

2. Fundamentação Teórica

Este capítulo tem como objetivo apresentar a fundamentação teórica dos principais conceitos necessários para o alcance dos objetivos deste trabalho. Primeiramente são apresentadas definições dos principais elementos da tecnologia RFID. Em seguida, o capítulo descreve as vantagens e desvantagens desta tecnologia e apresenta uma comparação com a tecnologia existente, o código de barras. Por último, serão apresentados casos em que a identificação por rádio frequência foi implementada com sucesso.

2.1. Tecnologia RFID

Tajima (2007) define o RFID como uma tecnologia automática (Auto-ID) que identifica itens e reúne dados sem intervenção humana. O RFID é uma tecnologia sem fio que permite transmissão de informação sem a conexão física ou linha de visão que é exigido por meios óticos, tais como os códigos de barras. Miller (2000) cita que a tecnologia RFID consiste num sistema como um todo, e não num produto isolado. Esse sistema utiliza espectros eletromagnéticos para transmitir informações sem contato e sem linha de visão. A EAN Brasil (2011) (*European Article Number*) explica que a tecnologia RFID utiliza ondas eletromagnéticas (sinais de rádio) para transmitir dados armazenados em um micro-circuito (*microchip*), que por sua vez pode trabalhar com altas ou baixas frequências. O RFID também pode ser definido como uma tecnologia de identificação que utiliza a rádio frequência para o intercâmbio de dados. Esta tecnologia permite remotamente realizar o armazenamento e a recuperação de informações usando um dispositivo denominado de etiqueta de rádio identificação. Este dispositivo é um pequeno objeto que pode ser afixado ou incorporado em um produto, bem ou até mesmo num ser vivo (Roberts, 2006). Já Trappey *et al.* (2010), definem o RFID como uma tecnologia de identificação automática e sem fios para captura de informações.

Wang *et al.* (2010) comentam que a identificação por rádio frequência é uma das inovações tecnológicas mais promissoras, com potencial para aumentar a visibilidade da cadeia de suprimentos e melhorar a eficiência do processo.

Roberts (2006) cita que um dos primeiros trabalhos a explorar o RFID foi um documento criado por Harry Stockman, “*Communication by Means of Reflected Power*” em 1948. Conforme a síntese apresentada na Tabela 1, a tecnologia RFID foi desenvolvida durante a segunda Guerra Mundial junto da tecnologia de radar. O objetivo do estudo era a elaboração de um sistema de longo alcance que efetuasse a identificação e evitasse os ataques de aliados contra aliados, ou inimigo contra inimigo durante o combate (Nascimento, 2005; Ngai *et al.*, 2008). Na década de 50 houve uma exploração teórica da tecnologia RFID com o desenvolvimento de pesquisas e técnicas pioneiras (Roberts, 2006). Entretanto, a tecnologia era limitada ao uso do exército (Hessel *et al.*, 2009).

Tabela 1 – Síntese da evolução histórica da tecnologia RFID

Década	Evento
1940-1950	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborado um dos primeiros trabalhos a explorar o RFID (Roberts, 2006); • Desenvolvimento da tecnologia RFID durante a II Guerra Mundial (Nascimento, 2005 e Ngai <i>et al.</i>, 2008);
1950-1960	<ul style="list-style-type: none"> • Primeiras explorações da tecnologia RFID, laboratórios e experimentos (Roberts, 2006 e Hessel <i>et al.</i>, 2009);
1960-1970	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento da teoria do RFID (Roberts, 2006); • Empresas como <i>Sensormatic</i> e <i>Checkpoint Systems</i> introduziram novos usos de RFID (Hessel <i>et al.</i>, 2009); • Início dos primeiros projetos pilotos nas organizações (Roberts, 2006);
1970-1980	<ul style="list-style-type: none"> • Mario W. Cardullo requisitou a primeira patente americana para um sistema de RFID (Hessel <i>et al.</i>, 2009); • Aumento nos estudos para o desenvolvimento da tecnologia RFID (Roberts, 2006); • Aparecem as primeiras organizações a adotar o RFID (Roberts, 2006 e Hessel <i>et al.</i>, 2009);
1980-1990	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de sistemas de frequência ultra alta (Hessel <i>et al.</i>, 2009); • A tecnologia RFID entra no fluxo principal da cadeia de suprimentos (Roberts, 2006);
1990-2000	<ul style="list-style-type: none"> • Aparecimento das normas de utilização da tecnologia (Thiesse, 2007); • O RFID passa a ser utilizado no mundo corporativo (Roberts, 2006);
2000-2010	<ul style="list-style-type: none"> • Formada a EPCglobal (Hessel <i>et al.</i>, 2009); • Wal-Mart avisa aos seus principais fornecedores para iniciarem a utilização da identificação por rádio frequência (Tzeng <i>et al.</i>, 2007; Thiesse, 2007; Tajima, 2007; Ngai <i>et al.</i>, 2008; Hessel <i>et al.</i>, 2009; Yin <i>et al.</i>, 2009; Wang <i>et al.</i>, 2010); • Departamento de Defesa dos EUA solicita ao seus fornecedores a implementação do RFID (Tajima, 2007; Ngai <i>et al.</i>, 2008; Hessel <i>et al.</i>, 2009; Wang <i>et al.</i>, 2010).

Ainda na Tabela 1 nos anos 60 ocorreram as primeiras explorações da tecnologia RFID em laboratórios e experimentos, surgindo os primeiros projetos pilotos nas organizações (Roberts, 2006). Segundo Hessel *et al.* (2009), na década seguinte foram desenvolvidos alguns sistemas comerciais, como por exemplo, o da *Sensormatic* e *Checkpoint Systems*, como equipamento de vigilância eletrônica, *Electronic Article Surveillance* (EAS), para uso em lojas de varejo afim de evitar furtos.

Na década de 70, Mario W. Candullo requisitou a primeira patente americana para um sistema ativo de RFID com memória regravável (Hessel *et al.*, 2009). No final dessa década e início dos anos 80 houve um aumento nos estudos para o desenvolvimento e melhoria da tecnologia RFID (Roberts, 2006). Posteriormente começaram a aparecer as primeiras organizações a implementar o RFID (Hessel *et al.*, 2009). Hessel *et al.* (2009) ainda citam que na década de 80 foram desenvolvidos sistemas de frequência ultra alta, sendo esta a tecnologia utilizada nos sistemas de cobrança de pedágios eletrônicos. Ganhou popularidade com a implementação em diversos países da Europa, Estados Unidos e Brasil. Em meados dos anos 80 as aplicações comerciais da tecnologia RFID entraram no fluxo principal da cadeia de suprimentos (Roberts, 2006).

Segundo Thiesse (2007), no início da década de 90 ocorreu o aparecimento das normas de utilização da tecnologia, uma vez que diversas indagações estavam sendo feitas pela sociedade com relação à perda da privacidade dos consumidores durante e depois das compras serem efetuadas.

Nos anos 2000, o RFID saiu das aplicações individuais e da indústria bélica e passou a ser utilizado no mundo corporativo (Roberts, 2006). Posteriormente, foi formada a EPCglobal (Electronic Product Code), órgão internacional que gerencia os padrões de códigos eletrônicos de produto, se tornando um padrão para a identificação automática de itens nas cadeias de abastecimento em todo o mundo. Ainda nos anos 2000, a empresa Wal-Mart solicitou aos seus principais fornecedores para iniciarem a utilização da identificação por rádio frequência (Tzeng *et al.*, 2007; Thiesse, 2007, Tajima, 2007; Ngai *et al.*, 2008; Hessel *et al.*, 2009; Yin *et al.*, 2009 e Wang *et al.*, 2010). Após a iniciativa do Wal-Mart, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos anunciou uma solicitação similar para a implementação da tecnologia RFID (Tzeng *et al.*, 2007; Thiesse, 2007, Tajima, 2007; Ngai *et al.*, 2008; Hessel *et al.*, 2009 e Wang *et al.*, 2010).

Segundo Roh (2009), o RFID é uma tecnologia emergente que visa substituir os códigos de barras tradicionais em muitos aspectos. A tecnologia de identificação por rádio frequência tem aberto portas para uma nova era da logística, um avanço que anteriormente foi inatingível pelo código de barras (Kim & Sohn, 2009). Sua natureza de rastreamento sem fio permite que um leitor ative um transponder denominado, de *tag* ou etiqueta, através de ondas de rádio ou incorporado a um item que permita ao leitor ler remotamente e/ou escrever dados para essa etiqueta (Roh, 2009).

Conforme ilustrado na Figura 1, um sistema comum de RFID é composto por uma etiqueta, uma antena, frequência, um leitor e um sistema para interpretação dos dados (Ayoade, 2006). Já Roberts (2006) cita que os sistemas RFID são compostos de etiquetas, leitores para interagir com os objetos (ativos) e sistemas de banco de dados para fornecer uma informação e/ou funções operacionais, não considerando a frequência como um elemento do sistema.

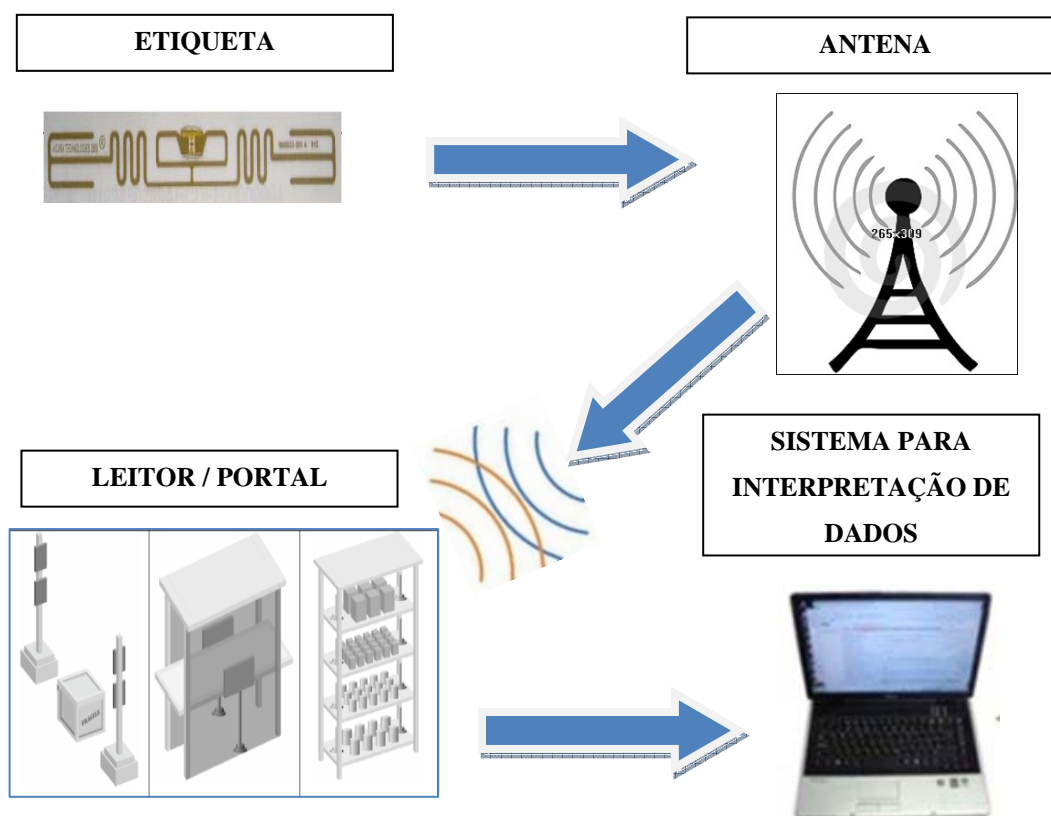


Figura 1 – Componentes da tecnologia de Identificação por rádio frequência

Tajima (2007) comenta que o sistema RFID demonstrado na Figura 1 funciona através do envio de sinal efetuado por um leitor. O mesmo solicita a etiqueta à transmissão das informações contidas em seu chip através do envio de ondas de rádio. O leitor converte as ondas que retornaram da etiqueta em dados digitais e os encaminha para um sistema de computador interpretar. Estes itens serão descritos com maiores detalhes nas seções seguintes.

2.1.1. Etiquetas

Nogueira Filho (2005) define as etiquetas de RFID (transponder ou etiqueta) como uma unidade eletrônica composta por um *chip* e uma antena de fio, normalmente de cobre, conectados entre si, que podem ser encapsulados em vários formatos e tamanhos (etiquetas, cápsulas, cartões de proximidade, pastilhas, argolas etc.) com a utilização de diversos tipos de materiais (plástico, vidro, epóxi etc.) no processo de encapsulamento. Segundo Tajima (2007), as etiquetas se dividem em duas grandes categorias: aquelas com um poder de alimentação (bateria) e aquelas sem esse poder. Roberts (2006), ao contrário, comenta que somente os dispositivos passivos, ou seja, sem baterias são denominados de etiquetas. Mais recentemente, de acordo com o mesmo autor e conforme a Tabela 2, o uso comum definiu os *transponders* como etiquetas ativas e os dispositivos “sem energia” como etiquetas passivas. Félix (2009) ainda cita um terceiro tipo de etiqueta denominado de semi-passivo, por utilizar simultaneamente bateria e energia do leitor para o envio de dados, apresentando vida útil e custos intermediários. As etiquetas ativas são tipicamente de leitura/gravação, enquanto as etiquetas passivas são geralmente de leitura. Wang *et al.* (2010) define que as etiquetas passivas não têm poder próprio de abastecimento e as etiquetas ativas têm sua própria fonte de alimentação e podem transmitir os seus sinais a uma distância maior.

As etiquetas ativas são maiores e mais caras do que as passivas (Tajima, 2007). Ainda na Tabela 2 são citadas algumas das diferenças entre os dois principais tipos de etiquetas. O uso de uma bateria coloca um limite sobre a vida do dispositivo, embora com a tecnologia atual as baterias possam durar até 10 (dez) anos (Tajima, 2007).

Tabela 2 – Comparativo entre os tipos de etiquetas

	Etiquetas Passivas	Etiquetas Ativas
Sistema de força	Não têm auto-alimentação (necessitam de carga através do campo eletromagnético gerado pelo leitor); exigem maior potência dos leitores	Alimentadas por bateria (internas); podem ser eficazes com leitores menos poderosos
Performance do alcance de leitura	Normalmente, menos de 3 m, baixa taxa de transmissão de dados, sujeito a ruído; maior sensibilidade; menos <i>tags</i> podem ser lidas de maneira simultânea; não emitem sozinhas ondas de radiofrequencia	Podem ser lidas a 30 m ou mais; taxa de transmissão de dados superior, menor ruído, menos sensibilidade; diversas <i>tags</i> podem ser lidas de maneira simultânea; emitem sozinhas ondas de radiofrequencia
Capacidade de leitura e gravação	Somente leituras; ou podem também ser gravadas apenas uma vez e lidas normalmente	Diversas leituras, gravações e podem ser regravadas
Custo da Tag	Mais baratas que as etiquetas ativas	Mais caras que as etiquetas passivas
Tamanho físico	Menor, menos peso, pois não possui bateria interna	Maior do que a passiva, maior peso, pois possui bateria interna
Tempo de vida	Longa vida útil (sem acabar a carga da bateria)	Limitado devido à vida da bateria (menos de 10 anos)
Aplicações gerais	Apropriadas para rastreamento de bens de consumo de baixo valor na cadeia de suprimentos	Apropriadas para rastreamento de itens com alta distância, itens de maior valor agregado; segurança pessoal, controle de acesso; monitoramento de ativo

Fonte: Tajima (2007)

Roberts (2006) cita que as etiquetas passivas têm uma vida ilimitada, são mais leves, menores e mais baratas. Ainda segundo o mesmo autor, o *trade-off* da tecnologia RFID é a capacidade limitada de armazenamento de dados, um curto

intervalo de leitura e exigência de um leitor de alta potência. De acordo com Ngai *et al.* (2008), um fator também importante na decisão de implementar esse tipo de tecnologia é o custo.

A diferença de preço entre os tipos de etiquetas (ativas e passivas) é significativa (Tajima, 2007). Roberts (2006) comenta que as etiquetas estão disponíveis em uma ampla variedade de formas, tamanhos e tipos de compartimentos de proteção.

De acordo com Viera *et al.* (2007), as etiquetas RFID passivas (somente leitura) vêm da fábrica com os dados já gravados no chip e não podem ser alterados, permitindo somente a transmissão dos dados pré-gravados pelo fabricante da etiqueta. A informação pré-gravada geralmente consiste em um número serial único de identificação para cada etiqueta RFID. Este número é inserido em um sistema que será associado às características de um determinado item para efetuar a sua identificação. Viera *et al.* (2007) comentam ainda que as etiquetas ativas (regraváveis) formam uma combinação somente de leitura e de escrita. Nelas, o chip possui setores da memória somente para leitura, contendo geralmente um número de identificação, e outros setores de memória disponíveis para serem gravados e regravados durante o uso.

2.1.2. Antena

Hessel *et al.* (2009) citam que a antena fica localizada em um aparelho com função de leitura e sua principal função é enviar sinais de radiofrequência em busca de objetos a serem identificados. Ainda de acordo com este mesmo autor, no momento em que um dos objetos é atingido pela radiação ocorre um acoplamento entre ele e a antena, o que possibilita que os dados armazenados no objeto sejam recebidos pelo leitor.

2.1.3. Frequência

Roberts (2006) cita que as atribuições de frequência são geralmente gerenciadas por meio de legislação e regulação por parte de cada governo individualmente. Internacionalmente, existem diferenças nas frequências

atribuídas para as aplicações de RFID. Atualmente a *International Organization for Standardization* (ISO) e organizações similares estão auxiliando na criação de normas para compatibilizar as frequências utilizadas (por exemplo: na Europa é usado 869 MHz e nos EUA é utilizado 915 MHz).

Segundo Nogueira Filho (2005), atualmente poucas frequências estão disponíveis no âmbito global para as aplicações de RFID. Três faixas de frequência com limite máximo geralmente são usadas para aplicações, conforme apresentado na Tabela 3. No Brasil, de acordo com o regulamento da Agência Nacional de telecomunicações (ANATEL) [ANA08], resolução nº 506, de 1º de julho de 2008, os sistemas que utilizam a tecnologia de espalhamento espectral devem ser aplicados às condições estabelecidas na lei, que dita os requisitos que se aplicam aos sistemas de salto em radiofrequência operando nas faixas 902-907,5 MHz e 915-928 MHz, que é o caso do sistema RFID UHF (Hessel et. al, 2009). Essa faixa de frequência é a mesma utilizada nos Estados Unidos (Nogueira Filho, 2005).

Tabela 3: Frequência por região

Região	Frequência de atuação dos tags
Europa e África	869.4 a 869.65 / 915.2 a 915.4 MHz
Américas (Brasil e EUA)	902 a 928 MHz
Ásia	864 a 868 / 918 a 926 / 950 a 956 MHz

Fonte: EAN Brasil (2011)

Roberts (2006) comenta que existem três bandas de frequência para utilização da tecnologia RFID e suas possíveis aplicações, conforme demonstrado na Tabela 4. Entretanto, são utilizadas em todos os países as faixas de alta frequência como um limite máximo para utilização, assim são englobados também aplicações que utilizam a frequência baixa e a intermediária.

Tabela 4: Frequências para utilização do RFID – Adaptado de Roberts (2006)

Banda de frequência	Características	Aplicações típicas
BAIXA (DE 100 A 500 khz)	Curta faixa de leitura média; barato; velocidade de leitura baixa	Controle de acesso; identificação animal; controle de estoque e imobilizador de carro
INTERMEDIARIA (DE 10 A 15 MHZ)	Curta faixa de leitura média; potencialmente barato; leitura da velocidade média	Controle de acesso, cartões inteligentes; controle em bibliotecas
ALTA (850–950 MHz, 2.4–5.8 GHz)	Longo alcance de leitura; velocidade de leitura de alta; exigida linha de visão; caro	Monitoramento de veículos ferroviários; coleta de sistemas em pedágio; paletes e rastreamento de contêineres, rastreamento de veículos

2.1.4. Leitor / Portal

Segundo Ngai *et al.* (2008), um leitor RFID é um dispositivo que pode ler os dados a partir de etiquetas e escrever em etiquetas RFID compatíveis. Tajima (2007) cita que a sua função é converter as ondas de rádio que voltaram da etiqueta em dados digitais e os encaminhar para um sistema de computador interpretar. Ngai *et al.* (2008) citam que a comunicação entre a etiqueta e o leitor permite obter informações sobre a localização de um item a ser gravado e transferido para um servidor através de uma rede de computadores. Assim, consegue-se acompanhar o posicionamento do item a ser monitorado e rastreado. Ainda de acordo com este mesmo autor, para garantir essa compatibilidade na comunicação, a etiqueta e o leitor devem funcionar especificados na mesma frequência de trabalho e cumprir com regulamentação específica e protocolos.

Os leitores óticos podem ser scanners de mão ou fixos e podem envolver ou não a necessidade de contato com o código do produto. Os scanners manuais estão disponíveis na forma de pistola a laser (tecnologia de não contato) e o scanner de cartão – tecnologia de contato (Nogueira Filho, 2005). A seleção pelo tipo de equipamento a ser utilizado varia de acordo com as necessidades da operação e recursos financeiros disponíveis.

Segundo Glover & Bhatt (2006) os leitores podem variar em tamanho desde dois centímetros até o tamanho de um computador de mesa antigo. Podem ainda ser internos em dispositivos portáteis ou até mesmo em telefones celulares. Podem também ser fixos na parede de uma casa à prova de explosões ou podem ser construídos em unidades de prateleiras criando as prateleiras inteligentes ou ainda em formas de portais ou túneis, conforme ilustrado na Figura 2.

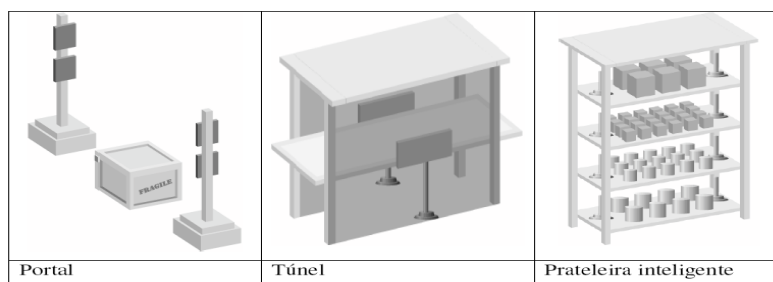


Figura 2: Tipos de posicionamento de leitores (Glover & Bhatt, 2006)

Os leitores RFID podem ainda ser classificados nos seguintes tipos: leitores RFID para etiquetas passivas; leitores RFID para etiquetas com memória regravável e/ou capacidade sensora; e leitores RFID para etiquetas ativas. Caso as etiquetas RFID sejam do tipo ativa, o aparelho leitor RFID pode, além de receber dados, gravar dados na etiqueta RFID (Viera *et al.*, 2007)

2.1.5. Sistemas para interpretação de dados

De acordo com Hessel *et al.* (2009), apesar de sua aplicabilidade, integrar as leituras automatizadas de RFID aos processos de negócios geridos por sistema ERP¹ (*Enterprise Resource Planning*), WMS² (*Warehouse Management System*),

¹ O ERP integra diversas atividades de uma empresa através de um *software*, organizando e disseminando as informações transacionais de forma integrada, contínua e em tempo real entre as diferentes áreas da companhia. Essa integração faz uso de uma base de dados comum a toda empresa, procurando assim, evitar redundâncias e inconsistências de dados, assegurando-se a integridade do fluxo de informações. O ERP é composto por vários módulos que conversam entre si, trocando informações. Cada módulo é responsável por uma atividade específica do sistema. (Chopra & Mendel, 2003).

² O WMS é responsável pelo gerenciamento da operação do dia-a-dia de um armazém. Executam comandos de planejamento de estoque e as operações corriqueiras de um depósito. Esses sistemas também acompanham os estoques em um depósito (Chopra & Meindel, 2003).

dentre outros, pode ser algo complexo de ser feito devido à diversidade, quantidade de dispositivos e ao volume de dados RFID gerados por uma rede de leitores. Maiores informações sobre sistemas de interpretação de dados podem ser obtidas em Hessel *et al.* (2009); Amaral *et al.* (2011) e Chaudhry *et al.* (2011).

2.2.

Vantagens e desvantagens da tecnologia RFID

As pressões externas e internas, os benefícios esperados e o desejo da organização de implementar o RFID são considerados os fatores mais importantes que influenciam na adoção da respectiva tecnologia (Roh *et al.*, 2009). Segundo Kim & Sohn (2009), as vantagens do RFID faz com que diversas empresas considerem a sua implantação. A Tabela 5 apresenta as principais vantagens identificadas com o uso da respectiva tecnologia.

Tabela 5 – Vantagens da tecnologia RFID

Vantagens	Referências
Redução de tempo de processamento	(Poon <i>et al.</i> , 2009; Trappey <i>et al.</i> , 2010; Yin <i>et al.</i> , 2009; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Redução de erros no processo manual	(Poon <i>et al.</i> , 2009; Kim & Sohn, 2009; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Informações de maior eficiência e eficácia podem ser compartilhadas pelos envolvidos na cadeia	(Poon <i>et al.</i> , 2009; Roh <i>et al.</i> , 2009; Trappey <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011);
Facilita a gestão de ativos	(Tajima, 2007; Wang <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Detecção sem necessidade da proximidade da leitora para o reconhecimento dos dados	(Roberts, 2006; Lee <i>et al.</i> , 2011)
As etiquetas podem ser lidas em condições adversas, como neve, gelo, nevoeiro, pintura, sujeira, dentro de contentores e de veículos durante o armazenamento	(Roberts, 2006; Trappey <i>et al.</i> , 2010)
Prevenção de roubos e diminuição na falsificação de mercadorias	(Ngai <i>et al.</i> , 2008; Roh <i>et al.</i> , 2009)
Possibilidade de desenvolver novos negócios	(Roh <i>et al.</i> , 2009)
Facilita o serviço de pós-venda identificando se a mercadoria realmente foi vendida em uma determinada loja	(Tajima, 2007)
O tempo de leitura é praticamente instantâneo	(Roberts, 2006; Trappey <i>et al.</i> , 2010; Wang <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011; Wei & Leung, 2011)
Redução nos custos de pessoal	(Ngai <i>et al.</i> , 2007; Kim & Sohn, 2009)
Não exige o posicionamento do produto ou a digitalização em seqüência	(Tajima, 2007)
Aumento da precisão dos dados	(Tajima, 2007)
Facilita o rastreamento da produção	(Tajima, 2007)
Auxílio no controle de qualidade	(Tajima, 2007)

A identificação por rádio frequência está gerando interesse, não só do ponto de vista da investigação, mas também da prática empresarial. As organizações de diversos segmentos estão esperando por soluções de problemas gerados pelo uso dessa tecnologia. Ao longo dos últimos anos, as preocupações sobre os possíveis riscos do uso do RFID têm sido cada vez mais frequentes. A Figura 3 apresenta uma das manifestações de boicote que ocorreram nos EUA e na Europa contra a implementação da tecnologia. O grupo que deu início ao protesto, consumidores unidos contra a invasão de privacidade nos supermercados CASPIAN (*Consumers Against Supermarket Privacy Ivasion and Numbering*), foi contra a implementação de etiquetas RFID nas embalagens de lâminas de barbear (Thiesse, 2007). Como resultado, a Gillette encerrou o projeto piloto de identificação por rádio frequência nos supermercados.

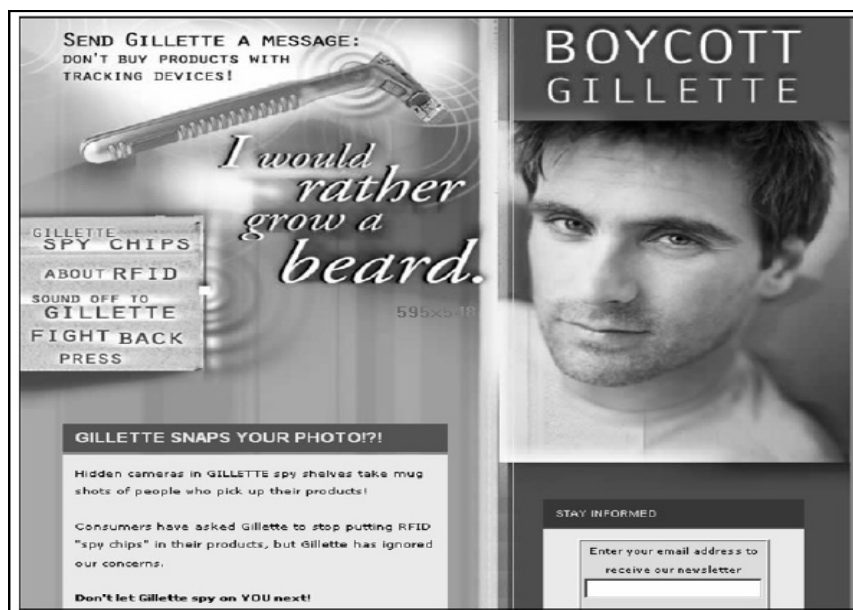


Figura 3: Imagem do boicote contra a Gillette (Thiesse, 2007)

A Tabela 6 sintetiza as principais desvantagens identificadas pelo uso da etiqueta.

Tabela 6 – Desvantagens da tecnologia RFID

Desvantagens	Referências
Mais cara que a tecnologia de códigos de barras, pois a tecnologia não se limita à etiqueta anexada ao produto apenas. Por trás da estrutura estão antenas, leitores, ferramentas de filtragem das informações, sistemas de comunicação e etc	(Nogueira Filho, 2005; Wang <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Uso em materiais metálicos e condutivos relativos ao alcance de transmissão das antenas. É limitado. Como a operação é baseada em campos magnéticos, o metal pode interferir negativamente no desempenho da tecnologia	(Kuo <i>et al.</i> , 2011; Lee <i>et al.</i> , 2011)
A despadroneização das frequências utilizadas faz com que os produtos não possam ser lidos por toda a indústria de maneira uniforme	(Ngai <i>et al.</i> , 2008; Wang <i>et al.</i> , 2010)
Invasão da privacidade dos consumidores devido às monitorações das etiquetas coladas nos produtos. Assim, surgem grupos de defesa do consumidor que fazem manifestações (vide Figura 3)	(Ayoade, 2006; Thiesse, 2007)
A falta de um rápido retorno sobre o investimento (ROI)	(Tajima, 2007)
A proporção de <i>tags</i> com defeito e com falhas de leituras implementadas em alguns projetos piloto tem sido tão altas, 20-25%, que ainda não é aceitável	(Tajima, 2007)
Colisão de sinais provenientes de vários leitores e possibilidade de várias etiquetas confundirem um mesmo leitor	(Tajima, 2007)
Interferência de outros dispositivos sem fios como, por exemplo, telefones celulares	(Tajima, 2007)
Vulnerabilidade da segurança na proteção de dados confidenciais, acesso e manipulação não autorizada dos mesmos	(Ngai <i>et al.</i> , 2008)
Complexidade de implementação	(Wang <i>et al.</i> , 2010)
Risco de vírus de computadores	(Tajima, 2007)
A tecnologia existente, código de barras, é mais barata, padronizada e, em alguns casos, já atingiu um nível de desempenho satisfatório, o que causa uma resistência no aceite do RFID	(Tajima, 2007; Lee <i>et al.</i> , 2011)

Para evitar algumas das desvantagens referentes à resistência da implementação da tecnologia RFID, Thiesse (2007) sugere um instrumento para o desenvolvimento da confiança institucional, através do envolvimento de instituições oficiais no processo, criando legislações para a regulamentação. Ainda segundo Thiesse (2007), a abordagem europeia é de favorecer a legislação de proteção, abrangendo dados dos setores, enquanto nos EUA a abordagem é mais popular, favorecendo a indústria de regulamentação voluntária sempre que possível e empregando restrições legais somente quando absolutamente necessário.

Ayoade (2006) cita que para a solução de problemas destinados às implicações de segurança e privacidade, instituições governamentais e não governamentais estão trabalhando nessa questão. São apresentadas pelo autor as seguintes sugestões:

- (i) Comando para eliminação da etiqueta – É a eliminação das etiquetas após a compra do produto;
- (ii) Encapsulamento da etiqueta com um recipiente de metal – Uma etiqueta pode ser blindada ao usar o que é conhecido como uma gaiola de *Faraday*, ou seja, envolver a etiqueta com um recipiente de metal ou folha de alumínio que é impenetrável por sinais de rádio;
- (iii) Dispositivo de rádio frequência – É um meio físico de blindagem da etiqueta. O usuário pode utilizar um dispositivo de rádio frequência que ativamente envia sinais de rádio, de modo a bloquear a operação de qualquer leitor RFID;
- (iv) Etiqueta bloqueadora – A etiqueta responde com sinais simulados quando consultada por um determinado leitor, para que não possa ter confiança nas informações recebidas pelo mesmo.

2.3. Comparativo – RFID x código de barras

Segundo Roh *et al.* (2009), já é reconhecido que a tecnologia RFID passará a ser a principal tecnologia para rastreamento de produtos e gerenciamento de estoque, mas as empresas devem adotá-la cuidadosamente. Roh *et al.* (2009) citam ainda que as organizações devem considerar os seus benefícios a longo prazo e os impactos, ao invés de simplesmente seguir a tendência do mercado, ou até mesmo os seus concorrentes. Lee *et al.* (2011) comentam que o RFID substituirá gradualmente o código de barras.

No final de 1970 menos de 1% (um por cento) dos supermercados nos Estados Unidos usavam códigos de barras, passando para mais de 30% (trinta por cento) depois do Wal-Mart ter aprovado o uso dessa tecnologia em 1984 (Bear Stearns Company, 2011). Segundo Tajima (2007), atualmente o código de barras é utilizado por quase todos os varejistas do mundo, entre 5 (cinco) e 10 (dez) trilhões de códigos de barras são impressos a cada ano e cerca de 5 (cinco) milhões de scaneamentos de códigos de barras ocorrem todos os dias. Entretanto,

a tecnologia RFID deve substituir o código de barras na cadeia de suprimentos, uma vez que permite que os fabricantes e varejistas identifiquem os produtos, quantidades e localização física de maneira mais rápida, melhorando os processos de negócios (Beckert *et al.*, 2010). Tzeng *et al.* (2007) citam que o RFID é uma tecnologia emergente que visa substituir os códigos de barras, em muitos aspectos. Já para Nogueira Filho (2005), o RFID e os códigos de barras deverão conviver harmoniosamente, com tendências de compartilhamento das duas tecnologias, nas chamadas soluções casadas, com ascendência cada vez mais forte das etiquetas inteligentes. Tzeng *et al.* (2007) e Wang *et al.* (2010) citam que apesar de muito elogiada como a próxima onda de tecnologia inovadora, o RFID ainda não é amplamente aceito na prática.

Segundo Tajima (2007), quando comparado ao código de barras o RFID possui quatro principais vantagens:

- Nenhuma linha de visão é necessária, o posicionamento do produto associado ao código de barras não é mais necessário;
- Podem ser feitas várias leituras simultaneamente;
- O RFID funciona em condições de alta e baixa temperatura, ambientes empoeirados, contato com água etc.

Complementando ainda as vantagens citadas por Tajima (2007), Roh *et al.* (2009), comenta que o uso da tecnologia RFID pode agilizar em até 20 (vinte) vezes o processo de digitalização de itens, quando comparado à tecnologia de código de barras.

Nogueira Filho (2005) cita que uma das limitações do código de barras é a possibilidade de problemas na qualidade de impressão, o que pode dificultar ou impedir sua leitura, com a necessidade de redigitação do código ao invés de haver uma leitura automatizada.

Já Roberts (2006) afirma que ao utilizar as etiquetas de RFID e leitores para reunir as informações, essa tecnologia representa uma melhoria na comunicação quando comparada aos códigos de barras. O autor comenta que isso ocorre pelo fato dos envolvidos na cadeia de suprimentos poderem visualizar cada etapa do processo, ou seja, o acesso às informações ocorre do fornecedor de matéria-prima ao consumidor final.

As práticas comerciais podem entrar significativamente a propagação de uma nova tecnologia. A popularidade do código de barras é um tipo de entrave,

pois quase todos os varejistas do mundo estão configurados para essa codificação (Tajima, 2007). Smith (2005) cita que embora a popularidade do código de barras não seja vista como um impedimento por si só, sua popularidade não ajudou na disseminação da implantação do RFID em grande escala.

O grande empecilho em relação à adoção da tecnologia por rádio frequência é o fator custo, que depende do tamanho da etiqueta inteligente, do alcance, da faixa de frequência em que opera e de ser ou não regravável (Nogueira Filho, 2005). Twist (2005) também comenta que a vantagem da tecnologia do código de barras é o fato de ser mais barata que o RFID, ser padronizada e, em alguns casos, já ter atingido um nível de desempenho satisfatório.

A Figura 4 apresenta os possíveis fluxos de informação para o sistema baseado em códigos de barras, (um único sentido), e para o sistema de RFID (podendo ter dois sentidos).

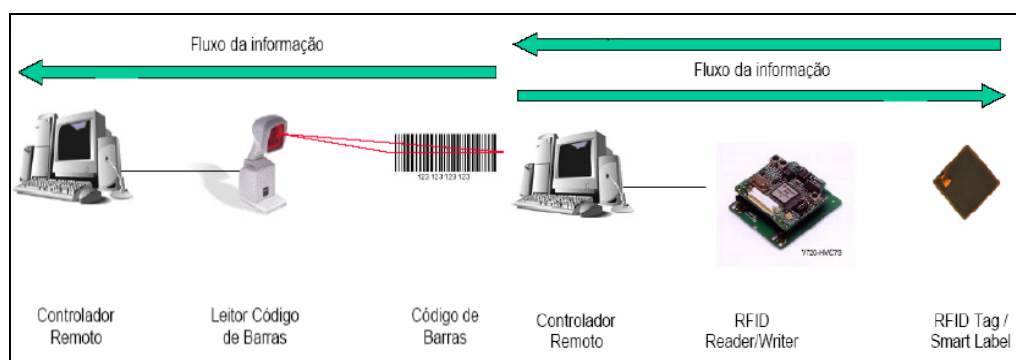


Figura 4: Comparação código de barras/etiqueta de RFID sob a perspectiva do fluxo de informação (Nogueira Filho, 2005)

A Tabela 7 apresenta uma síntese do comparativo entre a tecnologia de código de barras e RFID, abordando os aspectos mais importantes que as diferenciam.

Tabela 7: Código de Barras x RFID

Códigos de barras	RFID
Utiliza luz ótica (Nogueira Filho, 2005)	Utiliza rádio frequência (Nogueira Filho, 2005)
Precisa de campo visual direto para realizar leitura (Tajima, 2007; Lee <i>et al.</i> , 2011)	Sem necessidade de campo visual direto, podendo ser lido através de diversos materiais como plásticos, madeira, vidro, papel, cimento etc. (Tajima, 2007; Trappey <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Código de barras não é eficiente em ambientes insalubres (Souza <i>apud</i> Nogueira Filho, 2005)	Permite a codificação em ambientes insalubres (Souza <i>apud</i> Nogueira Filho, 2005; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Podem ser forjadas (Nogueira Filho, 2005)	Mais difícil de serem forjadas (Nogueira Filho, 2005)
Não permitem a inclusão de novos dados (Nogueira Filho, 2005; Lee <i>et al.</i> , 2011)	Podem permitir a inclusão de novos dados na memória para posterior recuperação por parte dos leitores (Roberts, 2006; Trappey <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Leitura individual (Figueiredo, 2004; Kabachinski, 2005; Trappey <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011)	Várias etiquetas podem ser lidas simultaneamente (Figueiredo, 2004; Tajima, 2007; Trappey <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Informação centralizada (Roberts, 2006)	Melhoria na comunicação, descentralizando a informação (Roberts, 2006)
Maior tempo de resposta (Roh <i>et al.</i> , 2009; Lee <i>et al.</i> , 2011)	Menor tempo de resposta (Roh <i>et al.</i> , 2009; Trappey <i>et al.</i> , 2010; Wang <i>et al.</i> , 2010; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Mais barato (Twist, 2005; Lee <i>et al.</i> , 2011)	Mais caro (Twist, 2005; Lee <i>et al.</i> , 2011)
Maior risco de erros de leitura (Teixeira, 2004)	Menor risco de erros de leitura (Teixeira, 2004; Kim & Sohn, 2009)

2.4. Casos de sucesso

A presente seção apresenta brevemente 5 (cinco) casos de aplicações do RFID.

O primeiro caso é o parque temático Legoland localizado na Dinamarca. Este parque foi inaugurado em 1968 com 6 (seis) milhões de *Legos* tijolos. O negócio tem como foco oferecer atividades criativas e divertidas para as famílias. O parque recebia pelo menos 1,6 milhões de clientes a cada estação e cerca de 1.600 crianças ficavam perdidas anualmente. Na primavera de 2005, a empresa adotou uma aplicação de RFID. Pais usavam uma pulseira RFID que dava sinais sobre a localização de seus filhos através de textos em mensagens instantâneas em seus celulares. Estes pais dispensaram ansiedade e a Legoland reduziu os custos diretos e indiretos na recuperação das crianças. Além disso, os dados que as etiquetas geravam eram úteis na visualização e análise de como as famílias estavam usando o parque. Estes dados forneciam informações cruciais sobre o serviço do parque e operações (gestão de filas, media o interesse dos visitantes em novos passeios, etc.). A implementação da tecnologia RFID se resumiu a parte interna do parque temático (Roh *et al.*, 2009).

Outro caso é o do Hospital da Universidade de Taipei (TMUH), fundado em 1967. A instituição possuía 435 leitos médicos e era destinada a assistência médica, ensino clínico e investigação médica. Em 2003, foi proposto um sistema de serviço baseado em localização médica, “*Location-based medical service system (LBMS)*”. O objetivo era a definição da faixa de identificação do paciente, informando o caminho que o mesmo fazia para saber se ele/ela estava em contato próximo com pacientes infectados e fora da área de isolamento. Se o sistema detectasse qualquer evento que pudesse violar a política de isolamento da doença, um sinal de alarme disparava imediatamente e um procedimento operacional era feito. O principal objetivo para TMUH na aplicação do sistema RFID era monitorar sinais fisiológicos e os caminhos das fontes de infecção, sabendo assim com quais os pacientes infectados tiveram contato. Além disso, este sistema combinado com outras tecnologias acionava um alarme que iniciava um procedimento médico para evitar uma epidemia de propagação da doença e mantinha a segurança do pessoal do hospital. O hospital ainda lançou outro

sistema de RFID em 2006, uma bolsa de sangue baseada em RFID e gestão de recursos do sistema. O objetivo desse sistema era controlar a circulação das bolsas de sangue e cuidar da segurança do paciente, integrando o sistema de informação hospitalar ao setor de saúde. Para isso foi desenvolvida uma bolsa de sangue inteligente (Tzeng *et al.*, 2007).

Outro caso interessante é o da Mercedes-Benz. Seu *core business* é a produção e a comercialização de veículos. No Brasil, a empresa está presente desde 1956 com a fabricação de ônibus, peças, chassis e etc. Em 1999, foi iniciada a fabricação do modelo Mercedes-Benz Classe A na fábrica em Juiz de Fora (MG). A tecnologia RFID foi utilizada na fabricação do modelo Classe A para controlar todo o processo de produção e montagem voltado para os mercados brasileiro e latino-americano. O objetivo principal era identificar o produto ao longo dos estágios de produção, de forma segura e eficaz, permitindo a rastreabilidade, a confiabilidade do rastreamento dos dados de produção ao longo das etapas de montagem, e o aumento do nível de serviço. Assim, asseguraria o atendimento dos pedidos de vendas na data planejada para entrega do carro aos clientes, sem a aplicação dos modelos tradicionais de identificação (impressão por estampagem de numeração na carroceria), que segundo a montadora tornavam o processo inflexível. Após a análise de todas as etapas, a empresa implementou a solução utilizando etiquetas passivas. Com a adoção deste processo, a fábrica do grupo DaimlerChrysler em Juiz de Fora passou a atender com um nível de serviço de 98% no Brasil, enquanto que os índices de atendimento mais altos de outras fábricas giram em torno de 70% (Nogueira Filho, 2005).

Outro exemplo é o caso Wal-Mart. A estratégia de baixo custo e a cadeia de suprimentos global permitiram que ele se tornasse o maior varejista do mundo. Com cerca de 3.900 lojas nos Estados Unidos e 2.900 no exterior, a cada dia, mais de 14 milhões de clientes compram em uma loja Wal-Mart e há mais de 1,3 milhões de empregados em todo o mundo. Para sustentar a sua competitividade o Wal-Mart necessitava rastrear os produtos de forma mais eficiente nos transportes. Assim, anunciou em 2004 que iria atender a adoção do RFID em seus 200 maiores fornecedores de janeiro de 2006 e posteriormente para os 300 maiores fornecedores e lojas. Com o reconhecimento dos benefícios que o RFID podia trazer para a empresa, exigiu ainda em 2005 que os seus 100 maiores fornecedores colocassem etiquetas em seus produtos. Um estudo realizado em outubro de 2005

pela pesquisa de RFID no centro da Universidade de Arkansas, relatou uma redução de 16% em itens “fora de estoque”. O Wal-Mart focou o uso do RFID no rastreamento de produtos. Seus movimentos têm encorajado outros varejistas (Roh *et al.*, 2009).

O último exemplo é o da IATA (*International Air Transport Association*), organização de comércio global para o transporte aéreo, representando 94% do tráfego aéreo internacional. O objetivo da organização era buscar melhorias nas operações da indústria de aviação, auxiliando os tomadores de decisão a entender melhor o respectivo nicho e os seus benefícios. Seus membros consistiam em mais de 260 companhias mundiais. A IATA estudou a utilização da tecnologia RFID para gerenciar os custos de extravio de bagagem. Aproximadamente 1,7 bilhões de malas passavam em seu sistema a cada ano e cerca de 17 milhões de bagagens eram mal alocadas. Em média, os custos da indústria eram de US\$ 100,00 para lidar com uma mala extraviada, resultando em uma perda de 1,7 bilhões de dólares por ano. Em 2004, foi implementada a tecnologia RFID devido à sua precisão e velocidade. Em 2005, a IATA introduziu um padrão global (faixa de frequência 850-950 MHz) para etiquetas RFID nas bagagens, o que foi endossado por todas as companhias aéreas membros da IATA. Os benefícios esperados foram que o RFID reduziria significativamente o número de itens perdidos e que a economia global seria de um montante de US\$ 1 bilhão por ano. (Roh *et al.*, 2009).

Enquanto a Legoland, a fábrica da Mercedes-Benz, Wal-Mart e o Hospital de Taipei aplicaram a tecnologia em áreas locais, a IATA aplicou em diversos aeroportos do mundo, no entanto, seu alcance foi limitado em termos de funcionalidade, uma vez que o RFID foi utilizado apenas na localização de bagagens.

A Tabela 8 apresenta uma síntese dos 5 (cinco) casos relatados, destacando a empresa envolvida, seu perfil, respectivos produtos e serviços e os objetivos da adoção do RFID.

Tabela 8: Síntese de casos de aplicações do RFID

Empresa	Perfil	Produtos ou serviços	Principais objetivos da adoção de RFID
Legoland	Parque de diversões na Dinamarca	Proporcionar atividades criativas e diversão para a família	Prevenir, controlar e minimizar as crianças perdidas no parque
Hospital da Universidade Medicina de Taipei	Hospital de Taipei	Assistência médica, ensino clínico e investigação médica	Monitorar sinais fisiológicos e os caminhos das fontes de infecção
DaimlerChrysler	Venda de automóveis	Fabricante de automóveis, peças de reposição e montadora	Identificar o produto ao longo dos estágios de produção, aumento do nível de serviço
Wal-Mart	Maior empresa varejista do mundo	Oferecer uma variedade de mercadorias no varejo com menor preço	Obter produtos livremente dentro e fora e monitorar a circulação dos produtos
Associação de Transporte aéreo internacional (IATA)	Organização de comércio global de transportes aéreos	Melhorar o funcionamento da indústria aérea na economia global	Diminuir o número de extravio bagagem