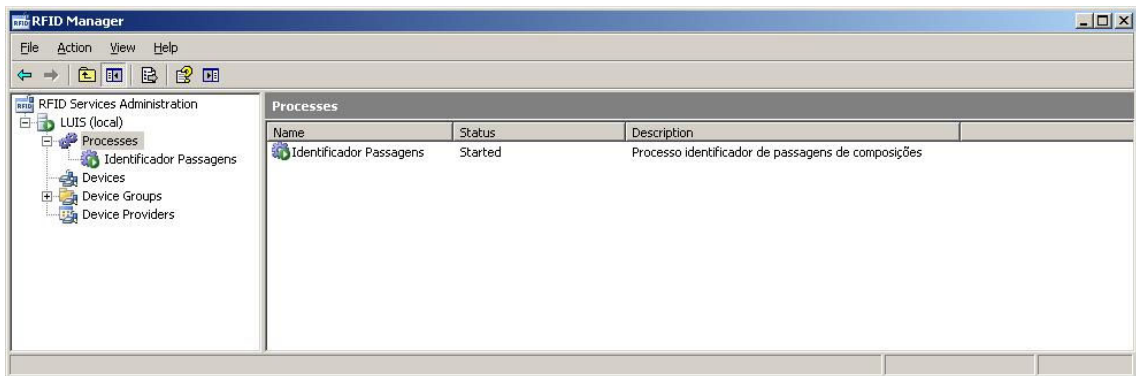


Figura 32 - Interface de gestão de processos do Biztalk RFID

Anexo B – Imagens Biztalk RFID II

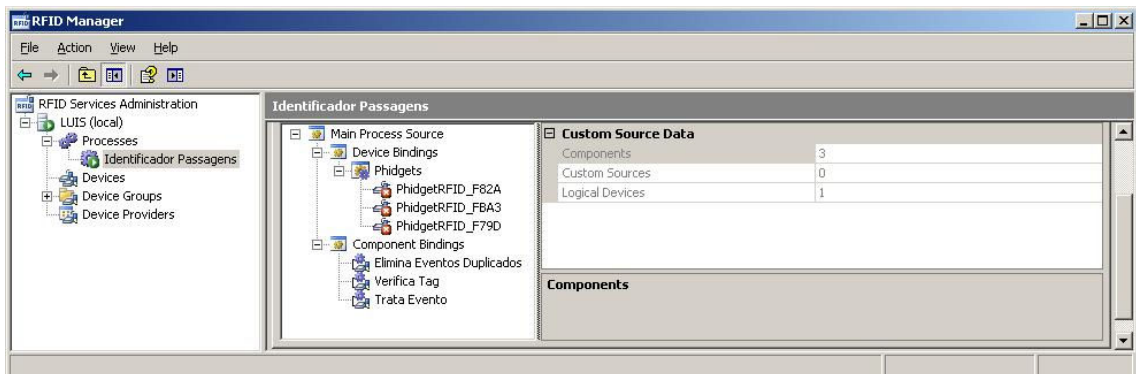


Figura 33 - Interface de gestão dos handlers Biztalk RFID

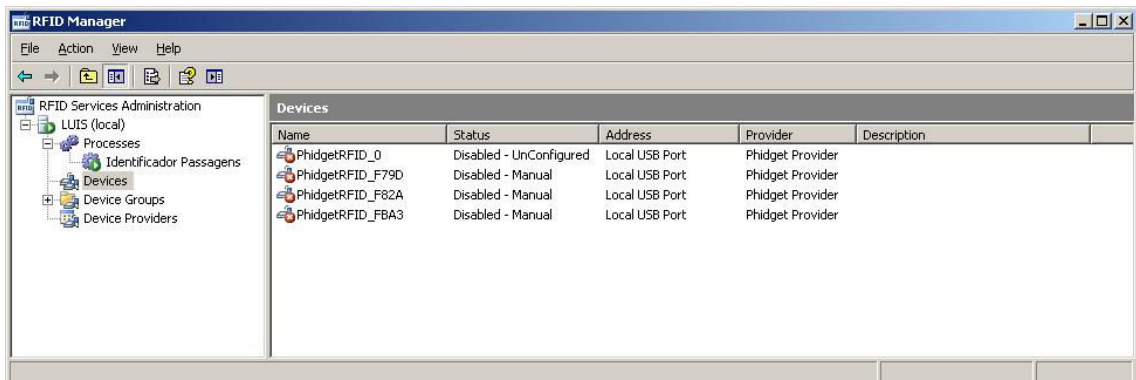


Figura 34 - Interface do Gestor de Dispositivos do Biztalk RFID

Anexo C – Vista Readers & Vista Ligações

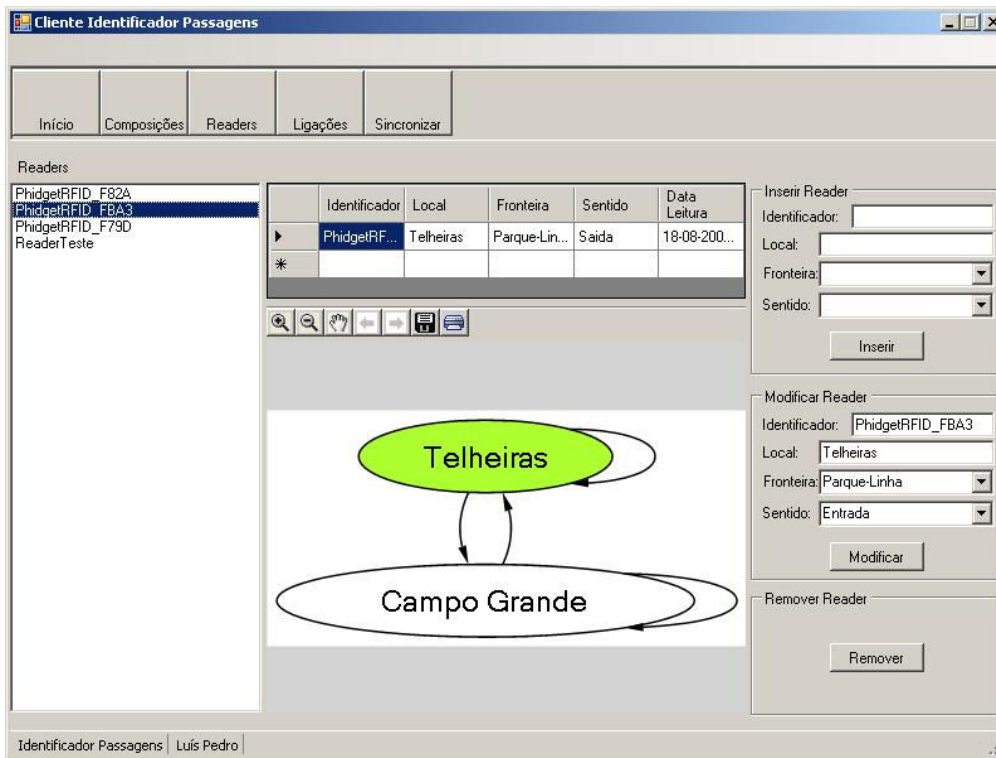


Figura 35 - Vista Readers da Interface Gráfica do Cliente

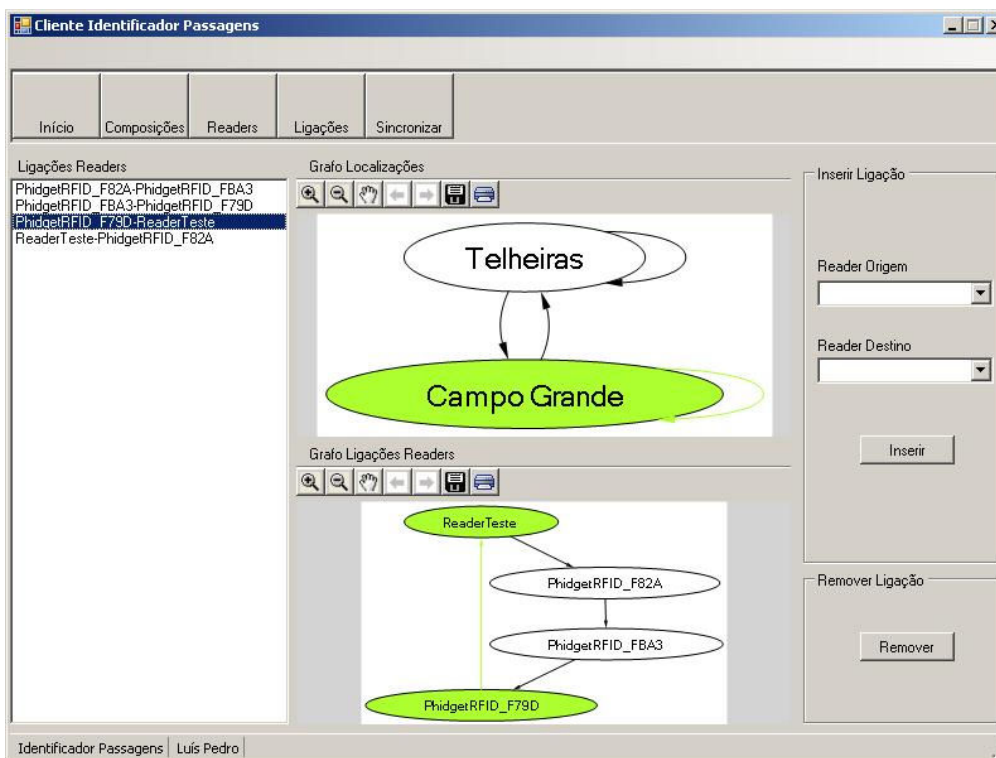


Figura 36 - Vista Ligações Reader da Interface Gráfica do Cliente

Anexo D – Resultados dos Testes Funcionais

Reader	Identificador
Reader 1	PhidgetRFID_F82A
Reader 2	PhidgetRFID_FBA3
Reader 3	PhidgetRFID_F79D
Reader 4	PhidgetRFID_F824
Reader 5	PhidgetRFID_F828
Reader 6	PhidgetRFID_Fb87

Tabela 16 - Identificadores gerados automaticamente pelo Biztalk RFID

ReaderID	Identificador	Local	Fronteira	Sentido
1	PhidgetRFID_F82A	Término	Término-Linha	Entrada
2	PhidgetRFID_FBA3	Término	Término-Linha	Saída
3	PhidgetRFID_F79D	Oficina	Oficina-Linha	Entrada
4	PhidgetRFID_F824	Oficina	Oficina-Linha	Saída
9	PhidgetRFID_F828	Parque	Parque-Linha	Entrada
10	PhidgetRFID_Fb87	Parque	Parque-Linha	Saída

Tabela 17 - Resultado da inserção de readers no sistema

LigacaoID	ReaderSourceID	ReaderTargetID
12	1	2
13	2	3
14	3	4
15	4	9
16	9	10
17	10	1

Tabela 18 - Resultado da inserção de ligações entre readers no sistema

ComposicaoID	Nome	Identificador Tag	Local	Estado
1	Orient Express	0000010100000B090202	Parque	Parque

Tabela 19 - Resultado da inserção da composição no sistema

Anexo E – Resultados dos Testes Funcionais II

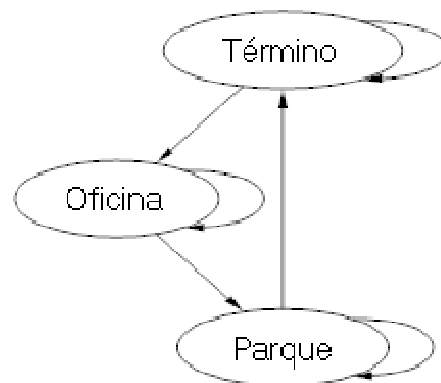


Figura 37 - Grafo Ligações Readers Localização Teste

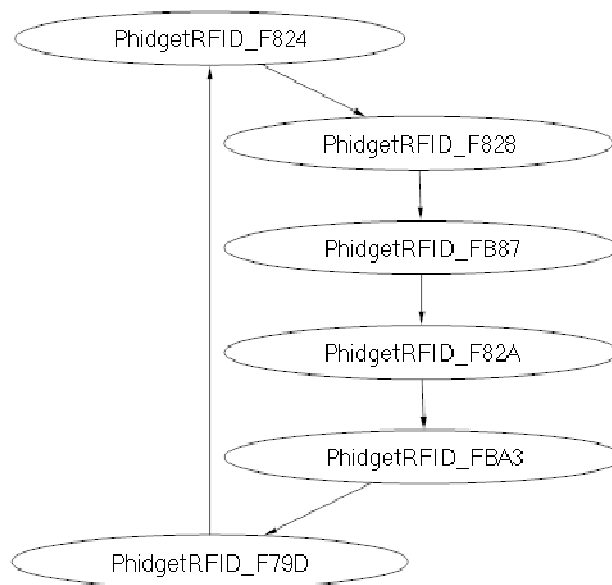


Figura 38 - Grafo Ligações Readers Teste

Anexo F – Resultados dos Testes Funcionais III

PassagemID	ComposicaoID	ReaderID	Data Passagem	Consumida	Inferida	Estado Composição
1378	1	1	2008-09-16 16:28:14	0	0	Término
1379	1	2	2008-09-16 16:28:21	0	0	Linha
1380	1	3	2008-09-16 16:28:27	0	0	Oficina
1381	1	4	2008-09-16 16:28:33	0	0	Linha
1382	1	9	2008-09-16 16:28:39	0	0	Parque
1383	1	10	2008-09-16 16:28:45	0	0	Linha

Tabela 20 - Resultado da inserção de passagens no sistema

ViagemID	ComposicaoID	Reader OrigemID	Reader DestinoID	Data Início	Data Fim	Inferida
1	1	1	2	2008-09-16 16:28:14	2008-09-16 16:28:21	0
1	1	2	3	2008-09-16 16:28:21	2008-09-16 16:28:27	0
1	1	3	4	2008-09-16 16:28:27	2008-09-16 16:28:33	0
1	1	4	9	2008-09-16 16:28:33	2008-09-16 16:28:39	0
1	1	9	10	2008-09-16 16:28:39	2008-09-16 16:28:45	0

Tabela 21 - Resultado da inserção de viagens no sistema