

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

RAMON FERNANDES MENDES

**APLICAÇÃO DE RFID EM OPERAÇÃO DE INVENTÁRIO COM COLETOR DE
DADOS UHF E MIDDLEWARE BASEADO EM HARDWARE ABERTO**

CAXIAS DO SUL, 2014

RAMON FERNANDES MENDES

**APLICAÇÃO DE RFID EM OPERAÇÃO DE INVENTÁRIO COM COLETOR DE
DADOS UHF E MIDDLEWARE BASEADO EM HARDWARE ABERTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade de Caxias
do Sul como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Msc. Giovanni Ely
Rocco.

CAXIAS DO SUL, 2014

Dedico este trabalho a todos que me auxiliaram de alguma forma, mas principalmente a minha família que me apoiou nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial a minha família, Marlova, Ivo e Isadora, por acreditarem em minhas escolhas, apoiando-me e esforçando-se junto a mim, para que eu suprisse todas elas.

Agradeço ao meu orientador, professor Giovanni, por ter me auxiliado no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a meus colegas da empresa Akron, Max, Marcos, Gustavo e Rafael, pelo ambiente de trabalho, indicações para o estudo de caso, auxílio técnico, e fornecimento dos equipamentos, sem o qual não teria sido possível concluir este trabalho.

RESUMO

O uso da tecnologia RFID no gerenciamento de estoques é uma importante ferramenta tecnológica para automatizar processos de armazenagem e inventário. O cenário competitivo atual das organizações requer cada vez mais acurácia das informações para garantir a presença dos itens indispensáveis à produção. Este trabalho apresenta uma solução para inventário de itens identificados por *tags* RFID com um coletor de dados construído de modo próprio, baseado na placa Beaglebone Black e em um leitor RFID UHF. A revisão teórica será um levantamento dos sistemas de apoio ao estoque e conceitos relacionados. Conclui-se que a ferramenta de inventário servirá como um instrumento gerencial valioso ao manter um histórico das operações, permitindo identificar itens com maiores problemas de acurácia.

Palavras-chaves: RFID, inventário, gestão de estoque, coletor de dados.

ABSTRACT

The use of RFID technology in inventory management is an important technology tool to automate warehouse and inventory processes. The current competitive scenario of organizations requires increasingly accurate information to ensure the presence of essential items to production. This paper presents a solution for inventory of items identified by RFID tags through a handheld reader built in their own way, based on Beaglebone Black platform and a UHF RFID reader. The literature review is a survey of inventory concepts and related systems. We conclude that the tool inventory will serve as a valuable management tool to keep track of the operations, allowing the identification of items with greater accuracy problems.

Keywords: RFID, inventory, inventory management, handheld reader

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS.....	10
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	13
1.2 Organização do trabalho	13
2. INVENTÁRIO COM RFID	15
2.1 Administração de estoques	15
2.2 Sistemas de informação relacionados.....	16
2.3 Exemplos	17
2.4 Inventário	18
2.5 Acurácia de estoque.....	19
3. TECNOLOGIA RFID	21
3.1 Histórico	21
3.2 Identificadores (tags).....	23
3.3 Leitor e antena	24
3.4 Frequência e protocolo.....	25
3.5 Middleware	25
3.5.1 Padrões de middleware	26
3.6 Coletor de dados RFID.....	27
4. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	29
4.1 Protótipo de coletor de dados	32
4.1.1 Componentes de <i>hardware</i>	35
4.1.2 Placa integrada Beaglebone Black	37
4.1.3 Módulo RFID ThingMagic Micro-LTE.....	38
4.1.4 Montagem e gabinete	39
4.1.5 Custo efetivo.....	40
4.2 Software embarcado	40
4.2.1 Arquitetura de software.....	42
4.2.2 Organização e persistência dos dados.....	44
4.2.3 Linux embarcado e configuração.....	46
4.2.4 Middleware	47
4.2.5 Funcionamento do software	49
4.3 SGI.....	50
4.3.1 Arquitetura de software.....	51
4.3.2 Funcionamento do software	52
5. ESTUDO DE CASO	56
5.1 Empresa-alvo	56

5.2	Processo e problematização	57
5.3	Aplicação na empresa e adequações no software (integração)	59
5.4	Cenários e resultados obtidos	60
5.4.1	Cenário 1	60
5.4.2	Cenário 2	61
5.4.3	Resultados.....	62
5.5	Vantagens e desvantagens do sistema.....	63
6.	CONCLUSÃO.....	65
6.1	Trabalhos futuros	66
	REFERÊNCIAS.....	67
	APÊNDICE A – TESTES DE DESEMPENHO DO LEITOR.....	71
	APÊNDICE B – CONSUMO DE ENERGIA	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Identificação dos principais componentes de uma etiqueta UHF	23
Figura 2 – Componentes físicos de um leitor	24
Figura 3 – Motorola MC3190-Z	28
Figura 4 – Um funcionário usa um leitor RFID portátil para conferir itens de estoque armazenados no cofre da empresa.....	29
Figura 5 – Arquitetura do sistema	31
Figura 6 – Protótipo de coletor de dados	33
Figura 7 – Coletor de dados: esquema de componentes	35
Figura 8 – Beaglebone Black	37
Figura 9 – ThingMagic Micro-LTE	38
Figura 10 – Visão interna da caixa do protótipo de coletor de dados	39
Figura 11 – Diagrama de atividades: usuário e software	42
Figura 12 – Arquitetura do software embarcado	43
Figura 13 – Diagrama do banco de dados	45
Figura 14 – Trecho de código principal do <i>middleware</i>	48
Figura 15 – Funcionamento do software embarcado	49
Figura 16 – Arquitetura do SGI.....	51
Figura 17 – Classe C# da interface REST para sincronização de dados com o coletor	52
Figura 18 – SGI: tela inicial	53
Figura 19 – SGI: tela de inventários para ajuste	53
Figura 20 – SGI: tela de ajuste de inventário	54
Figura 21 – SGI: tela de histórico de inventários.....	54
Figura 22 – SGI: tela de relatórios.....	55
Figura 23 – Telas para importação dos registros de estoque.....	59
Figura 24 – Fotos dos testes 1, 2 e 3, respectivamente	71
Figura 25 – Teste 1: Leitura de uma <i>tag</i> fixada no concreto á 5 metros por 30 segundos	72
Figura 26 – Teste 2: Leitura de uma <i>tag</i> fixada em PVC á 7 metros por 30 segundos	73
Figura 27 – Teste 3: Leitura de 10 <i>tags</i> á 6 metros por 30 segundos	73
Figura 28 – Consumo da placa BBB (480mA).....	75
Figura 29 – Consumo do módulo RFID ao ativar a leitura (960mA)	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixa de leitura por frequência	25
Tabela 2 – Sequência de atividades para execução do inventário.....	30
Tabela 3 – Comparativo entre coletores de dados RFID UHF	34
Tabela 4 – Módulo RFID ThingMagic Micro-LTE	38
Tabela 5 – Materiais e custos.....	40
Tabela 6 – Cenário 1	61
Tabela 7 – Cenário 2.....	61
Tabela 8 – Consumo elétrico.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS

API	<i>Application Program Interface</i>
BBB	Beaglebone Black
EAS	<i>Electronic article surveillance</i>
EPC	<i>Electronic Product Code</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
IPC	<i>Inter-Process Communication</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LCD	<i>Liquid-crystal display</i>
MVC	<i>Model View Controller</i>
NTP	<i>Network Time Protocol</i>
PCP	Planejamento e controle da produção
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
SCM	<i>Supply chain management</i>
SGI	Sistema Gerenciador de Inventário
SO	Sistema operacional
SSH	<i>Secure Shell</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
WMS	<i>Warehouse Management System</i>

1. INTRODUÇÃO

Uma tecnologia de identificação, que só recentemente vem ganhando popularidade, é a tecnologia RFID, acrônimo de Identificação por Rádio Frequência (*Radio Frequency Identification*). Ela representa uma revolução em termos de tecnologia para identificação automática e computação embarcada, e é cada vez mais utilizada em conjunto com outras tecnologias nos setores onde há necessidade de rastreamento e coleta de dados, como transporte e logística, comércio e segurança.

O uso do sistema RFID no gerenciamento da cadeia de suprimentos é atualmente reconhecido como um diferencial competitivo, possibilitando controle e rastreamento dos produtos a partir das informações associadas à *tag* RFID (localização, data de fabricação e validade), sendo que tais dados são disponibilizados para visualização de modo customizado ao usuário, facilitando assim, o processo de tomada de decisões (BHUARTI; MORADPOUR, 2007).

A gestão de estoque é uma das principais áreas de aplicação desta tecnologia, sendo utilizada para controlar entradas e saídas de estoque de itens previamente identificados com *tags* RFID.

“Para um bom gerenciamento do estoque, faz-se necessário a utilização de tecnologias como sistemas de controle informatizados, códigos de barra, leitores, entre outros. Porém, mesmo utilizando diversas tecnologias, existe uma deficiência encontrada em sua gestão, pois se trata da falta de acuracidade entre a quantidade existente em registro contábil e no meio físico.” (SOUZA et al, 2009)

Este trabalho baseia-se em uma investigação sobre o problema de acurácia dos estoques, ou seja, quando o estoque físico da empresa diverge do registrado no sistema. É proposta uma ferramenta para execução de inventário utilizando um coletor portátil RFID para imediata identificação da existência física dos itens controlados.

Tradicionalmente, para realizar um inventário de bens e materiais, as empresas precisam parar a produção, alocar recursos humanos e realizar o inventário várias vezes até que se atinja um grau de confiabilidade adequado.

O sistema proposto trata-se de um processo de automação de inventário de produtos qualquer, no qual uma pessoa utilizará o coletor de dados para identificar à distância itens presentes em estoque. Com isso, a principal mudança no processo de inventário é a desnecessidade de impressão da lista de material a ser conferida manualmente ou, então, a eliminação da difícil busca visual pelo código de barras, tornando o processo de inventário mais ágil e preciso.

Para o desenvolvimento deste trabalho, se identificou as características necessárias para um sistema de inventário utilizando RFID, as funcionalidades que ele deverá prover, e a especificação do *hardware* e das ferramentas de *software* adequadas. Finalmente, como consequência desta análise, será realizada sua implementação onde, como diferencial, será construído através de alguns componentes eletrônicos o coletor de dados, de modo a se obter um equipamento com maior flexibilidade e menor custo.

A área de *hardware* aberto recentemente vem apresentando um crescimento acentuado, permitindo criar os mais variados projetos de *hardware* sem necessitar muito conhecimento em eletrônica. Neste sentido, este trabalho propõe explorar a possibilidade de se criar um leitor RFID UHF portátil utilizando a placa de prototipagem BeagleBone Black e o módulo RFID da ThingMagic. Este módulo é facilmente conectado à placa pela porta USB, permitindo obter os dados das leituras através de uma API (*Application Program Interface*). Através do ambiente Linux presente na placa Beaglebone pode-se então desenvolver o *middleware* que utilize esta API e fornecer a aplicação desejada.

Outro fator importante será a utilização da faixa UHF de frequência ao invés do sistema de baixa frequência (HF), que se caracteriza principalmente por permitir leituras a uma maior distância (até 30 metros em vez de 1 metro), o que é indispensável para a situação de inventário. No sistema UHF as *tags* são mais baratas que as HF, por outro lado os equipamentos são mais caros, a exemplo do coletor portátil Motorola UHF MC319Z que custa na faixa de R\$ 8000,00 (ELATECH, 2013).

Finalmente, o mérito da pesquisa não se resume no equipamento de *hardware* com menor custo, mas no uso oportuno da tecnologia RFID em um sistema relevante para controle e acurácia do estoque, em um equipamento que sirva de forma intuitiva a um operador na tarefa de coleta dos dados, e um *software* gerencial útil para um administrador visualizar alguns resultados importantes do processo e auxiliá-lo na tomada de decisões. Isto sim pode acarretar em diminuição de custos significativos através de um melhor desempenho no controle de estoque.

1.1 Objetivos

No caso prático, consiste em apresentar uma alternativa acessível de *hardware* e *software* para implementação de um sistema RFID mais econômico e flexível, em uma arquitetura abrangendo desde a coleta móvel dos dados até a integração com o sistema de informação do negócio.

No âmbito de uma empresa, é possibilitar manter maior acurácia nos registros de estoque através de um processo de inventário automatizado, permitindo uma melhor gestão, reduzindo custos e melhorando seu desempenho.

1.2 Organização do trabalho

O trabalho será desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica, implementação e estudo de caso.

O Capítulo 2 contextualiza o trabalho na área de gestão de estoques e nos diferentes sistemas relacionados (WMS, ERP, SCM). Também traz os conceitos de inventário e exemplos de sua operacionalização com a tecnologia RFID.

O Capítulo 3 apresenta o referencial teórico sobre a tecnologia RFID.

O Capítulo 4 é dedicado a descrever o processo de desenvolvimento do protótipo, tanto a parte de *hardware* quanto a de *software*. O *hardware* é a descrição do projeto do coletor de dados. O *software* contempla a implementação do sistema para inventário que visa ser integrado a um contexto empresarial.

No Capítulo 5 é apresentado o estudo de caso realizado em uma empresa para validar a utilização do sistema. É contextualizada a empresa e discutido os problemas quanto ao seu processo de inventário. São apresentados os testes que foram aplicados na forma de diferentes cenários. Por fim, é discutido os resultados e conclusões formadas junto a empresa.

O Capítulo 6 realiza a conclusão do estudo e apresenta os trabalhos futuros.

2. INVENTÁRIO COM RFID

2.1 Administração de estoques

A tecnologia RFID, no contexto da administração de estoque, é empregada em sistemas de controle físico dos itens, provendo informações confiáveis, com o máximo de acurácia, em que a captura e registro dos dados são efetivados em tempo real. Além disso, provê a rastreabilidade dos itens, que “é a habilidade de descrever a história, aplicação, processos ou eventos e localização de um determinado item, por meios de registros e identificação” (SOUZA, 2009).

Como prática de mercado, as empresas normalmente utilizam um WMS (*Warehouse Management System* ou Sistema de Gerenciamento de Armazéns) para controlar com eficácia todas as atividades e fluxo de informações dentro dos armazéns onde os produtos são estocados. Essas atividades incluem recebimento, inspeção, endereçamento, estocagem, separação, embalagem, carregamento, expedição, emissão de documentos e inventário. Os WMS normalmente são integrados aos sistemas corporativos de ERP (*Enterprise Resource Planning*) de onde são fornecidos dados de clientes, fornecedores e produtos (GUARNIERI *et al.*, 2013).

O conceito de estoque, para Martins e Alt (2009), é:

“Estoque é um elemento regulador do fluxo de materiais nas empresas, isto é, como a velocidade com que chegam à empresa é diferente da velocidade com que saem (ou são consumidos), há a necessidade de certa quantidade de materiais, que ora aumenta, ora diminui, amortecendo as variações”

Segundo Dias (2009), os estoques podem ser de matérias-primas, materiais em processo, ou de produtos acabados.

Já a gestão de estoques constitui uma série de ações que permitem ao administrador verificar se os estoques estão sendo bem utilizados, bem localizados em relação aos setores que deles se utilizam, bem manuseados e bem controlados (Martins e Alt, 2009).

Para Chin (2010), a gestão de estoque deve ser colocada como um conceito integrado, e não um simples controle da cadeia de suprimentos onde um elo está ciente apenas da demanda do próximo elo. Ela deve abranger os diversos estágios do fluxo de materiais e suas funções de suporte.

2.2 Sistemas de informação relacionados

Esta seção se dedica em abordar sistemas específicos para gestão da cadeia de suprimentos e que são utilizados juntamente com a tecnologia RFID. O principal sistema de interesse são os WMS, portanto esta seção busca situá-lo no contexto geral de sistemas de informação.

Segundo Laudon e Laudon (2009), grandes sistemas de software responsáveis por gerenciar simultaneamente várias áreas funcionais da empresa, ao invés de sistemas específicos para cada área, são denominados de aplicativos integrados pois executam processos de negócios que permeiam toda a empresa. Existem quatro grandes aplicativos organizacionais integrados, sendo que os de interesse são: sistemas de planejamento de recursos empresariais (ERP) e os sistemas de gestão da cadeia de suprimento (SCM, *Supply chain management*).

Para os autores, SCM são uma resposta aos problemas de escala e complexidade da cadeia de suprimentos, sendo responsáveis por auxiliar no compartilhamento de informações sobre pedidos, produção, níveis de estoque e entrega de produtos, de maneira a buscar insumos, produzir e entregar mercadorias com eficiência.

Os autores classificam SCM's em dois tipos:

- para planejamento da cadeia de suprimentos: habilitam a gerar previsões de demanda, e com isso desenvolver planos para aquisição de matérias-primas e fabricação de produtos;

- para execução da cadeia de suprimentos: monitoram a situação física dos produtos, a gestão de materiais, operações de armazenamento e transporte e informações financeiras.

Um Sistema de Gerenciamento de Armazéns (WMS) é um exemplo deste último tipo. Para Arozo (2003), estes são responsáveis pelo gerenciamento da operação do dia-a-dia de um armazém. Sua utilização está restrita a decisões totalmente operacionais, tais como: definição de rotas de coleta, definição de endereçamento dos produtos, entre outras.

2.3 Exemplos

Um exemplo da importância do controle de estoque, conforme (SOBRINHO, 2009), são os casos das empresas especializadas em entregas expressas. Esse modelo de empresa possui boa parte de seus consumidores através dos contatos pelas vendas via rede global de computadores. Para isso, a necessidade de manter a acuracidade de estoque enxuta é impreterível para os atendimentos rápidos, de pronta entrega.

Já especificamente sobre inventário com RFID, conforme se observou com a pesquisa, ele pode ser feito com:

- antenas fixas: antenas potentes setorizadas (ex.: localizadas no teto) ou antenas nas prateleiras;

- interrogador portátil: é executada por uma pessoa utilizando um leitor RFID *handheld*;

Para revelar como as empresas utilizam RFID para esta finalidade, se observou casos reais publicados no RFID Journal, principal organização com notícias da área.

No caso da loja de vestuário American Apparel (SWEDBERG, 2013), a loja foi dividida em zonas, com cada zona possuindo uma antena fixa no teto, possibilitando em tempo real identificar e localizar todos os itens com *tags* dentro do estabelecimento. O sistema elimina a necessidade de funcionários realizarem auditorias de inventário com *handhelds*, mas funcionários também utilizam periodicamente leitores portáteis para rastrear os itens que estão nas prateleiras:

“os leitores portáteis serão sempre ferramentas úteis em aplicações de varejo [...] mesmo que a empresa implante uma solução com leitor fixo. *Handhelds* capacitam

os funcionários a realizar verificações *in loco*, contagens de inventário em áreas que não podem ser cobertas por um sistema fixo e ajudam a localizar itens que podem estar em uma zona diferente, mas que precisam ser encontrados rapidamente.”

Este sistema envolveu 70 antenas distribuídas em zonas de 4 por 4 metros, possibilitando saber exatamente a zona no qual o produto está localizado, caso um cliente peça uma determinada peça. Já o *software* monitora em tempo real se um produto precisa ser reabastecido quando sua *tag* não está sendo mais lida. Outro fato interessante é que quando o sistema entrou em operação a empresa imediatamente descobriu cerca de 1.500 itens que estavam em falta no sistema de inventário da loja.

Outro caso é da loja de sapatos Saks (SWEDBERG, 2013a) no qual o problema estava em manter corretamente expostos à venda os 4.000 modelos de calçados em estoque, numa loja com 15 mil metros quadrados e que recebe 5.000 pares de sapatos novos toda semana. Antes da instalação do sistema RFID, os funcionários realizavam verificações de inventário manualmente por meio de leitores de códigos de barras, individualmente em cada produto, um processo de quatro dias que, quando terminado, já estava com números defasados. A solução se deu em aplicar uma etiqueta RFID na sola do sapato antes de colocar a nova amostra em exposição. Um funcionário leva então o leitor portátil e o move perto das prateleiras, realizando contagem completa de todos os estilos e cores disponíveis na área de vendas em 20 minutos.

2.4 Inventário

Segundo Chin (2010), periodicamente, toda empresa deve efetuar contagens físicas de seus itens de estoque e produtos em processo para verificar:

- a) discrepâncias (em \$) entre o estoque físico e o estoque contábil;
- b) discrepâncias (em quantidades) entre registro contábil e as quantidades reais nas prateleiras;
- c) apuração do valor total do estoque (contábil) para efeito de balanços ou balancetes.

Para Martins e Alt (2009), existem vários indicadores de produtividade na análise e controle dos estoques, sendo que as diferenças entre o inventário físico e o contábil é um dos mais usuais.

Martins e Alt (2009) afirmam que o inventário físico consiste nas contagens físicas dos itens de estoque, nas quais, caso haja diferenças devem ser feitos os ajustes conforme as recomendações contábeis e tributárias, também afirma que podem ocorrer dois tipos de inventários:

-geral ou periódico: feito uma ou duas vezes por ano em um sistema de força tarefa com a contagem de todos os itens.

-rotativo: realizado permanentemente, com maior frequência, em menor quantidade de itens, de forma amostral, onde todos os itens são contados pelo menos uma vez dentro do período fiscal.

O inventário rotativo se difere do inventário geral por sua periodicidade com a função de garantir permanentemente o controle de estoque. Conforme Chin (2010) ele pode ser:

-Inventário automático: acontece mediante ocorrência de divergências:

- a) saldo zero no sistema;
- b) requisição de material atendida parcialmente;
- c) requisição de material não atendida;
- d) material crítico requisitado;
- e) transferência de localização.

-Inventário programado: é um sistema de contagem por amostragem de itens em períodos estabelecidos;

-Inventário a pedido: esse modelo é feito por solicitação da administração de materiais e pela controladoria devido a falhas de processamento, problemas na auditoria entre outros.

2.5 Acurácia de estoque

A acurácia de estoques refere-se à diferença entre os valores físicos e os dos registros do sistema. O cálculo do valor da acurácia é feito com a seguinte fórmula (MARTINS e ALT, 2009):

$$\text{Acurácia} = \frac{\text{Número de itens com registros corretos}}{\text{Número total de itens}}$$

ou

$$\text{Acurácia} = \frac{\text{Valor de itens com registros corretos}}{\text{Valor total de itens}}$$

Um índice de acurácia de 100% representa o ideal, no entanto improvável de ser atingido devido à grandeza dos estoques. É necessário então definir uma tolerância aceitável para as diferenças entre os dados físicos e os registros do sistema (MARTINS e ALT, 2009).

3. TECNOLOGIA RFID

O sistema RFID é destinado a identificação de objetos por rádio frequência, sendo composto basicamente por dois componentes: o leitor e a etiqueta eletrônica (*tag*). Quando a etiqueta eletrônica passa pela área de cobertura da antena, o campo magnético é detectado pelo leitor. O leitor então decodifica os dados que estão codificados na etiqueta eletrônica, passando-os para um computador realizar o processamento (SANTANA, 2005).

Um sistema RFID possui muitas semelhanças com um sistema de código de barras, porém dentre os diversos benefícios de um sistema RFID podem ser listados como principais a identificação à distância, monitoramento contínuo ou intermitente, controle em tempo real, operações em um ambiente hostil, operação com mãos livres e capacidade de armazenamento muito superior às tecnologias de código de barras (GLOVER; BHATT, 2007).

Outra tecnologia similar é o sistema EAS (*Electronic article surveillance*), que é utilizado em lojas para evitar furtos de artigos. Este é baseado em identificadores na forma de pequenas tiras ou rótulos, ou *clips* de plástico duros que dificultam a remoção (ex.: em roupas). Esses somente 1 *bit* de informação, normalmente estando sempre ativados (estado 1), sendo desabilitados (estado 0) no momento da compra por magnetização, evitando que a tira reaja com o campo do leitor. Diferentemente dos identificadores RFID, estes não possuem um processador (GLOVER; BHATT, 2007).

3.1 Histórico

A tecnologia de identificação por rádio frequência surgiu da década de 1930 através da Marinha e do Exército britânico com o objetivo de identificar adequadamente alvos no solo, no mar e no ar. Nos primeiros sistemas, o *transceiver* (interrogador, *transmitter* + *receiver*) era o próprio sistema de radar e o *transponder* (*transmitter* + *responder*) era uma caixa volumosa de tubos com *dials* e interruptores (BHUARTANI; MORADPOUR, 2007).

As primeiras utilizações da identificação por rádio frequência nos anos 1950 eram limitadas geralmente ao exército, laboratórios de pesquisas e grandes empresas comerciais devido ao alto custo e das grandes dimensões dos componentes. Em 1973 foi requisitada a primeira patente americana para um sistema ativo de RFID com memória regravável, no mesmo ano foi recebida uma patente para um sistema passivo que era usado para destravar portas sem a utilização de chaves (BHUARTANI; MORADPOUR, 2007).

Até esse momento somente eram utilizados sistema em Baixa Frequência (LF), de 125 kHz, até que as empresas que comercializavam esses sistemas mudarem para o sistema de Alta Frequência (HF), de 13,56 MHz. A partir dos anos 1980 foram desenvolvidos sistemas de Frequência Ultra Alta (UHF), possibilitando leituras de *transponders* com distâncias superiores a dez metros (BHUARTANI; MORADPOUR, 2007). Grandes sistemas começaram a ser implementados nos anos 1990, principalmente sistemas de cobrança de pedágio eletrônico que ganharam popularidade, a exemplo do sistema Via Fácil, encontrado em pedágios no Brasil.

A partir do final dos anos 1990 as etiquetas passivas UHF passaram obter maior alcance, velocidade e preço atrativo. Assim os sistemas RFID UHF passaram a ser utilizados na cadeia de abastecimento, mas especificamente no rastreamento de paletes e caixas, gerenciamento de armazéns, controle de inventário e de logística (BHUARTANI; MORADPOUR, 2007).

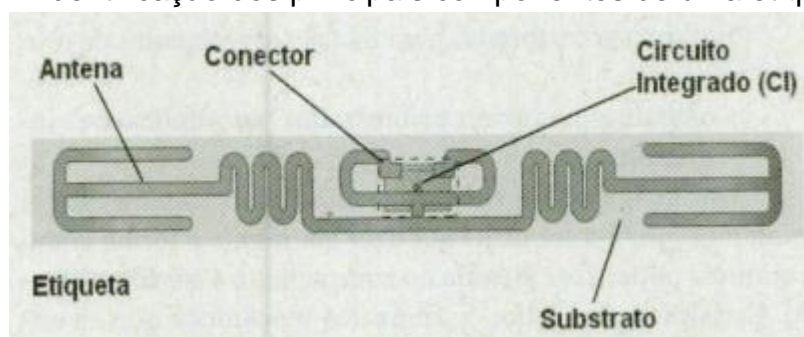
Em 2004 foi formada a organização EPCglobal, que é um órgão internacional que gerencia os padrões de códigos eletrônicos de produtos, chamado EPC (*Electronic Product Code*) que se tornou um padrão para todas as identificações automáticas em toda a cadeia de suprimentos. Com o EPC foi estabelecido uma exigência global para a implementação de sistemas RFID permitindo a expansão dessa tecnologia em diversos itens da cadeia de suprimentos (BHUARTANI; MORADPOUR, 2007).

3.2 Identificadores (tags)

A *tag*, identificador, ou *transponder*, contém dados que são transmitidos ao leitor no momento em que é interrogada. Seu propósito é anexar fisicamente dados sobre o objeto identificado (HESSEL et al., 2009).

Toda etiqueta é constituída essencialmente de um circuito integrado conectado a uma antena, e um *chip* de memória que pode ser: somente leitura (RO), uma gravação/várias leituras (WORM) ou leitura/gravação (RW). Quanto mais sofisticada a *tag*, maior o seu custo, no entanto já existem *tags* UHF RW com valores ao redor de R\$ 0,60 (HESSEL et al., 2009). A Figura 1 ilustra uma etiqueta UHF.

Figura 1 – Identificação dos principais componentes de uma etiqueta UHF



Fonte: HESSEL et al. (2009)

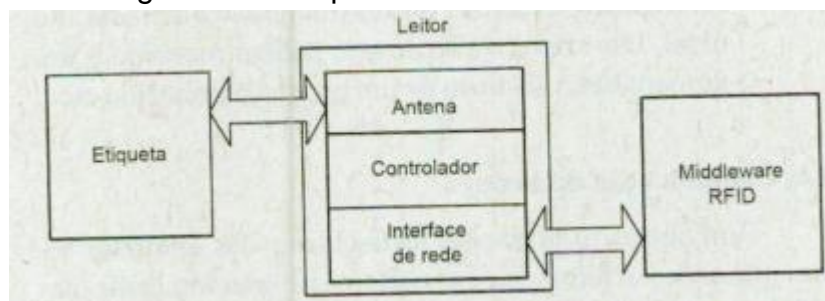
As etiquetas também são classificadas de acordo com sua fonte de energia:

- “-passiva: não possuem bateria interna, precisando estar na presença do campo eletromagnético do leitor para serem alimentadas e lidas. Seu alcance é limitado pela potência que pode receber das ondas eletromagnéticas do leitor;
- semi-passiva: são híbridas das etiquetas ativas e passivas, possuindo bateria cuja energia somente é usada para responder ao interrogador com um sinal mais forte, conseguindo transmitir mais dados a distâncias maiores;
- ativas: possuem transmissor e bateria. São utilizadas em soluções mais complexas, podem tomar iniciativa de começar uma comunicação com um leitor, para gerar um alarme, ou enviar informações sobre *status*, temperatura, e serem integradas com GPS para localizar com exatidão um item” (HESSEL et al., 2009).

3.3 Leitor e antena

O leitor é o equipamento de rádio responsável por enviar os sinais de rádio às etiquetas, receber a resposta da etiqueta e enviar os dados a um computador. A maioria também pode fazer a gravação do ID da *tag*. A Figura 2 mostra como o leitor interage com os componentes RFID:

Figura 2 – Componentes físicos de um leitor



Fonte: HESSEL et al. (2009)

Cada leitor apresenta uma interface de programação (API) para que as aplicações consultem as *tags* sendo lidas, monitorem a situação do leitor ou realizem ajustes na sua configuração de funcionamento (GLOVER e BHAR, 2007).

Para especificação do leitor, segundo Hessel et al. (2009), deve-se atentar aos seguintes dados que normalmente são informados pelos fabricantes:

- frequência de operação;
- protocolos suportados;
- potência de saída das antenas;
- número de antenas que pode ser utilizado;
- configuração de *software*;
- atualizações disponíveis.

O leitor comunica-se com as *tags* através de suas antenas. Trata-se de um dispositivo separado fisicamente, ligado ao leitor em suas portas, através de cabos. Geralmente um leitor suporta de quatro a oito antenas. Antenas são geralmente caixas quadradas ou retangulares com tamanhos e características variadas, dentre elas, o tipo de polarização como, por exemplo, linear ou circular.

3.4 Frequência e protocolo

A classificação de frequência é uma característica fundamental quando se trabalha com a tecnologia RFID. Além de serem controladas pelo governo para que não interfiram com outras aplicações (GLOVER; BHATT, 2007), a escolha da frequência de trabalho influencia diretamente no desempenho da aplicação, regulando precisão, alcance e velocidade de leitura, susceptibilidade a interferências, etc. Frequências mais baixas, por exemplo, são mais capazes de viajar sobre a água, enquanto frequências mais altas podem carregar mais informações (GLOVER; BHATT, 2007). As faixas mais comuns são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Faixa de leitura por frequência

Frequência	Faixa máxima típica para identificadores passivos	Algumas aplicações típicas	Banda
LF	5 centímetros	Identificação de animais de estimação e leituras próximas de itens com alto conteúdo de água	125 KHz 134 KHz
HF	3 metros	Controle de acesso a prédios	13,56 MHz
UHF	9 metros	Caixas e caixotes	860 MHz 960 MHz
Microondas	> 10 metros	Identificação de veículos de todos os tipos	2,45 GHz 5,8 GHz

Fonte: adaptado de Glover e Bhatt (2007)

3.5 Middleware

A utilização do *hardware* RFID exige um componente lógico de *middleware*. O *middleware* é um *software* que gerencia as informações que são geradas por leitores RFID ou qualquer outra fonte de dados que colete dados do mundo físico, como um sensor de temperatura ou de eventos mecânicos.

Embora a definição de *middleware* seja mais abrangente e genérica, normalmente sua aplicação é específica para um domínio de problema. No caso de

uma plataforma de *middleware* RFID, os objetivos específicos são: 1) desacoplar das aplicações toda a complexidade de interação com a infraestrutura física RFID; e 2) filtrar e dar semântica aos dados RFID lidos do ambiente (HESSEL et al, 2009).

O objetivo 1 se justifica pois, em um sistema RFID, com vários leitores, portais, etc., é necessário interagir com cada um individualmente, demandando implementar os protocolos de comunicação específicos de cada leitor, tratar de detalhes específicos de envio de comandos de leitura/escrita das etiquetas, e gerenciar/monitorar seu funcionamento. Deste modo, a função do *middleware* é desacoplar da aplicação essa responsabilidade, favorecendo a escalabilidade e o reuso de componentes de *software* (HESSEL et al, 2009).

O objetivo 2 se justifica pois integrar leituras automatizadas RFID a processos de negócios geridos por sistemas ERP, WMS, etc., exige que os identificadores RFID sejam filtrados para eventos mais significativos de acordo com a semântica do negócio. Por exemplo, ao invés de enviar um evento dizendo que o ID 134234 foi detectado, o *middleware* poderia informar à aplicação que um carregamento de pneus, do Fornecedor X, foi recebido no portão 5, às 15h (HESSEL et al, 2009).

3.5.1 Padrões de middleware

Quando um sistema RFID é usado para gestão de uma cadeia de suprimento, onde várias empresas necessitam trocar as informações agregadas à identificação do produto, normalmente estas se comunicam através de um conjunto de padrões de *middleware*. O principal padrão são as especificações EPCIS para troca de dados EPC (*Electronic Product Code*) entre diferentes organizações. (HESSEL et al, 2009).

Esses padrões são apenas interfaces, não implementações, que permitem as empresas a troca de dados entre si com o propósito de melhorar a visibilidade dos objetos dentro e fora da organização. Por exemplo, se um distribuidor tem interesse em consultar informações sobre um mercadoria recebida com um EPC, ele pode utilizar o serviço ONS (*Object Naming Service*), da EPCGlobal, o qual traduz uma EPC para um URL (*Uniform Resource Locator*) (semelhante ao serviço de DNS - *Domain Name*

System) que representa um *webservice* no padrão EPCIS responsável por fornecer as informações sobre esta EPC (HESSEL et al, 2009).

No entanto, segundo Carneiro e Martins (2011), esses padrões têm se mostrado insuficientes para confrontar dois grandes desafios: a evolução da concepção tecnológica dos dispositivos móveis, que, cada vez mais, vêm incorporando recursos que, anteriormente, eram providos pelos *middlewares*, e a complexidade das interfaces requeridas para atender à heterogeneidade de componentes de *software* das corporações. A maioria das empresas acaba optando por desenvolver sistemas RFID inteiramente dedicados às suas necessidades, sem a utilização destes padrões.

3.6 Coletor de dados RFID

Um leitor *handheld*, ou coletor de dados, ou coletor móvel, é um leitor RFID portátil. “Apresentam uma grande mobilidade e flexibilidade de uso. O usuário pode trazer o leitor próximo ao objeto de interesse e coletar as informações da etiqueta” (HESSEL et al, 2009). Estes podem possuir embutido em uma mesma placa de circuito impresso o módulo RFID, um GPS, e um leitor de código de barras (HESSEL et al, 2009).

Os requisitos importantes para o leitor *handheld* são tamanho ergonômico e peso, bateria e alcance de leitura suficientes para a aplicação desejada. Outro fator importante é a usabilidade em termos de direção e orientação de leitura das *tags*, o ideal é que o equipamento consiga ler *tags* estando ela em qualquer posição (UKKONEN, SYDANHEIMO, KIVIKOSKI, 2013).

Quanto a distância de leitura, alcances de 0.2 m a 0.7 m são suficientes para controle de inventário de prateleiras, enquanto alcance acima de 1 m são apropriados para identificação de *pallets* (UKKONEN, SYDANHEIMO, KIVIKOSKI, 2013).

A antena de um leitor portátil pode estar localizada dentro ou fora da unidade. Pode ter polarização linear ou circular. Polarização linear exige que a *tag* e a antena do leitor estejam alinhadas no momento da leitura. Esta sensibilidade necessita que a pessoa usando o equipamento movimente-o em diferentes posições para obter leituras.

Este problema pode ser resolvido usando antenas com polarização circular em troca de menor distância de leitura (UKKONEN, SYDANHEIMO, KIVIKOSKI, 2013).

Uma antena circularmente polarizada irá prover taxas de leitura maiores para *tags* orientadas aleatoriamente, mas tipicamente a distâncias menores que antenas lineares (SWEDBERG, 2013). Equipamentos da Motorola utilizam uma combinação de antena com polarização linear e circular, conhecida como *RFID Max antenna* (SWEDBERG, 2013), como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Motorola MC3190-Z



Fonte: MOTOROLA (2013)

4. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

No presente trabalho a solução desenvolvida consiste em um sistema que utiliza a tecnologia RFID para inventário e conferência dos atuais registros de estoque.

Para isso um operador deve ler o código de identificação de itens em estoque através de um equipamento móvel para coleta dos dados. Através de uma IHM (Interface homem máquina) o operador é guiado na execução do inventário, visualiza os itens que já foram lidos, o percentual de leituras em relação à quantidade total, e acessa opções para interagir com a aplicação. A Figura 4 mostra um operador realizando esse procedimento.

Figura 4 – Um funcionário usa um leitor RFID portátil para conferir itens de estoque armazenados no cofre da empresa



Fonte: SWEDBERG (2014)

Quando o operador finaliza o processo de coleta, o coletor então transmite dados ao servidor (por rede *wireless*) onde é realizado o processamento do resultado do inventário através de um segundo *software*, o sistema gerenciador de inventário (SGI), o qual permite a um gerente visualizar os resultados e realizar os ajustes necessários no estoque.

A Tabela 2 sintetiza o fluxo de atividades que ocorre no processo de inventário proposto.

Tabela 2 – Sequência de atividades para execução do inventário

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Portando o coletor de dados, um operador seleciona opção 'importar dados' para baixar do servidor as informações dos produtos que estão em estoque; 2. Operador abre novo inventário no coletor de dados, selecionando itens que serão inventariados (por empresa, categoria, situação,...); 3. Operador, utilizando o coletor de dados, realiza a leitura das <i>tags</i> RFID dos itens sendo inventariados; a IHM do equipamento exibe em tempo real os itens que foram lidos e um percentual de quantos itens já foram lidos em relação à quantidade esperada; 4. Operador seleciona opção para 'finalizar' a coleta de dados; 5. Operador seleciona opção para 'enviar resultados do inventário' para o servidor, de modo a registrar na base principal as resultado obtido; 6. No SIG, um gerente então visualiza um relatório de resultado do inventário: acurácia, comparação entre o estoque real e o registrado no sistema, divergências entre a contagem e a informação do sistema; 7. Gerente realiza o ajuste de inventário. |
|--|

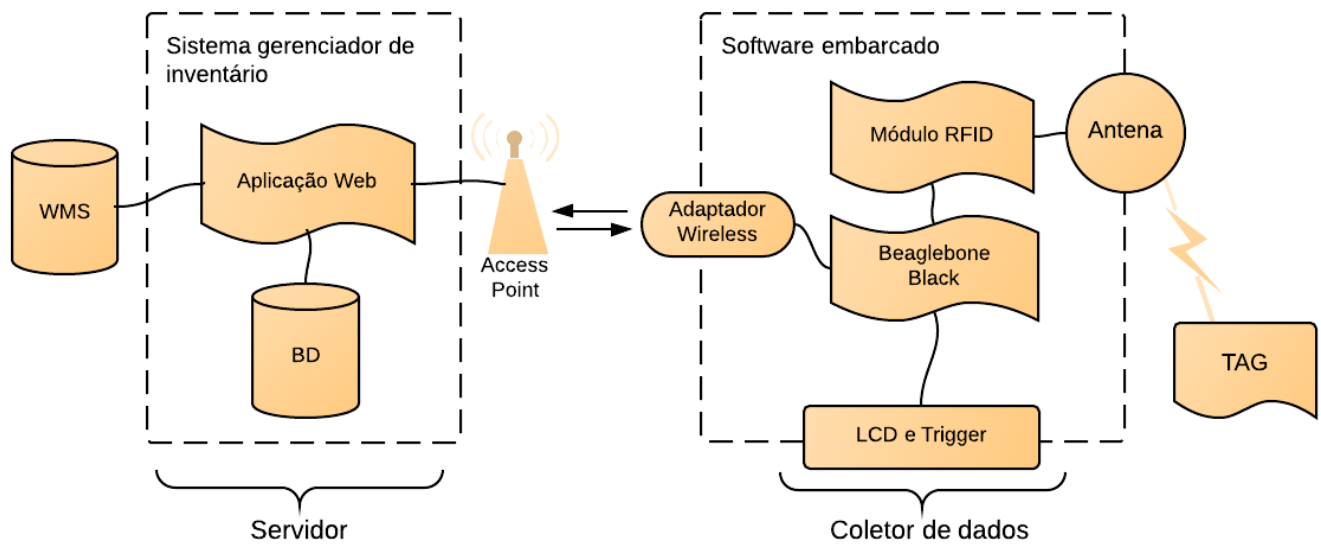
Fonte: autor

Para sua efetiva implementação, esta solução envolve o desenvolvimento de três componentes distintos, e que são denominados assim no restante do trabalho:

- coletor de dados
- software embarcado
- sistema gerenciador de inventário (SGI)

A Figura 5 representa através de um diagrama, os blocos do sistema como um todo, apresentando de maneira simplificada como estes componentes estão dispostos. Em seguida é apresentado o escopo do que será desenvolvido e abordado nas próximas seções.

Figura 5 – Arquitetura do sistema



Fonte: autor

Um computador principal (servidor), localizado na rede interna da empresa, é responsável por hospedar a aplicação Web do SGI. O SGI, além de fornecer uma página de internet para o usuário do sistema acessar com um *browser*, fornece uma interface REST (*Representational State Transfer*) que permite ao coletor de dados sincronizar os dados via rede sem-fio. A integração com os dados de estoque da empresa (sistema WMS) também é responsabilidade do SGI. O banco de dados armazena os dados coletados nos inventários executados.

O coletor de dados é uma parte mais complexa que envolve efetivamente montar o *hardware* do equipamento, configurar o sistema operacional Linux e instalar os pacotes necessários, e desenvolver o *software* embarcado. Este *software* manipula as informações geradas pelos periféricos (*trigger*, módulo RFID e adaptador *wireless*), implementa a aplicação de inventário e apresenta uma interface de usuário (no LCD) para sua utilização. A leitura das etiquetas RFID ocorre através de um módulo RFID conectado a uma antena, emitindo e recebendo sinais de radiofrequência para comunicação com as *tags*.

A comunicação de dados que existe entre o servidor e o coletor de dados é feita por rede sem-fio baseada no protocolo 802.11 que é o protocolo normalmente encontrado nas WLANs de ambientes empresariais. A ideia é aproveitar a infraestrutura

de rede (o *access point*) já existente no ambiente onde o sistema será instalado já que não há preocupação quanto a cobertura do sinal ou quanto a largura de banda de dados disponível. Isso devido ao sistema funcionar mesmo estando *off-line*, somente necessitando estar *on-line* nos momentos que se deseja sincronizar os dados.

Na Seção 4.1 será abordada em detalhes a etapa de desenvolvimento do *hardware*. A Seção 4.2 apresenta o desenvolvimento do *software* embarcado que foi criado para esta plataforma de *hardware*. A Seção 4.3 aborda o desenvolvimento do *software* SGI.

4.1 Protótipo de coletor de dados

O projeto de coletor de dados consiste em efetivamente criar um protótipo de leitor portátil RFID para ser o equipamento de coleta na aplicação de inventário proposta.

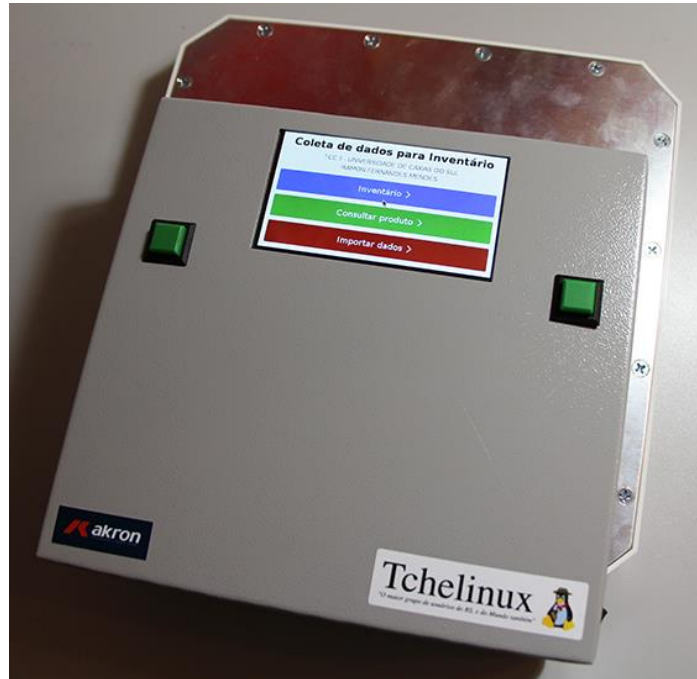
Inicialmente, a ideia de construir um coletor RFID surgiu a partir de outro trabalho de conclusão (BECKERT, 2012) onde foi desenvolvido um coletor de dados baseado em Arduino e na tecnologia RFID HF (baixa-frequência, pouca distância de leitura). Em seguida percebeu-se que seria possível construir um coletor similar, mas com a tecnologia UHF, integrando alguns componentes eletrônicos já existentes que poderiam ser adquiridos pela internet.

Com isso, identificou-se que o *hardware* necessário consiste essencialmente no módulo e antena RFID, e na placa integrada. A placa integrada Beaglebone Black é o componente base do projeto, onde fica armazenado o *software*, e onde são conectados os demais componentes: LCD, módulo RFID, bateria, etc. O desenvolvimento se verificou viável graças à simplicidade de se integrar tais componentes, sem exigir conhecimentos profundos de eletrônica.

O resultado final (Figura 6) é um equipamento portátil, com baterias e comunicação sem-fio. As placas eletrônicas e a fiação ficam dispostas em uma caixa, com a antena sendo fixada externamente à caixa. Possui uma pequena tela LCD, com

touchscreen para permitir a interação com o usuário. Através de dois botões grandes, o usuário, pressionando qualquer um deles, aciona a leitura RFID.

Figura 6 – Protótipo de coletor de dados



Fonte: autor

A ideia é poder apresentá-lo comparativamente ante as opções comerciais. Para isso se levantou a Tabela 3 cruzando as características técnicas que foram obtidas no projeto, contra as características de outros dois equipamentos comerciais.

Tabela 3 – Comparativo entre coletores de dados RFID UHF

	AUTOID6 Series	Motorola MC3090-Z	BeagleBone Black + ThingMagic Micro-LTE
Foto			
Hardware	Marvell Intel XScale PXA3XX 806 Mhz, 128MB RAM/2GB Flash, barcode scanner, LCD 3.5 com touch resistivo (240x320)	IntelXScale PXA270 520 Mhz, 128MB RAM/1GB Flash, barcode scanner, LCD 3 com touch resistivo (320x320)	Cortex A8 ARM 800 MHz 512MB DDR3 2GB Flash
SO	Windows CE 5.0 ou Windows Mobile 6.1	Windows Mobile 6.1	Linux (Debian, Ubuntu, Android, ...)
Conectividade	802.11b/g, Bluetooth 2.0, GPRS, CDMA 800Mhz, USB	802.11a/b/g, RS232, USB (host and client)	802.11a/b/g, USB, Ethernet
Padrão e frequência RFID suportado	ISO 18000-6B ISO 18000-6C EPC Gen 2 902-925Mhz	ISO 18000-6C EPC Gen 2 902-928 MHz	ISO 18000-6B (opcional) ISO 18000-6C EPC Gen 2
Distância	Leitura: ISO-1800-6C: 0-200cm ISO-1800-6B: 0-100cm Gravação: ISO-1800-6C: 0-150cm ISO-1800-6B: 0-70cm		Máxima distância de leitura: aproximadamente 9m com antena de 6 dBi (36 dBm EIRP)
Antena	Potência máxima: <2W 21~30dBm	Potência máxima: 1W	2 antenas monostáticas através de conector U.FL ou por soldagem na PCB Níveis entre -5 dBm a +30 dBm para leitura e escrita
API do reader RFID	.NET	C, .NET, e Java	C, .NET, e Java
Preço	R\$ 4000,00	R\$ 8000,00	R\$ 3167,00

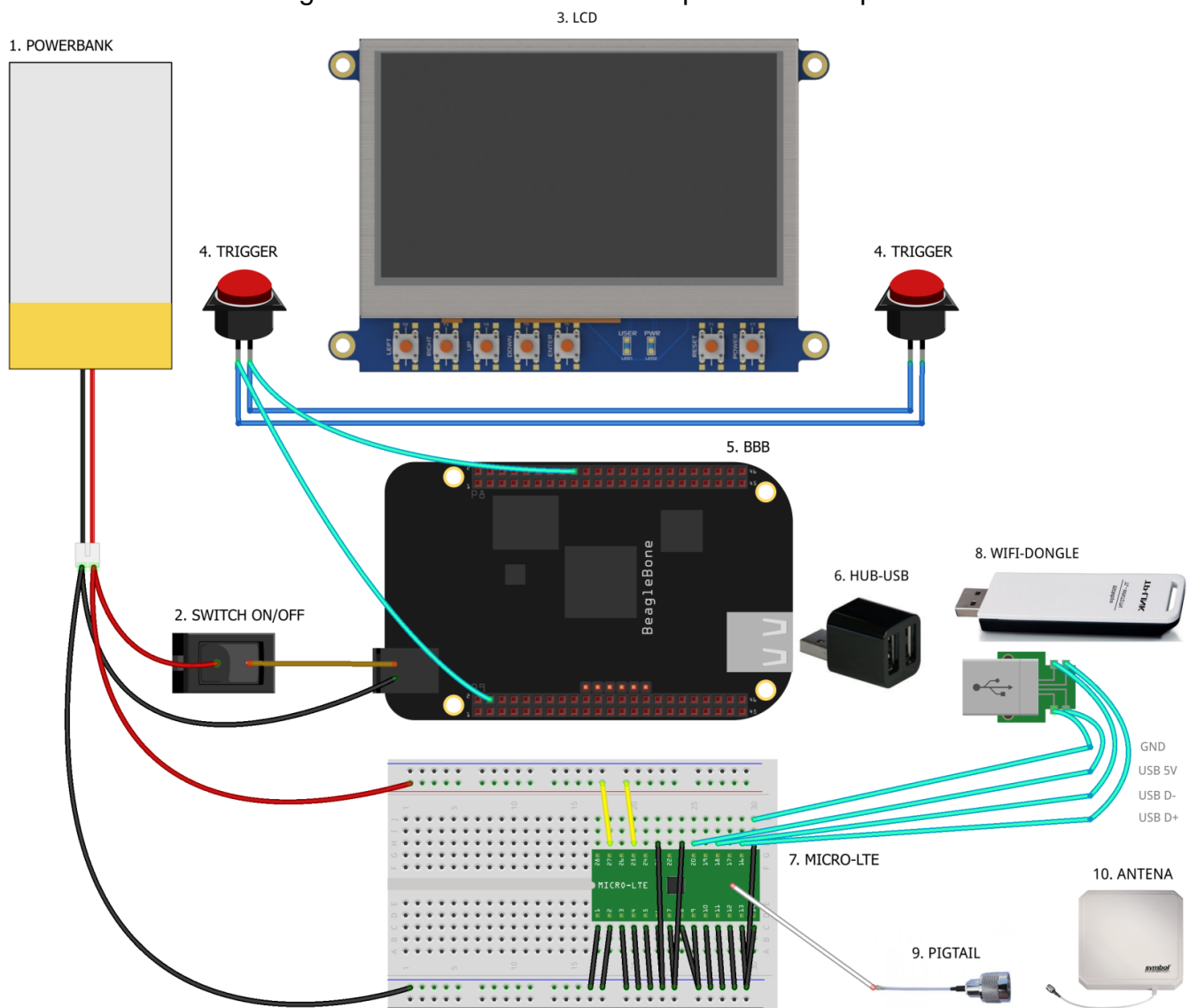
Fonte: autor

Percebe-se que algumas características obtidas no projeto (coluna da direita) são diferenciais ante as opções comerciais: memória RAM (512MB), capacidade de armazenamento (2GB), sistema operacional Linux, e custo (R\$ 3167,00).

4.1.1 Componentes de *hardware*

A implementação do *hardware* consistiu basicamente em integrar vários componentes através de conexões simples. A organização e interconexão destes componentes são ilustradas na Figura 7 juntamente com uma descrição de cada item na lista abaixo. Nas seções seguintes (4.1.2 e 4.1.3) é descrito em detalhes a utilização dos dois principais componentes. O Apêndice B apresenta a medição do consumo de energia destes componentes.

Figura 7 – Coletor de dados: esquema de componentes



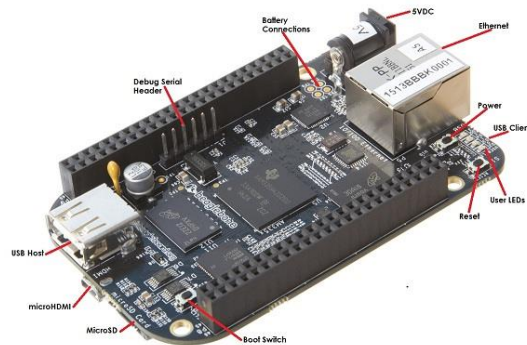
Fonte: autor

1. POWERBANK: para alimentação do sistema utilizou-se uma bateria portátil, conhecida como *powerbank*, normalmente usada para carregar celulares por USB; essa bateria fornece 5V que é a tensão ideal para alimentar os demais componentes; a capacidade nominal é de 10.000 mAh; possui 2 portas USB a quais foram conectados a placa BBB (componente 5) e o módulo RFID (componente 7);
2. SWITCH ON/OFF: botão de liga-desliga para a alimentação do equipamento;
3. LCD: tela de 4 polegadas, resolução de 480x272, com *touchscreen*, onde se visualiza e interage com o ambiente *desktop* do sistema Linux; é um componente encaixado diretamente na placa BBB (componente 5);
4. TRIGGER: 2 botões ligados em paralelo a um porta GPIO (*General Purpose Input/Output*) da placa BBB (componente 5); quando qualquer um desses botões é pressionado, a leitura RFID é ativada;
5. BBB: placa principal Beaglebone Black;
6. HUB-USB: como a placa BBB (componente 5) possui somente 1 porta USB foi adquirido um *hub* USB permitindo conectar 2 dispositivos USB que são os componentes 7 e 8;
7. MICRO-LTE: módulo RFID ThingMagic Micro-LTE; é alimentado por um cabo USB conectado ao *powerbank* (componente 1) e se comunica através de outro cabo USB conectado ao hub USB (componente 6);
8. WIFI-DONGLE: *dongle* TL-WN721N conectado ao hub USB (componente 6) que permite a placa BBB (componente 5) comunicação sem-fio;
9. PIGTAIL: conector U.F.L macho para conector tipo-N fêmea; adaptador necessário para conectar a antena (componente 10) ao módulo RFID (componente 7);
10. ANTENA: antena RFID; foi usada para os testes a antena Motorola AN480.

4.1.2 Placa integrada Beaglebone Black

O componente central do protótipo é a placa integrada Beaglebone Black (Figura 8) responsável pela execução do *software* embarcado e por suportar os demais periféricos. É basicamente um computador portátil, com memória RAM, memória de armazenamento (*flash*), portas USB, ethernet, HDMI e cartão SD.

Figura 8 – Beaglebone Black



Fonte: CIRCUITCO (2013)

No mercado existem diversas opções de placas integradas similares, com processador e entradas e saídas para manipulações genéricas. A escolha da BBB se deu principalmente por ela permitir usar um sistema operacional, diferentemente, por exemplo, da placa Arduino que exige compilar e ‘transferir’ todo o programa que será executado.

Além disso, possui um custo reduzido (US\$ 45), é um componente aberto, possui boa documentação, uma comunidade bastante ativa, e possui uma boa configuração de processamento (800 MHz, 512MB RAM), superior a dos equipamentos comerciais, como já foi apresentado, com capacidade suficiente para executar e exibir em um LCD (*liquid-crystal display*) um ambiente *desktop* Linux.

Esta placa suporta a utilização de *capex*, que são placas específicas para a plataforma encaixadas diretamente em cima da BBB, nas duas barras de pinos. O componente do LCD é uma *cape* que bastou ser conectada, e prontamente, ao se ligar a alimentação da BBB, pode-se visualizar o processo de *boot* do ambiente *desktop* Linux.

Um detalhe interessante é que esta placa não possui bateria que possibilite manter um relógio sempre funcionando, ou seja, sempre que é ligada, a hora e data da placa estão erradas. A solução adota para este problema é discutida na Seção 4.2.3.

4.1.3 Módulo RFID ThingMagic Micro-LTE

Um módulo RFID é um componente eletrônico, normalmente embarcado em um *hardware* maior, ao qual é conectada a antena, e que possui a função de *tranceiver* (modulação/demodulação do sinal e sua transmissão por radiofrequência pela antena, bem como a recepção do mesmo e seu encaminhamento aos leitores), e a função de leitura destes sinais (decodificação do sinal/protocolo da *tags*, e o envio dos dados ao *software* responsável) (FONSECA, 2013).

No projeto será usado o módulo Micro-LTE da fabricante ThingMagic (Figura 9). Este módulo é específico para aplicações embarcadas, principalmente devido ao seu tamanho, conforme as características técnicas na Tabela 4. É o componente mais caro do projeto (R\$ 1900,00) e foi adquirido através da representante no Brasil, a Acura.

Figura 9 – ThingMagic Micro-LTE



Fonte: THINGMAGIC (2013)

Tabela 4 – Módulo RFID ThingMagic Micro-LTE

Tamanho	46 mm de largura x 26 mm de profundidade x 4.0 mm de altura
Distância de leitura	Máxima distância de leitura: aproximadamente 9m com antena de 6 dBi (36 dBm EIRP)
Tensão de alimentação	DC: 3.5 até 5.25 V
Leituras	50 <i>tags</i> por segundo
Comunicação	USB
API	C#, NET, Java, C

Fonte: THINGMAGIC (2013)

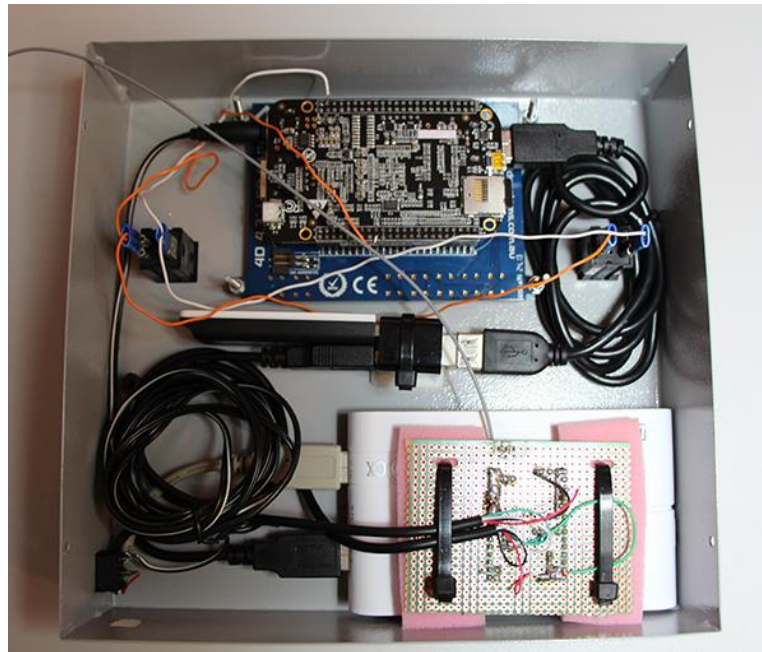
A fabricante fornece um *kit* de desenvolvimento que contém entre outras coisas, um *software* 'demo' que se conecta ao módulo via porta USB e permite testar as leituras e ajustar detalhes do *hardware* como, por exemplo, potência e intervalo de leituras. Para manipular programaticamente o módulo, o *kit* também fornece APIs em diversas linguagens.

4.1.4 Montagem e gabinete

Para obter um equipamento portátil e robusto para poder ser transportado e utilizado por uma pessoa, foi necessário desenvolver um gabinete específico para o projeto. A solução encontrada foi criar uma caixa metálica onde todos os componentes foram acoplados (Figura 10).

Para isso contou-se com a ajuda de um engenheiro da área de automação que foi responsável por modelar a caixa em um software CAD, providenciar o corte a laser, e ajudar na montagem. No software CAD pode-se projetar a caixa com o espaço adequado para dispor internamente os componentes, furos para o LCD, para os 2 botões da *trigger* e para o botão de liga/desliga, e uma tampa com furos para fixar externamente a antena.

Figura 10 – Visão interna da caixa do protótipo de coletor de dados



Fonte: autor

4.1.5 Custo efetivo

O custo total com a aquisição dos materiais foi de R\$ 3167,00, conforme especificado na Tabela 5. Os custos com frete não foram considerados.

Tabela 5 – Materiais e custos

Item	Preço
Beaglebone Black	R\$ 269,00
Cartão microSD de 8GB	R\$ 20,00
WiFi dongle - TL-WN721N	R\$ 39,00
LCD 4.3'	R\$ 220,00
ThingMagic Micro-LTE	R\$ 1900,00
Motorola AN480	R\$ 489,00
Caixa	R\$ 50,00
Powerbank	R\$ 80,00
Demais materiais	R\$ 100,00
Total	R\$ 3167,00

Fonte: autor

4.2 Software embarcado

O *software* embarcado é a aplicação no coletor de dados com as funções de:

-manipular o módulo RFID através de sua API para obter as leituras das *tags*;

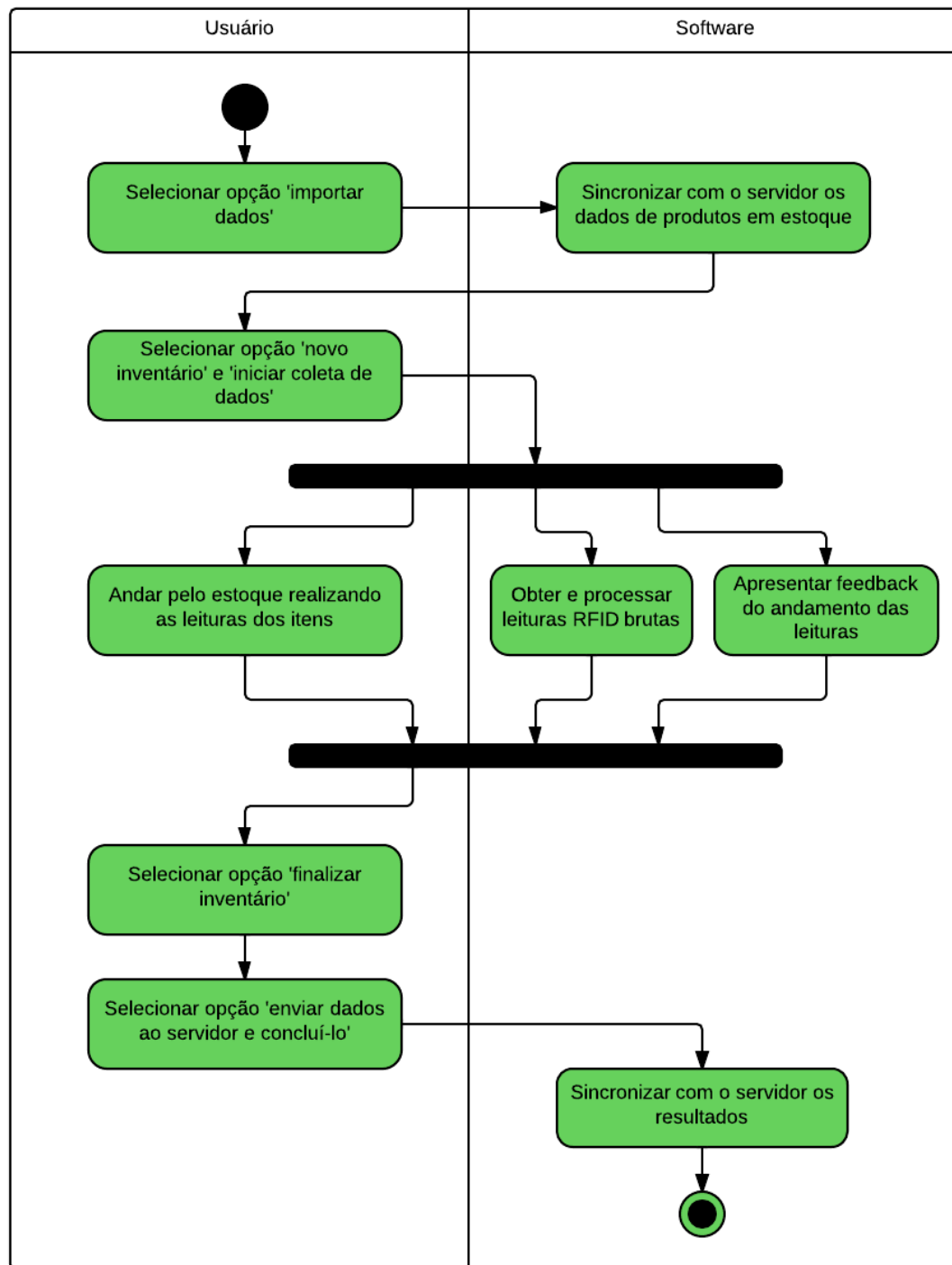
-lógica principal da aplicação que é a operação de inventário e a manipulação e comunicação dos dados;

-fornecer uma interface para suprir as necessidades específicas do usuário final, apresentando uma interface gráfica que o usuário terá para gerenciar e visualizar os dados de maneira amigável.

Do ponto de vista do usuário, o *software* do coletor deve permiti-lo cumprir sua tarefa de executar o inventário da forma mais rápida e direta possível. Além disso, devido ao *hardware* do coletor ter a limitação de não possuir um teclado ou botões de navegação como ocorre nos coletores comerciais, um dos requisitos consistiu em exigir o mínimo de interação com o usuário.

Com isso se criou uma interface Web que possui somente botões, os quais o usuário ativa apertando com uma caneta na tela *touch* do LCD. Em nenhum momento é exigida a digitação de texto. A utilização deste *software* consiste em uma sequência de atividades, como apresentadas da Figura 11, dividida em duas raias, usuário e *software*, que são os agentes deste processo.

Figura 11 – Diagrama de atividades: usuário e software

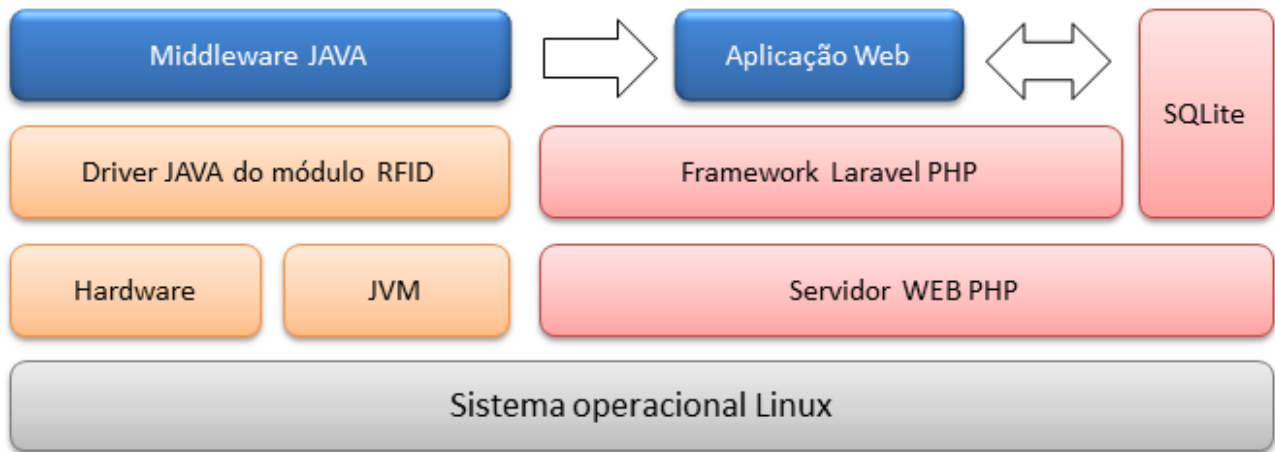


Fonte: autor

4.2.1 Arquitetura de software

A Figura 12 apresenta um diagrama com as ferramentas usadas, além disso, abaixo tem-se uma lista com maiores detalhes.

Figura 12 – Arquitetura do software embarcado



Fonte: autor

-Sistema operacional Linux: utilizou-se a distribuição Debian; o desenvolvimento na plataforma Linux é bastante flexível pois permitiu instalar as diversas ferramentas de programação e demais *softwares* necessários;

-Hardware: o *hardware* que o *middleware* manipula são: GPIO (para identificar quando a *trigger* é pressionada) e o módulo RFID (leituras das *tags*);

-JVM: máquina virtual JAVA que executa o *bytecode* dos componentes acima;

-Driver JAVA do módulo RFID: *driver* (fornecido no SDK) que fornece uma interface de alto nível (orientada a objetos) para um cliente manipular o módulo RFID;

-Middleware JAVA: o componente de *middleware* que foi desenvolvido em JAVA; este obtém as leituras RFID e transmite estes dados por IPC (*Inter-Process Communication*) no formato JSON (*JavaScript Object Notation*) para a Aplicação WEB;

-Servidor WEB PHP: máquina virtual PHP iniciada com um servidor WEB (similar ao Apache) já incorporado (inicializada com a linha de comando: `php -S localhost:8000`);

-Framework Laravel PHP: biblioteca de suporte para o desenvolvimento Web baseada no modelo MVC (*Model-view-controller*) com diversos recursos que agilizam o desenvolvimento;

- SQLite: banco de dados provido através da extensão 'php5-sqlite' do PHP;

- Aplicação WEB: o componente principal desenvolvido para aplicação de inventário;

Em destaque na Figura 12 estão identificados os dois componentes que realmente foram programados. O componente de *middleware* necessitou ser desenvolvido em JAVA pois o *driver* do módulo RFID fornece a API nesta linguagem. Para a interface de usuário se optou usar tecnologia Web (HTML, CSS, Javascript) pela praticidade e familiaridade em se programar nesse ambiente.

4.2.2 Organização e persistência dos dados

No desenvolvimento do projeto, concebeu-se toda a estrutura de banco de dados se imaginando modelar o ambiente de dados reais de uma empresa que mantém os registros dos produtos em estoque, estes identificados por *tags* RFID. Também foram identificados quais os dados resultantes do processo de inventário que deveriam ser armazenados. O modelo de dados escolhido foi o modelo relacional.

Os dados envolvidos nesse sistema são:

- os registros dos produtos controlados por *tags* RFID

- os dados resultantes dos inventários executados

O registro de cada produto é armazenado em uma tabela 'Produto' a qual possui o campo 'tag' com o valor EPC da *tag* RFID que está fisicamente anexada ao produto. A tabela 'Produto' não possui mais características do produto pois estas provavelmente serão comuns a outros produtos, e por isso foram colocadas em tabelas separadas. A tabela 'Tipo' organiza os produtos em um tipo específico, como 'Blusa Verde com estampas'. A tabela 'Categoria' serve para agrupar os vários 'Tipos', por exemplo, categoria 'Blusa'.

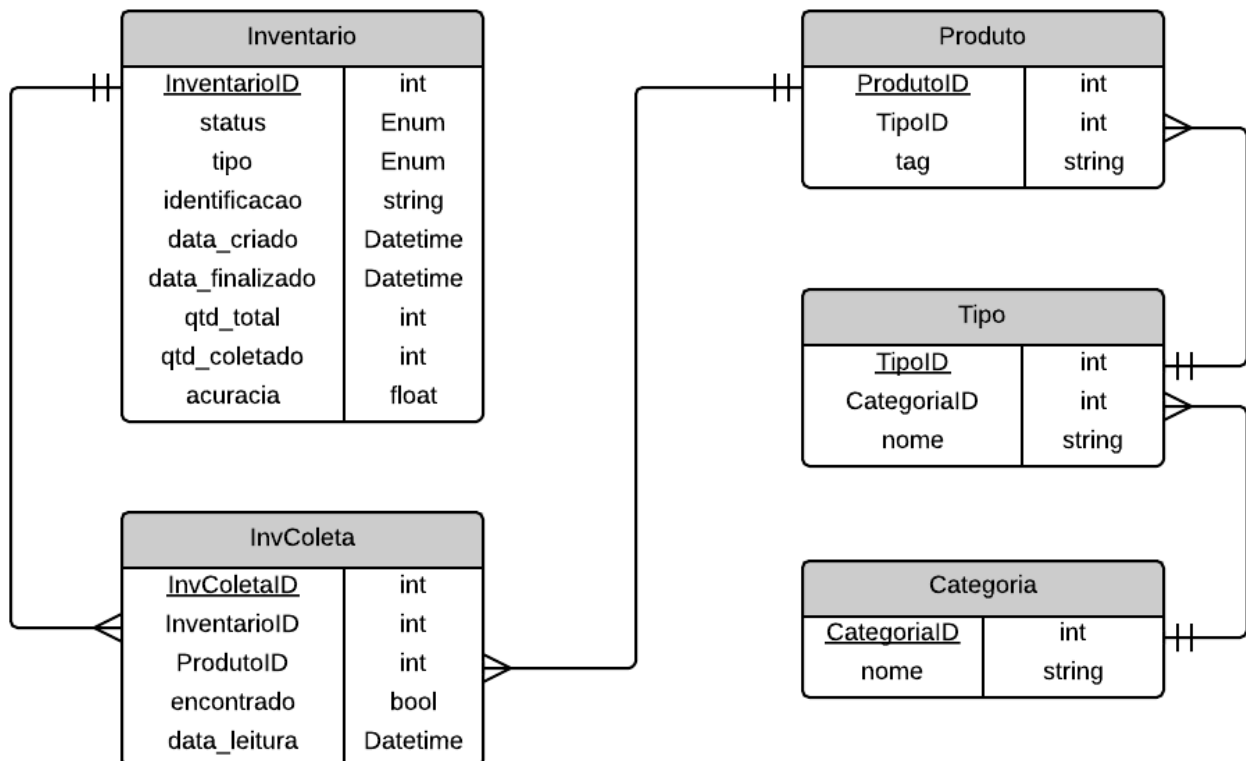
Para cada novo inventário é definido quais produtos espera-se serem encontrados para se obter 100% de acurácia na coleta. Essa listagem de produtos é registrada na tabela 'InvColeta' que relaciona um 'Inventario' a quais produtos devem

ser coletados. Quando a *tag* RFID do produto é lida, o campo 'encontrado' torna-se 'true'. Deste modo sabe-se a quantidade de produtos encontrados e a quantidade de não-encontrados. Finalmente a tabela 'Inventário' registra cada inventário realizado a fim de se manter um histórico.

Com isso percebe-se que um inventário com RFID nunca irá encontrar mais produtos além do que está registrado no banco, algo que poderia acontecer, por exemplo, em uma contagem manual de produtos, ou então em um sistema baseado em código de barras, onde possivelmente poderiam ser identificados mais produtos do que os registrados em estoque.

A Figura 13 provê um diagrama da estrutura exata do banco de dados. Existe uma cópia do banco no coletor de dados, e outra cópia no servidor onde roda o SGI. O banco utilizado no coletor de dados foi o SQLite por ser próprio para aplicações com restrições de memória e processamento. No SGI foi utilizado o SQL Server Express por ser gratuito e ser a escolha normalmente empregada juntamente ao *framework* .Net.

Figura 13 – Diagrama do banco de dados



Fonte: autor

4.2.3 Linux embarcado e configuração

Linux é a denominação do *kernel* onipresente em vários sistemas operacionais, denominadas distribuições. O *kernel* Linux é uma parte relativamente pequena de um sistema Linux completo, mas é a peça principal, responsável por gerenciar o *hardware*, executar programas de usuário, manter a segurança e integridade do sistema.

Devido a sua flexibilidade e sua licença de uso, além do ambiente *desktop*, o Linux é também utilizado em dispositivos móveis e embarcados. Para estes dispositivos o *kernel* é o mesmo, apenas necessitando a sua compilação para a determinada arquitetura que será utilizada. A combinação de *software* e *hardware* com finalidade específica é denominada sistema embarcado (GIRIO, 2010 apud RODRIGUES, 2012).

Para um sistema embarcado com restrições de memória, processamento e consumo de energia, existem distribuições específicas denominadas “Linux embarcado”. Normalmente há uma comunidade de pessoas trabalhando em conjunto para a criação de ferramentas para desenvolvimento e suporte dessas distribuições. Com isso, a distribuição possuirá as características e qualidades do *kernel* mantido pela comunidade, tais como suportes a padrões e protocolos de comunicação, *drivers* e módulos a interfaces e periféricos (RODRIGUES, 2012).

A distribuição Linux utilizada foi Debian que vem instalada de fábrica na placa Beaglebone Black. Para acessar o terminal Linux, basta conectar a BBB a um computador através de um cabo USB e, através de um cliente SSH (*Secure Shell*), conecta-se ao IP 192.168.7.2 (padrão da BBB).

O Debian oferece ao usuário um repositório remoto de aplicações já compiladas para a plataforma de processador sendo utilizada (no caso a plataforma ARM), podendo facilmente instalar pacotes de *software* no sistema local através do comando `'apt-get install nome_do_pacote'`. Além de aplicações, eventualmente é necessário instalar *drivers* de periféricos que não foram reconhecidos.

Para o projeto, basicamente necessitou-se instalar: JAVA, PHP e SQLite. Além destes, o *framework* Laravel PHP depende para seu funcionamento de algumas

extensões do PHP. O SQLite foi instalado através de uma extensão do PHP. Com isso, os seguintes comandos foram utilizados para instalação dos pacotes:

```
apt-get install php5-cli php5-mcrypt php5-json php5-sqlite
apt-get install openjdk-6-jre
```

Todos os periféricos foram automaticamente reconhecidos sem a necessidade de instalar *drivers* adicionais. Ao conectar o módulo RFID da ThingMagic à USB da BBB, este é detectado como o dispositivo `‘/dev/ttyACM0’`:

```
debian@beaglebone:~$ ls /dev/ttyACM0
/dev/ttyACM0
```

Para verificar se o *dongle wireless* TL-WN721N foi detectado depois de conectado a porta USB:

```
debian@beaglebone:~$ ifconfig wlan0
```

Para configurar a conexão *wireless* ao *access point* deve-se, com um editor de texto, editar um arquivo de configuração inserindo o SSID, tipo de segurança (ex.: WPA2) e senha da rede:

```
debian@beaglebone:~$ sudo nano /etc/network/interfaces
```

Devido ao *hardware* da BBB não possuir relógio, a solução para ajustar o relógio do SO foi utilizar o serviço de NTP (*Network Time Protocol*). Este basicamente permite consultar via internet um servidor o qual retorna a hora e data atual. Com isso, sempre na inicialização do sistema, se houver acesso à internet, automaticamente a hora e data são ajustadas. A distribuição Debian já vem com um cliente NTP instalado. No caso de não haver acesso a internet, sempre que é feita a sincronização dos dados (Seção 4.2.5) é também feito o ajuste do relógio.

4.2.4 Middleware

O componente de *middleware* deste projeto é o componente de *software* que manipula os elementos de *hardware*, possuindo a função de detectar quando o usuário

pressiona fisicamente o botão da *trigger*, ativando a leitura do módulo RFID, e disponibilizando os dados recebidos de *tags* lidas para os interessados.

Para detectar o pressionamento da *trigger*, foi necessário aprender como identificar o estado (alto ou baixo) da porta GPIO corresponde ao pino (na placa BBB) ao qual foi conectado a fiação do botão. No SO Linux todos os dispositivos de *hardware* são representados como arquivos no sistema de arquivo. Desta maneira, o estado da porta GPIO utilizada pode ser obtido pelo arquivo `/sys/class/gpio/gpio65/value` que possui o conteúdo 0 ou 1 correspondente.

Com a *trigger* pressionada, o *software* então realiza uma chamada ao módulo RFID que retorna um vetor com as *tags* lidas durante o tempo de leitura (parâmetro da chamada). Estes dados são então convertidos para o formato JSON e transmitidos através de um *pipe* (mecanismo de IPC do SO) para o processo PHP conectado a outra ponta da *pipe*, como pode ser visto pelo código JAVA na Figura 14.

Figura 14 – Trecho de código principal do *middleware*

```
try
{
    // Setup da pipe para IPC
    File f = new File("/home/debian/pipe");
    pipe_os = new FileOutputStream(f); // execução interrompe até cliente conectar

    while(true) // Loop: itera entre botão pressionado/não-pressionado
    {
        // Loop: aguarda o botão da trigger ser pressionado
        while(true)
        {
            pipe_os.write(0);

            if( BtnRead.GetValue() )
                break; // botão foi pressionado!
            Thread.sleep(100);
        }

        MsgTrigger(true); // mensagem ao cliente de botão pressionado

        // Realiza leitura das tags
        while(true) // Loop: lê tags enquanto o botão estiver pressionado
        {
            TagReadData[] tags = reader.read(150); // chama API para ler tags
            for( TagReadData tagReadData : tags )
                MsgTag(tagReadData); // mensagem ao cliente de leitura de tags

            if( BtnRead.GetValue() == false )
                break; // botão foi solto!
        }

        MsgTrigger(false); // mensagem ao cliente de botão não-pressionado
    }
} catch(IOException e) {
```

Fonte: autor

4.2.5 Funcionamento do software

Na Figura 15 é apresentada a sequência de páginas Web que o usuário percorre durante a utilização do *software* e, em seguida, uma lista explicando cada umas das telas numeradas.

Figura 15 – Funcionamento do software embarcado



Fonte: autor

1. Ao iniciar, o SO automaticamente inicia em tela cheia o *browser* Chrome configurado para abrir o endereço da aplicação; a página então mostra um menu de opções;

2. Primeiramente o usuário deve escolher a opção 'Importar dados' para importar do servidor os dados de produto em estoque; além de importar os dados dos produtos, também é importada a hora e data atuais;

3. Após isso, o usuário escolhe a opção de 'Inventário' para começar a coleta RFID; na tela é apresentado em tempo real a descrição dos produtos encontrados e uma barra com o percentual entre a quantidade coletada e o total esperado; ao terminar a coleta o usuário seleciona o botão 'Finalizar';

4. Com a coleta finalizada, é apresentado um menu com opções para o inventário que está em andamento;

5. A primeira opção do menu permite visualizar informações referentes ao que foi obtido na realização inventário;

6. Finalmente, a opção de enviar dados ao servidor envia ao SGI os dados obtidos na coleta e conclui o processo de inventário.

4.3 SGI

O Sistema Gerenciador de Inventário (SGI) é o *software* que roda no servidor e administra um banco de dados para persistência das informações, realizando comunicação com o coletor de dados para sincronização dos dados. Objetiva fornecer as opções gerenciais do sistema, tendo como usuário o gerente ou o responsável desta área na empresa. As seguintes funções foram identificadas como necessidade para este *software*:

-integração com o sistema empresarial: a empresa do estudo de caso já possui em um sistema próprio (ERP, WMS) informações e registros dos produtos em estoque; por isso é necessário desenvolver um método de acesso a estes dados;

-ajuste de inventário: quando o operador encerra a coleta de dados, é através deste *software* que é realizado o ajuste de inventário, isto é, ajustar as quantidades de estoque de cada produto de acordo com a contagem realizada;

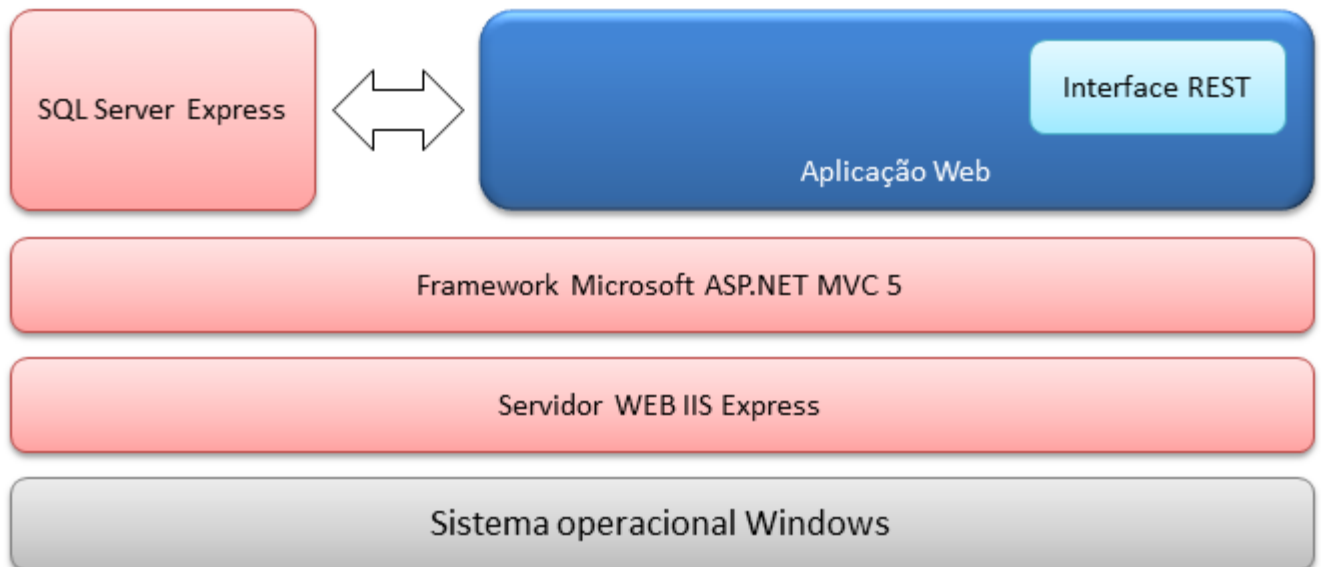
-relatórios: é essencial manter um histórico dos resultados obtidos nas operações de inventário. A partir disto pode-se montar estatísticas como quantidade de operações, média de acurácia, tempo de duração do inventário;

O *frontend* deste *software* é baseado em tecnologia Web (HTML, CSS, Javascript). A biblioteca de suporte usada no desenvolvimento é o *framework* MVC 5, em C# e .Net. O banco de dados é o SQL Server Express da Microsoft.

4.3.1 Arquitetura de software

A Figura 16 apresenta um diagrama com as ferramentas usadas:

Figura 16 – Arquitetura do SGI



Fonte: autor

A Aplicação Web compreende toda a implementação do SGI. Todo o desenvolvimento foi realizado nos moldes estabelecidos pelo *framework* MVC 5. A interface REST, identificada no diagrama, é uma parte da Aplicação Web que fornece ao coletor de dados o meio para sincronizar os dados. Essencialmente, esta interface fornece endereços (URL) que, através do protocolo HTTP, permitem um cliente enviar dados ao servidor (método POST), ou então receber dados fornecidos pelo servidor (método GET). Os dados, nesse caso, estão em formato JSON. A Figura 17 apresenta o código da classe C# que descreve esta interface.

Figura 17 – Classe C# da interface REST para sincronização de dados com o coletor

```

namespace InvManager.Controllers
{
    public class ColetorServiceController : Controller
    {
        private InvManagerContext db = new InvManagerContext();

        //
        // POST: /ColetorService/ReceiveColeta
        // recebe do coletor os dados dos inventários executados
        // e armazena no banco local
        [HttpPost]
        public void ReceiveColeta()...

        //
        // GET: /ColetorService/Stats
        // envia ao coletor estatísticas dos dados que serão
        // enviados (tamanho e quantidade) e a data/hora atuais
        public ActionResult Stats()...

        //
        // GET: /ColetorService/Categorias
        // envia ao coletor os dados da tabela Categoria
        public ActionResult Categorias()...

        //
        // GET: /ColetorService/Tipos
        // envia ao coletor os dados da tabela Tipos
        public ActionResult Tipos()...

        //
        // GET: /ColetorService/Produtos
        // envia ao coletor os dados da tabela Produto
        public ActionResult Produtos()...
    }
}

```

Fonte: autor

4.3.2 Funcionamento do software

A tela inicial (Figura 18) apresenta ao usuário, na parte superior, uma barra com 3 *links*. O primeiro *link* só é visível quando há novos inventários enviados pelo coletor de dados, e que ainda não foram ‘ajustados’.

Portanto, para o usuário, o principal objetivo nesta tela é poder identificar quais produtos estão faltando no estoque (itens faltantes) e opcionalmente ajustar os registros de estoque referente a cada produto ausente.

Figura 20 – SGI: tela de ajuste de inventário

Ajustar inventário

Data e horário: 01/06/2014, 00:00 até 00:00
Duração: 122d

Qtd. total de itens: 7
Qtd. coletada: 3

Acurácia: 42,85 %
Itens faltantes: 4

Identificar inventário:
Inventário do dia 01/07/2014

Concluir e enviar para o histórico

Excluir

Ajuste de estoque para os itens faltantes:

O ajuste de estoque não está completamente implementado. O objetivo aqui é demonstrar as possíveis ações que podem ser tomadas quando são detectados itens que não foram localizados no inventário com o coletor móvel.

Tipo / categoria	TAG	
Blusa VZ50s P / Blusa de inverno	00000000000000004896004896	Ignorar Remover registro do produto em estoque Marcar como presente em estoque
Blusa VZ50s P / Blusa de inverno	330000000000000000000000010	Ignorar

Fonte: autor

Ao apertar o botão de concluir o ajuste, o inventário é adicionado ao histórico e o usuário é levado a uma tela (Figura 21) que apresenta uma listagem de todos os inventários já concluídos.

Figura 21 – SGI: tela de histórico de inventários

Histórico de inventários

Identificação	Data	Duração	Acurácia	Coletado/Total de itens	Itens faltantes
Inventário do dia 01/07/2014	01/06/2014 00:00:00	122d	42,85%	3 / 7	4
Inventário do dia 01/07/2014	01/06/2014 00:00:00	122d	42,85%	3 / 7	4
Inventário do dia 01/07/2014	01/07/2014 00:00:00	92d	50%	10 / 20	10
Inventário do dia 01/07/2014	01/09/2014 00:00:00	30d	50%	10 / 20	10
Inventário do dia 01/07/2014	01/08/2014 00:00:00	61d	50%	10 / 20	10

Fonte: autor

Finalmente, o *link* ‘Relatórios’ permite visualizar os dados do histórico de inventários condensados em forma de estatísticas (Figura 22). As estatísticas no primeiro quadro exibem a contagem de inventários já realizados e a média de acurácia e tempo de duração dos inventários. Os dois outros quadros identificam quais os Tipos e as Categorias de produto que mais possuíram ocorrências de produtos faltantes ao longo de todos os inventários. A coluna ‘Qtd. Inv.’ identifica quantos inventários já foram realizados para o determinado Tipo/Categoria, enquanto que a coluna ‘ Σ de faltas’ é o somatório de quantos registros de produtos do Tipo/Categoria não foram encontrados ao longo destes inventários.

Figura 22 – SGI: tela de relatórios



Fonte: autor

5. ESTUDO DE CASO

O principal objetivo para o estudo de caso consiste em adaptar o sistema para ser utilizado em uma empresa de acordo com suas regras de negócio. Para isso se demonstrou necessário conhecer o processo atual de como a empresa-alvo usa a tecnologia RFID, como realiza o inventário, e apontar os resultados, problemas e melhorias que são obtidos com este novo sistema. De forma paralela, isso também permitiu analisar o comportamento do sistema em um cenário real, possibilitando interações diretas da tecnologia com o usuário final.

Todo o protótipo precisou ser concluído antes da elaboração do estudo de caso, pois seria inviável contatar uma empresa sem ter a ferramenta funcionando e propor como seria desenvolvido o trabalho. No entanto, essa experiência revelou-se positiva por permitir rapidamente desenvolver uma primeira versão do sistema sem a preocupação com as adaptações de *software* necessárias para a integração na empresa.

5.1 Empresa-alvo

O estudo de caso se deu em uma empresa de manufatura de roupas. Contatando-se o responsável da área de TI da empresa, este prontamente autorizou e apoiou o desenvolvimento do estudo que poderia ser aplicado no estoque interno da empresa. Também se disponibilizou em esclarecer as questões de pesquisa e na parte técnica de integração, além de combinar em se manter confidencial o nome da empresa. A contextualização da empresa descrita abaixo foi, portanto, baseada no relato do responsável da TI e no que foi identificado através das visitas à empresa.

A empresa possui todo um complexo fabril para o processo de confecção de peças prontas de roupas, bem como pratica o atacado no mesmo estabelecimento. Há um estoque com 3 andares que, na baixa temporada, quando o volume de vendas é menor, possui 200.000 itens armazenados. No momento da pesquisa, que se deu na alta temporada, possuíam em estoque 30.000 peças.

Cada peça de roupa possui costurada na parte interna uma *tag* RFID que a identifica unicamente. O processo de RFID serve para controlar as movimentações destes itens, desde o momento em que o produto é acabado até a venda. Há 7 portais (leitor/antenas RFID fixos) que detectam e registram a passagem da peça. Estes estão localizados em pontos chaves, como a saída da linha de produção, saída do setor de gravação da *tag*, entrada no estoque, e saída da loja.

A infraestrutura RFID é controlada por um sistema específico que é basicamente um *middleware* que alimenta o sistema ERP. O principal sistema da empresa é um *software* ERP que fornece a gestão integrada de 5 áreas: manufatura, comercial, suprimentos, administração/finanças e gerencial. Para gerenciar o estoque (armazenagem, expedição, localização) não há um sistema WMS específico, no entanto o sistema ERP dispõe de algumas funcionalidades típicas de um WMS, mas que não são usadas por não serem necessárias.

5.2 Processo e problematização

A empresa-alvo enfrenta um desafio enorme de rastrear e localizar com precisão cada peça, e conseqüentemente saber a contagem de estoque, valor que é determinado pelo monitoramento automático de itens que entram e saem pelos portais RFID do estoque. O problema se deve, em parte, pela ineficiência das leituras das *tags*, mas também pela quantidade enorme de produtos que são movimentados diariamente.

O processo inicia com uma ordem de produção contendo o modelo da peça e a quantidade. Ocasionalmente não há fio/matéria-prima suficiente para produção da quantidade de peças solicitada. Depois que as peças saem acabadas da fábrica é feito o registro do número de peças realmente produzidas. A partir desse registro no sistema, a próxima etapa é a anexação das etiquetas RFID que são geradas por uma impressora RFID que grava na *tag* o seu código. Finalmente as peças são dobradas e armazenadas no estoque.

Muitas *tags* são impressas, mas não são anexadas às roupas. No entanto a existência da roupa/*tag* já foi registrada no sistema e não há um controle para excluir

tais registros. Pode ocorrer também de a *tag* estar com defeito, ou então parar de funcionar devido ao manuseio constante da peça.

Falhas ocorrem no momento que as peças passam pelos portais RFID. Normalmente o transporte é feito em carrinho de compras contendo 50 peças. Ao passarem pelo portal, como estão amontoadas e pelo pouco tempo de exposição à área de leitura, algumas *tags* não são lidas.

Outro grande problema encontrado para não leitura da *tag* é devido ao tecido *Luréx* utilizado na confecção de alguns modelos. Este tecido é composto por 10% de metal, e acaba barrando/absorvendo os sinais de radiofrequência. Consequentemente, só é possível registrar a baixa de estoque desses produtos no momento da venda.

A venda por atacado é também fonte de problemas. Cada venda é sempre realizada em grandes quantidades de, no mínimo, 16 peças. O atacadista possui a opção de devolver peças e trocá-las por outras, desde que sejam da mesma coleção. Há situações em que é feita a devolução de 200 peças. Todas as devoluções voltam a ser estocados, mas novamente devido a falhas de leitura das etiquetas ou então por não ter sido feito o registro de devolução no balcão da loja, essas peças não são contabilizadas novamente no estoque. Isso ocasiona uma situação interessante em que a contagem manual de estoque de um determinado modelo é maior do que a quantidade registrada no sistema.

Como se pode perceber, é impossível saber com acurácia as quantidades em estoque através do sistema. O controle de estoque é na verdade realizado pelos próprios funcionários que administram, por exemplo, onde cada peça está localizada no estoque, repõem peças que faltam na loja, avisam para o PCP quando determinado modelo está em falta. É por isso não há necessidade de um WMS para tal controle.

A solução que a empresa adota para ajustar tais registros é realizar o inventário completo do estoque no final do ano. Com isso, o banco de dados é 'limpo' e realimentado com as novas informações obtidas. O inventário é realizado através da leitura das *tags* com um equipamento específico que é um carrinho, com um leitor e

quatro antenas RFID, o qual o operador conduz pelos corredores do estoque e este simplesmente salva os números das *tags* lidas.

Futuramente deverá ser implantada a venda *on-line* de produtos. Com isso, a acuracidade das informações será indispensável para que o *site* somente disponibilize a compra de quantidades realmente estocadas. A ideia prevista é executar um inventário rotativo mensal, de modo que os saldos de estoque sejam ajustados de modo incremental.

5.3 Aplicação na empresa e adequações no software (integração)

Para aplicar o sistema de inventário deste projeto na empresa-alvo, exigiu-se primeiro elaborar um modo de acessar o banco de dados com os registros de produtos e códigos das *tags*. Em seguida, planejar as etapas necessárias para desempenhar com sucesso os testes em campo.

O ERP da empresa é o sistema que mantém as informações de produtos em um banco de dados Oracle 11g. De forma a integrar esses dados ao SGI, foi desenvolvido em C# um módulo que acessa o banco Oracle e importa os dados de produtos para o banco SQLite. Isto foi realizado com bastante antecedência, com o suporte da empresa que esclareceu a estrutura do banco e disponibilizou acesso remoto a um servidor Windows para desenvolvimento e testes. A Figura 23 apresenta a página Web desenvolvida para importar os dados.

Figura 23 – Telas para importação dos registros de estoque

The figure displays two sequential screenshots of a web application interface, connected by a large grey arrow pointing from left to right. Both screenshots have a dark header bar with the text 'SGI', 'Histórico de inventários', 'Relatórios', and 'Importar dados'.

The left screenshot is titled 'Importar dados de estoque'. Below the title, it says 'Procurar produto desejado para importar'. There are two input fields: 'Código' and 'Máscara', separated by a hyphen. Below these fields is a blue button labeled 'Procurar'.

The right screenshot is also titled 'Importar dados de estoque'. It features a green status bar at the top that reads 'Foram encontrados 50 registros.'. Below this, under the heading 'Informações do produto:', there are two more input fields: 'Tipo' with the value 'Blusa' and 'Categoria' with the value 'Coleção 2014'. At the bottom of this section is an orange button labeled 'Importar'.

Fonte: autor

Uma adequação necessária foi em relação à estrutura de tabelas do banco de dados. Conforme apresentado na Seção 4.2.2, os registros de produtos deveriam estar organizados numa relação de CATEGORIA → TIPO → PRODUTO. A organização encontrada nos dados da empresa se dá numa relação incompatível de FAMILIA (uma das 4 marcas) → GRUPO (ano/coleção) → SUB-GRUPO (tipo/modelo) → PRODUTO. A importação funciona adaptando os dados para a estrutura do SGI. Como se pode ver na Figura 23, manualmente o usuário deve inserir o valor textual para Tipo e Categoria.

Como já foi problematizado, não há confiabilidade nos registros que localizam quais peças estão no estoque e quais estão fora. Além disso, o estoque é enorme, com milhares de peças, e o inventário RFID não é realizado com de coletor de dados devido ao trabalho/tempo que demandaria, mas sim com um equipamento específico.

Portanto, para testar o sistema, decidiu-se não realizar o inventário de todo o estoque, mas sim de um único modelo de peça a fim de detectar discrepâncias de forma isolada, e para que fosse viável executar o procedimento em tempo hábil. Como mostra a Figura 23, a importação de 50 registros é referente a um único tipo de produto. Com o coletor de dados seria então possível verificar a presença ou não desses 50 produtos no estoque.

5.4 Cenários e resultados obtidos

Para validar o funcionamento do sistema no contexto da empresa, se conduziu os testes em campo, sendo estes aplicados em 2 cenários diferentes que objetivaram demonstrar diferentes situações.

5.4.1 Cenário 1

Escolheu-se no estoque um determinado modelo de roupa e, como as peças de mesmo modelo são guardadas em pilhas próximas, pode-se contar manualmente a quantidade encontrada. Através do código impresso na etiqueta de uma das peças, se importou no SGI todos os registros de peças do modelo. Finalmente, com o coletor de dados, se efetuou a leitura RFID da pilha de roupas que foram mantidas armazenadas em seu local normal de estocagem, de modo a simular uma operação de inventário nesta pequena amostra. O resultado obtido é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Cenário 1

Contagem manual de peças em estoque	47
Registros de peças importados	60
Peças lidas com o coletor de dados	47
Peças não lidas com o coletor de dados	0
Registros de peças não encontradas	13

Fonte: autor

O resultado demonstrou que a leitura das 47 peças estocadas foi realizada com sucesso. Das 60 peças registradas no sistema, 13 não se localizavam no estoque, ou seja, estão localizadas em outro local da empresa ou então já foram vendidas.

5.4.2 Cenário 2

O Cenário 2 é similar ao Cenário 1, com a diferença de o modelo de roupa escolhido ser fabricado com tecido *Luróx* que pode bloquear a leitura da *tag*. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Cenário 2

Contagem manual de peças em estoque	80
Registros de peças importados	120
Peças lidas com o coletor de dados	0
Peças não lidas com o coletor de dados	80
Registros de peças não encontradas	120

Fonte: autor

O resultado deste cenário revelou a não leitura de todas as 80 *tags*, devido ao tecido *Luróx*, e também porque as roupas são guardadas dobradas e amontoadas em prateleiras dificultando ainda mais a leitura. Retirando uma das peças da pilha e expondo sua etiqueta com a *tag* RFID, foi possível obter a leitura.

5.4.3 Resultados

A partir dos ensaios feitos, pode-se verificar com o Cenário 1 que o dispositivo efetuou a leitura correta das *tags* RFID dos itens inventariados e não ocorreu nenhum erro na comunicação e transmissão de dados entre o coletor e o SGI. A integração aos dados do ERP também se apresentou possível.

A opinião que se formou em consenso com o responsável da TI é de que o sistema deste trabalho teve um ótimo desempenho e aplicação prática. No entanto, se formou uma única observação de que, para as necessidades da empresa, o sistema poderia ser mais simples para realizar o inventário. Seria suficiente simplesmente um coletor que armazenasse com eficiência o maior número de *tags* encontradas, e por fim fizesse a transferência desses dados para serem processados em um servidor, modo o qual a empresa utiliza atualmente para fazer o inventário.

Portanto, para a situação do estudo de caso, não haveria necessidade de usar os recursos que foram propostos no *software* gerencial SGI (ajuste de inventário, histórico, relatórios). O *software* do coletor não necessitaria de uma interface tão aprimorada, podendo ser baseada em caracteres, e poderia-se substituir o LCD por um *display* mais simples, que diminuiria ainda mais o custo do projeto. Para a empresa, executar o inventário com coletor de dados é inviável, principalmente pelo tamanho e altura do estoque, embora o alcance das leituras do coletor (até 6 metros) seja suficiente.

Embora não seja inviável utilizar a coleta de dados para um estoque muito grande, o equipamento desenvolvido no projeto pode ter utilidade em diversas outras situações, inclusive a empresa possui um coletor de dados que é usado para verificações (ver se uma *tag* funciona; encontrar uma *tag*, etc.).

Finalmente, de modo a avaliar o *hardware* deste projeto com algumas medições simples, no Apêndice A estão presentes os testes conduzidos para verificar o desempenho das leituras RFID. Para este trabalho, o resultado obtido de maior relevância é o Teste 3 que comprova a eficiência na leitura simultânea de 10 *tags* a

uma distância de 6 metros, situação essencial para execução de um inventário. Já no Apêndice B foi realizada a medição do consumo de energia.

Quanto aos resultados do *software* embarcado no coletor, a percepção que se obtém ao utilizá-lo é a lentidão ao se navegar pelos menus e páginas, e também no processamento das leituras RFID. Isto se deve provavelmente pelo *software* ser baseado em tecnologia Web e rodar no *browser* Chrome, que demanda bastante recursos do SO.

Como os testes em campo foram feitos com a leitura de poucas peças, não se avaliou o comportamento do sistema sob uma carga maior de dados (milhares de peças em estoque). Para uma próxima versão do sistema, poderia ser criada uma interface mais simples, e o *software* desenvolvido com um conjunto de ferramentas mais ‘leve’, sem a necessidade do ambiente *desktop* no Linux e do LCD para sua exibição. Assim seria mais fácil criar uma solução mais eficiente nas leituras RFID e no tratamento em tempo real de uma grande quantidade de dados, além de diminuir ainda mais o custo.

5.5 Vantagens e desvantagens do sistema

As principais vantagens são as características identificadas como diferenciais neste projeto:

- a interface simples do *software* embarcado provou ser uma boa decisão já que é difícil digitar num equipamento portátil sem teclado, sendo muito mais pratico/cômodo gerenciar as informações em um computador;

- a imediata captura e transmissão de dados: o processo de transferir os dados para o servidor é todo automático (não precisa salvá-los num *pendrive* ou conectar no computador);

- custo: o valor total gasto na aquisição dos materiais para criar o equipamento;

- leitura das *tags*: por utilizar o sistema UHF, foi possível distâncias muitos maiores que nos sistemas de baixa-frequência (tipicamente abaixo de 1m), além de poder ler várias *tags* ao mesmo tempo;

A principal desvantagem se tem em vista de que, embora seja possível sim criar um coletor de dados, é muito mais seguro comprar um aparelho comercial, com garantia, suporte, adequado para ambientes fabris (são robustos e testados para suportar quedas).

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho desenvolveu-se uma arquitetura baseada na tecnologia RFID e um sistema de inventário através da coleta móvel de produtos em estoque. O estudo de caso se deu no intuito de observar e adequar o uso desta arquitetura em um ambiente corporativo.

Os ótimos resultados obtidos com o funcionamento do coletor móvel comprovam que o objetivo de criar/projetar o *hardware* foi atingido com êxito. Com os componentes eletrônicos escolhidos, a implementação se tornou tecnicamente viável. O resultado se deu conforme o esperado, com um equipamento portátil, alimentado por baterias, desempenhando as leituras RFID à distância com tecnologia UHF, e realizando a comunicação de dados por rede *wireless*. Trata-se portanto da implementação real de um equipamento muito próximo as opções comerciais, com menor custo (R\$ 3167,00), que poderia ser aprimorado para se tornar um produto final.

A conclusão obtida com o estudo de caso é de que o projeto não precisava ser tão sofisticado. Percebeu-se que para inventariar um grande estoque, o coletor móvel deve prover agilidade e rapidez na sua operacionalização. A interface de usuário pode ser simples contendo somente opções essenciais, como iniciar e finalizar o inventário. O equipamento não precisaria de um LCD, que poderia ser substituído por um *display* mais barato. O *software* deve ser projetado de modo a suportar a grande quantidade de dados de um inventário de milhares de itens.

O Cenário 2 apresentado no estudo de caso demonstrou que é imprescindível em qualquer aplicação RFID testar a eficiência das leituras de *tags* no ambiente onde serão utilizadas. Em um ambiente real, a leitura da *tag* pode sofrer diversas interferências devido ao material do produto ou à sua disposição quando armazenado.

Não foi possível testar no estudo de caso todos os recursos do SGI. A empresa não realiza ajustes nos registros de estoques. Para obter relatórios realistas da situação na empresa quanto à acuracidade das informações seria necessário executar diversos inventários completos, algo inviável pois demandaria muito tempo.

Em vista do pouco conhecimento das empresas sobre a tecnologia, a experiência prática que propôs este trabalho contribui em apresentar um sistema RFID completo, superando as dificuldades no desenvolvimento, escolhendo os equipamentos adequados, testando e validando a eficiência da solução. Isso é extremamente válido pois, como os custos de equipamento e implementação são altos, não há muito espaço para experiências e tentativas fracassadas, sendo indispensável decisões assertivas.

A arquitetura proposta, baseada em componentes abertos, com a placa Beaglebone e toda a estrutura de programação Linux buscou fomentar a adoção da tecnologia RFID através de ferramentas livres. Todo o código fonte do *software* desenvolvido também é aberto e está disponível em <https://github.com/midiway/TCC-Inventario>.

6.1 Trabalhos futuros

As ideias que surgiram como propostas para trabalhos futuro foram:

- Incorporar todos os componentes eletrônicos necessários para o coletor de dados em uma única PCB (*Printed circuit board*). Jamais um produto eletrônico final deve usar uma placa de desenvolvimento como a BBB, por isso a sugestão de projetar uma placa onde, por exemplo, esteja ‘soldado’ o LCD, o processador, o módulo RFID, um módulo *wireless*, etc.;

- Testar comparativamente outros módulos RFID disponíveis no mercado pois existem opções mais baratas que o módulo da ThingMagic usado no projeto;

- Como foi destacado, uma próxima versão do sistema deve ser capaz de suportar uma grande quantidade de dados, o que necessariamente deve ter o desempenho avaliado com testes de carga. Outra sugestão é desenvolver o software embarcado com alguma tecnologia mais ‘leve’ que o ambiente Web usado no projeto;

- O sistema de inventário poderia abordar questões contábeis como curva ABC e inventário rotativo (por amostra).

REFERÊNCIAS

ALT, Paulo Renato Campos; MARTINS, Petrônio Gracia. **Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais**, 3ª edição, 2009. Minha Biblioteca. Web. 14 October 2013 <<http://online.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502089167>>.

BECKERT, Fábio Adriel. **RASTREAMENTO DA PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA COM RFID USANDO ARDUINO**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Sistema de Informação, Área das Ciências Exatas e da Terra) – UNOESC, Chapecó.

BHUPTANI, Manish; MORADPOUR, Shahram. **RFID: Implementando o Sistema de Identificação por Radiofrequência**. São Paulo: IMAM, 2007.

CARNEIRO, Artur Pinto; MARTINS, Flavius Portella Ribas. Sistema RFID para gerenciamento de cadeia de suprimentos. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, [S. L.], v. 3, n. 2, p.30-35, 1 jan. 2011.

CIRCUITCO. **BeagleBone Black**. Disponível em: <<http://circuitco.com/support/index.php?title=BeagleBoneBlack>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

CHING, Hong Yuh. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada: Supply chain**, 4ª edição, 2010. Minha Biblioteca. Web. 14 October 2013 <<http://online.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522481293>>.

ELATECH. **COLETOR DE DADOS RFID MC319Z MOTOROLA**. Disponível em: <<http://www.elatech.com.br/produto/00257/coletor+de+dados+rfid+mc319z+motorola>>.

FONSECA, Hubert. **ESTUDO COMPARATIVO DE MIDDLEWARES PARA RFID**. Disponível em: <<http://www-di.inf.puc-rio.br/~endler/courses/Mobile/Monografias/07/RFID-MW-HubertFonseca-mono.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2013.

GLOVER, Bill; BHATT, Himanshu. **Fundamentos de RFID: Teoria em Prática**. Jacarezinho: Alta Books, 2007.

GUARNIERI, Patrícia et al. **WMS Warehouse Management System: adaptação proposta para o gerenciamento da logística reversa**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132006000100011&script=sci_arttext>. Acesso em: 20 nov. 2013.

HESSEL, Fabiano et al. (Org.). **Implementando RFID na cadeia de negócios**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

LAUDON, Kenneth C. & LANDON, Jane P. **Sistemas de Informações Gerenciais**. 7 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

MOTOROLA. **AN480 RFID Antenna**. Disponível em: <http://www.motorolasolutions.com/US-EN/Business+Product+and+Services/RFID/RFID+Reader+Antennas/AN480_US-EN>. Acesso em: 10 nov. 2013.

_____. **MC3190-Z**. Disponível em: <<http://www.motorolasolutions.com/US-EN/Business+Product+and+Services/Mobile+Computers/Handheld+Computers/MC3190-Z+Handheld+RFID+Reader>>. Acesso em: 25 out. 2013.

RODRIGUES, Fausto Perez. **SOLUÇÃO DE AUTOMAÇÃO REMOTA UTILIZANDO GNU/LINUX EMBARCADO E O PROTOCOLO ZIGBEE/IEEE802.15.4**. 2012. 98 f. Tese (Doutorado) - Curso de Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2012.

SANTANA, Sandra Regina Matias. **RFID: Identificação por Radio Frequência**. 2005. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/sandra_santana/rfid_01.html>. Acesso em: 22 ago. 2013.

SOARES, R. S. et al. **O impacto da tecnologia de etiqueta inteligente (RFID) na performance de cadeias de suprimentos – Um estudo no Brasil**. Revista Jovens Pesquisadores, Ano V, n. 9, jul./dez. 2008. Disponível em: <<http://www.mackenzie.br/dhtm/seer/index.php/jovenspesquisadores/article/viewFile/820/344>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

SOUZA, Ácio Antonio M. de et al. A Logística na gestão de estoque por meio da Identificação por Rádio Frequência (RFID). In: SEGET – SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2009., 2009, Resende. **Anais...**. Resende: RJ, 2009. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos09/233_233_A_Logistica.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2013.

SWEDBERG, Claire. **Loja realiza contagem de estoque em tempo real**. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/noticias/vision?10935/>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

_____. **Saks garante que milhares de sapatos estejam à venda**. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/noticias/vision?11072/>>. Acesso em: 20 nov. 2013a.

_____. **ODIN Benchmark Study Identifies Top Handheld Performers**. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?7857/3>>. Acesso em: 20 out. 2013b.

_____. **Joalheria italiana reduz tempo de inventário em 96%**. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/noticias/vision?11313/>>. Acesso em: 9 mai. 2014.

THINGMAGIC. **UHF RFID Module Family**. Disponível em: <http://www.thingmagic.com/images/pdfs/ThingMagic_RFIDmodules_brochure_08.13.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

UKKONEN, L.; SYDANHEIMO, L.; KIVIKOSKI, M.. **Read Range Performance Comparison of Compact Reader Antennas for a Handheld UHF RFID Reader**. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&arnumber=4143512&url=http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4143512>. Acesso em: 20 out. 2013.

VALID. **Referência de produtos.** Disponível em:
<<http://www.valid.com.br/en/node/1838>>. Acesso em: 18 mar. 2014.

APÊNDICE A – TESTES DE DESEMPENHO DO LEITOR

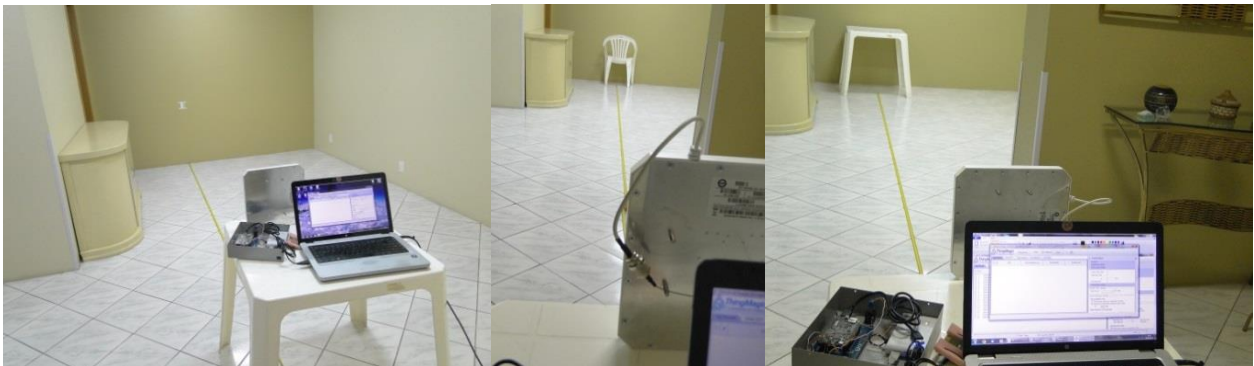
Para avaliar o desempenho de leitura do equipamento, considerou-se que este se deve principalmente pela relação entre *tag*, antena e leitor, e não ao coletor em si, sendo que para os testes, o módulo RFID foi conectado diretamente à USB de um computador com sistema operacional Windows de modo a poder usar o *software* ‘demo’ da fabricante que permite acompanhar as leituras de modo mais eficiente.

Os testes e valores obtidos possuem caráter acadêmico pois foram concebidos com a pouca experiência e conhecimento que o autor possui na área, mas servem para mostrar medidas reais de desempenho.

O programa ‘UniversalReaderAssistant’ disponibilizado pela fabricante serve para acompanhar em tempo real as leituras. As principais colunas de informações reportadas (Figura 25) são: EPC (ID da *tag*), *ReadCount* (quantas vezes a *tag* respondeu ao leitor durante a sessão de leitura) e RSSI (uma medida de potência da resposta da *tag*).

Foi usado um único modelo de *tag* (Valid vlid-6819) que é apropriado para aplicação em roupas (VALID, 2014). A obtenção dos resultados foi organizada em 3 testes diferentes, variando o local e quantidade da *tag* (Figura 24). Uma trena métrica foi colocada no chão entre o leitor e a *tag* para medir a distância. O leitor/antena foram mantidos fixos em uma mesa. Pelo programa ‘UniversalReaderAssistant’ então se ativou a leitura por 30 segundos, e cada resultado salvo com um *screenshot* da tela.

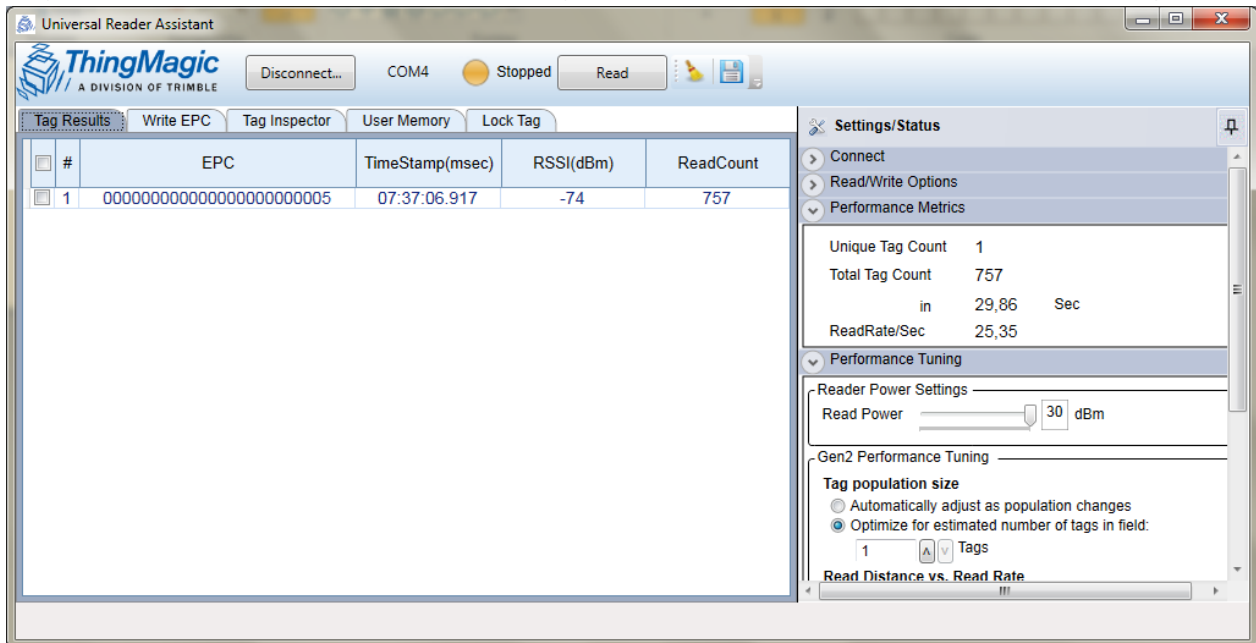
Figura 24 – Fotos dos testes 1, 2 e 3, respectivamente



Fonte: autor

-Teste 1: realizado com uma única *tag* fixada na parede. Nesta primeira experiência percebeu-se dificuldade na leitura da *tag* pois foi necessário aproximar o leitor/antena à parede, numa distância de 5m, e alinhar corretamente a antena à *tag*. Isto revela que a proximidade da *tag* com a parede, ou então devido a absorção do sinal de radiofrequência pelo concreto, dificultam a leitura;

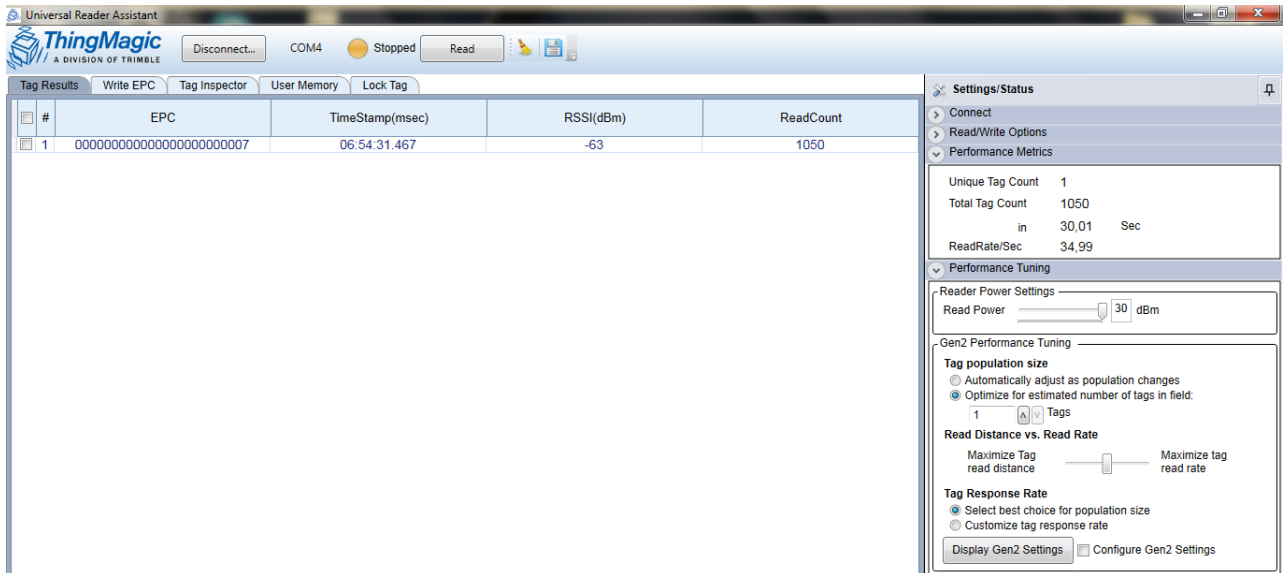
Figura 25 – Teste 1: Leitura de uma *tag* fixada no concreto á 5 metros por 30 segundos



Fonte: autor

-Teste 2: para esse teste, uma única *tag* foi colocada em uma cadeira de PVC, material menos propenso a interferências do que a parede do Teste 1. Nesse caso se conseguiu realizar a leitura a 7 metros de distância, sendo que não se pode aumentar a distância pois não havia mais espaço na sala. Percebe-se na Figura 26 que, mesmo a uma distância maior, os resultados foram superiores ao Teste 1 em quantidade de leituras (1050) e potência de retorno RSSI (-63dBm);

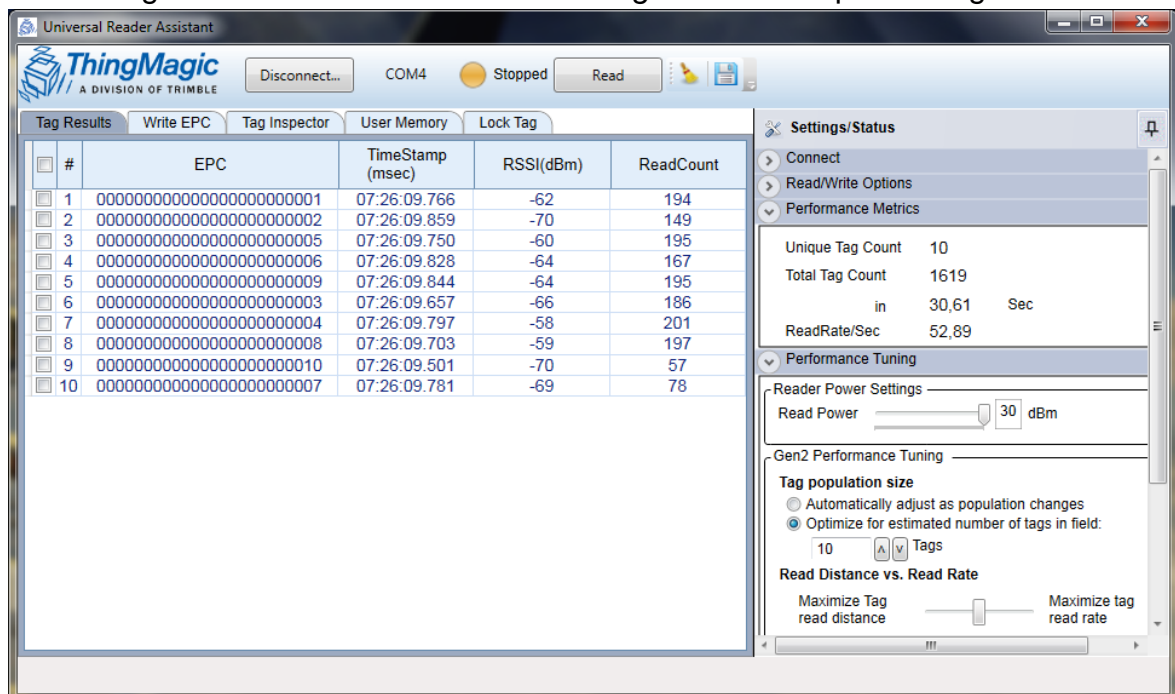
Figura 26 – Teste 2: Leitura de uma *tag* fixada em PVC á 7 metros por 30 segundos



Fonte: autor

-Teste 3: outro teste realizado foi quanto ao desempenho com a leitura de várias *tags* simultaneamente. Neste caso foi realizada a leitura simultânea de 10 *tags*, à distância de 6 metros, dispostas horizontalmente sobre uma mesa de PVC. A Figura 27 comprova o bom resultado obtido.

Figura 27 – Teste 3: Leitura de 10 *tags* á 6 metros por 30 segundos



Fonte: autor

APÊNDICE B – CONSUMO DE ENERGIA

Uma característica de desempenho importante que se identificou para avaliar o coletor de dados é o consumo de energia dos componentes elétricos, que é algo determinante para a duração da bateria. A avaliação se baseou na medição da corrente elétrica consumida.

Para medir o consumo de energia utilizou-se um multímetro ligado em série no cabo de alimentação dos 2 componentes conectados a bateria, de modo a medir a corrente em amperes. Os valores apresentados são uma média dos valores obtidos no multímetro (Figura 28 e Figura 29).

A medição foi realizada em duas situações: com a *trigger* de leitura RFID pressionada (momento de maior consumo), e sem o pressionamento da *trigger* (menor consumo, situação em que o equipamento é mantido na maior parte do tempo). Importante ressaltar que o brilho do LCD foi configurado em 30%, que é o valor mínimo que oferece uma luminosidade suficiente. Conforme se verificou, com 100% de brilho o consumo é de 690mA (um acréscimo de 210mA). Já a potência do leitor foi configurada em seu valor máximo.

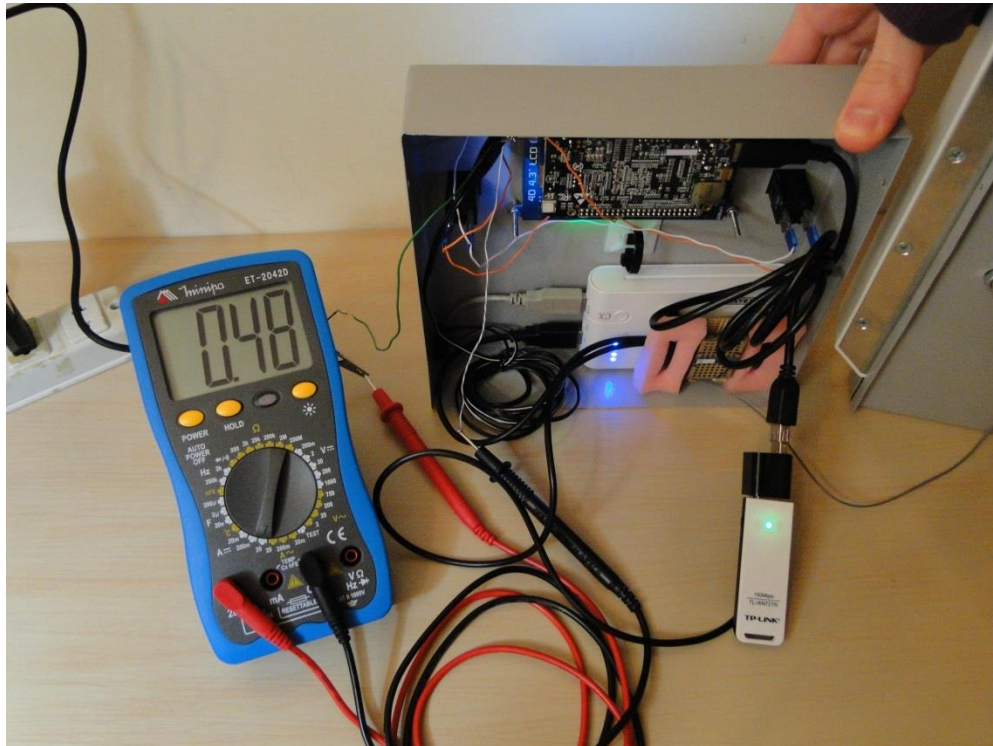
Os resultados obtidos foram:

Tabela 8 – Consumo elétrico

	Trigger não pressionada	Trigger pressionada
Módulo RFID Micro-LTE	≈70mA	≈960mA
Beaglebone Black	≈480mA	≈480mA
Total	≈550mA	≈1440mA

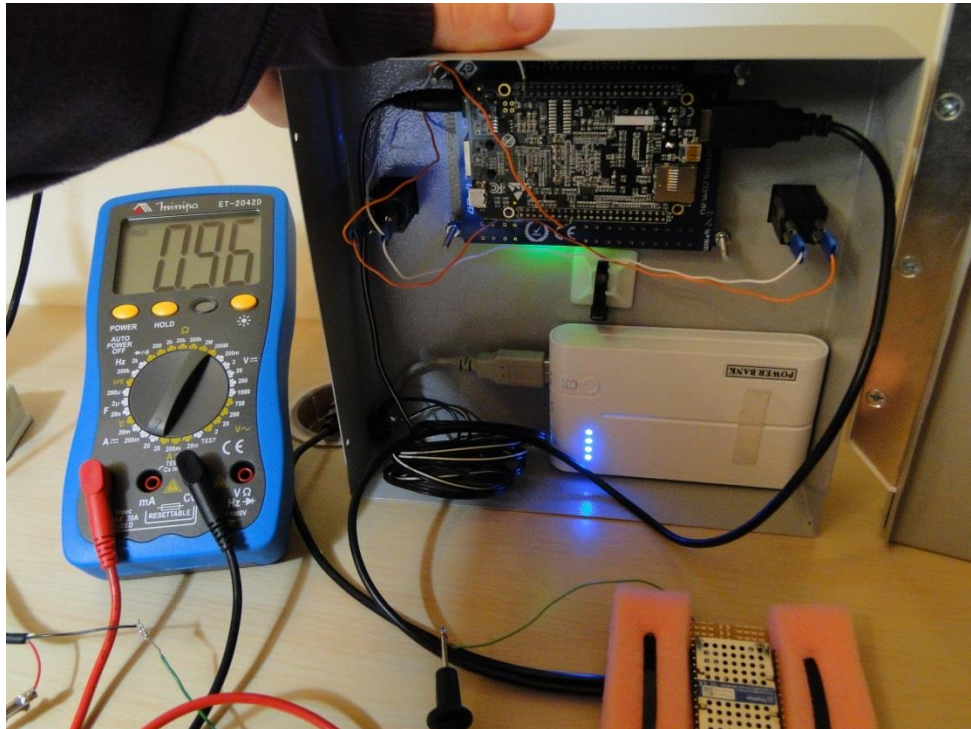
Fonte: autor

Figura 28 – Consumo da placa BBB (480mA)



Fonte: autor

Figura 29 – Consumo do módulo RFID ao ativar a leitura (960mA)



Fonte: autor