

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Fernando Justiniano Lemaitre

**Estudo de um sistema RFID HF: Aumento do alcance de
leitura dos transponders**

São Carlos

2018

Fernando Justiniano Lemaitre

Estudo de um sistema RFID HF: Aumento do alcance de leitura dos transponders

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Amilcar Careli Cesar

São Carlos
2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

J96e Justiniano Lemaitre, Fernando
Estudo de um sistema RFID HF: Aumento do alcance de
leitura dos transponders / Fernando Justiniano
Lemaitre; orientador Amílcar Careli César. São Carlos,
2018.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2018.

1. RFID. 2. Alta frequência . 3. Transponder . 4.
Alcance. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Fernando Justiniano Lemaitre

Título: "Estudo de um sistema RFID HF: Aumento do alcance de leitura dos transponders"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 28 / 11 / 2018,

com NOTA 8,0 (oitos, zero), pela Comissão Julgadora:

Prof. Titular Amílcar Careli César - Orientador - SEL/EESC/USP

Prof. Dr. Marcelo Basílio Joaquim - SEL/EESC/USP (docente aposentado)

Mestre Ricardo Vicente Fávero - Doutorando - SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

Dedico este trabalho a meus pais

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a meus pais pelo contínuo suporte e educação ao longo da minha vida. Eles serviram como motivação para que eu continuasse com meus estudos em momentos nos quais eu duvidei sobre qué rumo tomar na vida.

Em segundo lugar, agradeço ao professor Amilcar pela sua eterna paciência e constante feedback. Foi ele que deu a ideia inicial de desenvolver um trabalho em algum assunto relacionado com RFID.

Meus agradecimentos aos meus colegas do laboratório de telecomunicações: Augusto Martins, Mateus Souza, Achilles Fontana da Mota e Vinicius Pepino. Todos eles facilitaram meu aprendizado, particularmente no processo de simulação e medição das etiquetas RFID.

Finalmente, agradeço a todos os professores e colegas da USP São Carlos e da UFSCAR que contribuíram de alguma forma na minha formação profissional.

*“O que sabemos é uma gota de água;
o que ignoramos é um oceano.”
Isaac Newton*

RESUMO

JUSTINIANO, F **Estudo de um sistema RFID HF: Aumento do alcance de leitura dos transponders**. 2018. 84p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

A identificação por radiofrequência *RFID* é uma tecnologia que se tem difundido em diversas indústrias, principalmente em logística. O foco deste trabalho se centra no desenvolvimento de etiquetas RFID de alta frequência (que operam em 13,56 MHz); em particular, serão estudadas as variáveis que influenciam no alcance de leitura entre o leitor e as tags RFID de um kit de desenvolvimento comercial. Com o uso de ferramentas de software, as dimensões das antenas RFID foram otimizadas, fabricadas e medidas em laboratório. A análise das etiquetas RFID mostrou resultados não favoráveis já que não foi possível construir antenas que ressoem na frequência esperada e que tenham um alcance superior às das etiquetas comerciais.

Palavras-chave: RFID. Alta frequência. Transponder. Alcance de leitura.

ABSTRACT

JUSTINIANO, F **Study of a HF RFID system: Improvement of the transponders' read range.** 2018. 84p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

Radio-frequency identification *RFID* is a technology that has spread in different industries, mainly in logistics. The focus of this work is aimed in the development of RFID HF tags(that operate in 13.56 MHz); particularly, the variables that influence in the read range between the reader and the tags of a commercial development kit will be studied. With the use of software tools, the dimensions of the RFID antennas were optimized, fabricated and tested in laboratory.

The analysis of the RFID tags showed non favorable results considering the fact that it was not possible to build antennas with the expected resonance that have a longer read range than the commercial ones.

Keywords: RFID. HF. Transponders. Read range.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema RFID clássico ¹	32
Figura 2 – Etiqueta RFID ²	32
Figura 3 – Densidades de potência em função das regiões de Rayleigh, Fresnel e Frauenhoffer	35
Figura 4 – Regiões de campo próximo reativo, campo radiativo e campo distante .	36
Figura 5 – Representação do acoplamento indutivo usado nos sistemas RFID de 13,56 MHz ³	36
Figura 6 – Antena loop retangular ⁴	37
Figura 7 – Representação do acoplamento indutivo entre as bobinas do leitor e da etiqueta. Modelo elétrico equivalente do acoplamento indutivo do sistema RFID ³	37
Figura 8 – Circuito equivalente do sistema RFID. O transponder é convertido em um circuito paralelo ressonante com a adição do capacitor ³	38
Figura 9 – Gráfico da tensão da bobina do transponder em função da frequência(de 1 a 100 MHz) dado um campo magnético constante H ou corrente I ⁵ .	39
Figura 10 – Rede de duas portas ⁶	41
Figura 11 – Interrogador RFID de 13,56 MHz. Fonte: elaborado pelo autor	44
Figura 12 – Configuração dos pines do CI MCRF450.A	44
Figura 13 – Software de interface de leitura e escrita do MCRF450. ⁷	45
Figura 14 – Placa da antena da etiqueta RFID. Fonte: elaborado pelo autor	46
Figura 15 – Software eDesignSuite ⁸	46
Figura 16 – Ferro de solda de temperatura regulável. Fonte: elaborado pelo autor	48
Figura 17 – Furadeira de bancada Schulz. Fonte: elaborado pelo autor	48
Figura 18 – Prensa térmica para PCB's. Fonte: elaborado pelo autor	49
Figura 19 – Analisador de RF FieldFox ⁹	51
Figura 20 – Suporte milimetrado para as etiquetas RFID. Fonte: elaborado pelo autor . . .	52
Figura 21 – Ponta de prova para medição da antena do leitor. Fonte: elaborado pelo autor	52
Figura 22 – Ponta de prova para medição das antenas das etiquetas. Fonte: elaborado pelo autor	53
Figura 23 – Frequência de ressonância e parâmetro S_{11} ¹⁰	54
Figura 24 – Frequência de ressonância e impedância Z ¹⁰	54
Figura 25 – Módulo e fase do parâmetro S_{11} do leitor Fonte: elaborado pelo autor	55
Figura 26 – Módulo e fase do parâmetro S_{11} da etiqueta RFID para o MCRF450 Fonte: elaborado pelo autor	56
Figura 27 – Configuração dos circuitos equivalentes das etiquetas com o CI MCRF450 A	56

Figura 28 – Antena espiral retangular	Fonte: elaborado pelo autor	57
Figura 29 – Modelo da etiqueta do kit comercial	Fonte: elaborado pelo autor	58
Figura 30 – Modelo da etiqueta retangular espiral e variáveis de parametrização	Fonte: elaborado pelo autor	59
Figura 31 – Etiqueta fabricada de três espiras	Fonte: elaborado pelo autor	60
Figura 32 – Etiqueta fabricada de quatro espiras	Fonte: elaborado pelo autor	60
Figura 33 – Etiqueta fabricada de cinco espiras	Fonte: elaborado pelo autor	61
Figura 34 – Módulo do parâmetro S_{11} da antena RFID de 3 espiras	Fonte: elaborado pelo autor	61
Figura 35 – Módulo do parâmetro S_{11} da antena RFID de 4 espiras	Fonte: elaborado pelo autor	62
Figura 36 – Módulo do parâmetro S_{11} da antena RFID de 5 espiras	Fonte: elaborado pelo autor	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Frequência de ressonância, fator de qualidade e alcance da etiqueta comercial Fonte: elaborado pelo autor	55
Tabela 2	–	Dimensões iniciais dos protótipos projetados com o <i>eDesignSuite</i>	57
Tabela 3	–	Variáveis dos protótipos finais obtidos após simulação no HFSS	59
Tabela 4	–	Frequência de ressonância e fator de qualidade dos tres protótipos de etiquetas RFID fabricadas	63
Tabela 5	–	Alcance de leitura dos protótipos elaborados	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
USP	Universidade de São Paulo
USPSC	Campus USP de São Carlos
RFID	Identificação em radiofrequência (<i>Radio Frequency Identification</i> em inglês)
LF	Baixa frequência (<i>Low Frequency</i> em inglês)
HF	Alta frequência (<i>High Frequency</i> em inglês)
UHF	Ultra Alta frequência (<i>Ultra High Frequency</i> em inglês)
CI	Circuito integrado
FR4	Resina epóxi de fibra de vidro revestido de cobre
HFSS	Software de simulação de campos eletromagnéticos em alta frequência
RO	Read only
RW	Read write
ISO	International Standard Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	Comprimento de onda
ϵ_R	Permissividade relativa
π	Constante Pi

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Revisão bibliográfica	25
2	JUSTIFICATIVA	27
3	MARCO TEÓRICO	29
3.1	Conceitos básicos da tecnologia RFID	29
3.1.1	Classificação	29
3.2	História	30
3.3	Infraestrutura dos sistemas RFID	32
3.3.1	Etiqueta	32
3.3.1.1	Classificação das etiquetas RFID	33
3.3.2	Leitor	33
3.3.3	Protocolo de informação	33
3.4	Princípios físicos do funcionamento dos sistemas RFID	35
3.4.1	Campo próximo vs. campo distante	35
3.4.2	Acoplamento indutivo	36
3.5	Modelagem matemática de um sistema RFID HF	37
3.5.1	Ressonância	38
3.5.2	Alcance de leitura	40
3.5.3	Parâmetros S	41
4	MATERIAS E MÉTODOS	43
4.1	Materiais	43
4.1.1	Kit de Desenvolvimento microID de 13,56 MHz DV103006	43
4.1.2	Interrogador de Leitura e Escrita de 13,56 MHz	43
4.1.3	Circuito integrado de Memória MCRF450	44
4.1.4	Software de interface RF-Lab 13.56	44
4.1.4.1	Software de leitura e escrita do MCRF450	45
4.1.5	Etiquetas rígidas para uso com o MCRF450	45
4.2	Softwares para o projeto de etiquetas RFID	46
4.2.1	eDesignSuite Antenna Design	46
4.2.2	HFSS	47
4.2.3	Matlab	47
4.3	Ferramentas e Materiais para a fabricação das etiquetas RFID	48
4.3.1	Ferramentas para a confecção das antenas RFID	48

4.3.2	Materiais para a fabricação dos protótipos de etiquetas de RFID	50
4.4	Instrumentos de medição	51
4.4.1	Analisador de rede	51
4.4.2	Suporte para medição do alcance	51
4.4.3	Pontas de prova	51
4.5	Metodologia	52
4.5.1	Método de simulação com HFSS	53
4.5.2	Método de confecção das etiquetas RFID	53
4.5.3	Métodos de caracterização dos dispositivos RFID	54
5	DESENVOLVIMENTO	55
5.1	Caracterização do kit comercial	55
5.1.1	Caracterização do circuito do leitor	55
5.1.2	Caracterização do circuito da etiqueta para o MCRF450	55
5.2	Projeto das antenas das etiquetas RFID	56
5.2.1	Escolha da configuração do circuito ressonante	56
5.2.2	Projeto das antenas das etiquetas	56
5.2.3	Simulações das etiquetas RFID no HFSS	58
5.2.3.1	Simulação das antenas do kit comercial	58
5.2.3.2	Simulação e otimização das antenas das etiquetas RFID projetadas	59
5.3	Caracterização das antenas fabricadas	60
5.4	Análise comparativo entre as etiquetas comerciais e as fabricadas	63
6	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	67
	ANEXOS	69
	ANEXO A – VERSÃO SIMPLIFICADA DO DATASHEET DO MCRF450	71
	ANEXO B – ESQUEMÁTICO DA ANTENA DO LEITOR	79
	ANEXO C – MANUAL DO SOFTWARE RFLAB	81

1 INTRODUÇÃO

A identificação de objetos e pessoas por radiofrequência tem se difundido amplamente nos últimos tempos. A facilidade do controle a distância que permite esta tecnologia tem favorecido sua implementação em diferentes indústrias, principalmente em logística. No entanto, é vantajoso em certas aplicações o uso de sistemas RFID com um maior alcance de leitura pois provocaria uma redução de tempo e custos. Este trabalho está centrado no estudo de um sistema RFID de 13,56 MHz para o aumento do alcance de leitura a partir da melhora da performance das antenas dos transponders (etiquetas).

A revisão bibliográfica em¹² e¹³ permitiu identificar o princípio físico de funcionamento destes equipamentos e: o acoplamento indutivo ressonante. A partir disto, variáveis como a frequência de ressonância, dimensões das antenas e seus fatores de qualidade foram usadas para o projeto de novas etiquetas RFID. Embora a literatura apresente uma variedade enorme de configurações para a construção das etiquetas, identificamos neste trabalho os tipos de antenas mais convenientes para sua implementação em substrato rígido. Estas configurações mais promissoras foram simuladas previamente com o software *HFSS* para sua otimização e foram posteriormente fabricadas e medidas em laboratório.

1.1 Revisão bibliográfica

Foi feita uma revisão ampla da literatura com o objetivo de conhecer os diferentes tipos de sistemas RFID e métodos de projeto. Para ter conhecimento sobre os distintos sistemas RFID foram consultados os livros "*RFID Applied*" e "*RFID Handbook*"; estes livros mostraram os princípios de funcionamento da tecnologia e os diferentes contextos para a aplicação do sistema.

A tese de mestrado do Sr. Robson Valmiro "*Antenas para sistemas RFID Impressas em substrato flexível*" foi de particular utilidade pois serviu como base para estabelecer a metodologia de trabalho desde a escolha dos materiais, o projeto das antenas RFID utilizando softwares especializados e a caracterização final dos protótipos. Outro trabalho que contribuiu no desenvolvimento deste texto, foi a tese de mestrado do Sr. Munam Butt "*Systemization of RFID Tag Antenna Design Based on Optimization Techniques and Impedance Matching Charts*"; esta tese introduziu novas ferramentas de simulação específicas para a frequência de operação (13,56 MHz) do sistema em estudo.

O artigo "*System Modeling of the RFID Contactless Inductive Coupling Using 13.56 MHz Loop Antennas*" forneceu o conhecimento sobre o modelamento do sistema entre o leitor e as etiquetas em 13,56 MHz. Por outro lado, o artigo "*Optimized Rectangular Loop Antenna Design for RFID Contactless Telecticking*" serviu como referencial para a

otimização das antenas retangulares espirais. A nota de aplicação *"How to design a 13.56 MHz customized antenna for ST25 NFC / RFID Tags"* esclareceu o procedimento para o projeto das antenas RFID. O manual da Microchip *"Antenna Circuit Design for RFID Applications"* mostrou as diferentes configurações das antenas e as variáveis que devem ser consideradas para alterar o alcance das etiquetas.

2 JUSTIFICATIVA

A tecnologia RFID tem sido utilizada amplamente nos últimos anos e tem se difundido em diversas indústrias incluindo a farmacêutica, logística, de saúde, entre outras. Dependendo do tipo de aplicação, o sistema RFID usado mudará, pois existe uma grande variedade de combinações de leitores, etiquetas, antenas, protocolos de comunicação e capacidade de armazenagem de dados que podem ser escolhidos no projeto. Este trabalho está centrado no estudo de transponders RFID – ou etiquetas RFID – na faixa de frequência de 13,56 MHz onde existe a necessidade de maior alcance para a comunicação entre estes dispositivos e o leitor. Esta capacidade de comunicação em maior distância seria vantajosa em diversos contextos. Alguns deles são:

1. o controle de acesso onde existe um fluxo rápido de pessoas em situações de emergência.

Por exemplo, a sala de emergência de um hospital onde o pessoal clínico precisa liberar o ingresso à sala de cirurgia quanto antes para garantir o rápido atendimento de um paciente; a sala de armas de um corpo policial ou militar para garantir o tráfego eficiente do pelotão; a sala de equipamentos de um corpo de bombeiros ou o pessoal de um aeroporto que deverão responder rapidamente frente a um chamado de incêndio.

2. a identificação a distância de objetos que não são de fácil acesso aos usuários.

Como o caso de um armazém de grande porte com objetos localizados em diferentes níveis de altura. Para evitar o uso de escadas e o movimento aleatório dos pacotes, poderá ser utilizado um sistema RFID de alto alcance para identificar as peças requeridas. Esta mesma lógica pode ser usada em uma biblioteca ou farmácia de grande tamanho.

Um detalhe importante que deve ser comentado é a frequência de operação do equipamento em estudo. A frequência de 13,56 MHz foi escolhida para este trabalho por três propriedades: a possibilidade de permitir maior alcance, alta taxa de transmissão de dados e baixa absorção de ondas eletromagnéticas por líquidos. Frequências acima desta apresentam maior absorção de potência em líquidos, o que limitaria sua aplicação em certos contextos, como ser a indústria farmacêutica ou em supermercados; por outro lado, frequências menores permitem um alcance menor – etiquetas que operam em frequências menores que 30 MHz são excitadas por campos magnéticos em distâncias menores que um comprimento de onda¹³ -

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Conceitos básicos da tecnologia RFID

RFID, ou identificação por radiofrequência, é o processo e infraestrutura física pela qual um identificador de um objeto é transferido para um leitor via ondas de radiofrequência. Pode ser considerada uma versão melhorada da identificação por código de barra pois permite transferir dados para um leitor sem a necessidade de visão direta com o objeto.¹³ Além disto, a tecnologia RFID permite a leitura de muitos objetos simultaneamente, não um a um como em outras tecnologias.

Para a identificação dos objetos, são colocados nestes etiquetas (tags) ou transponders. Estes tags possuem diferentes tipos de informação dos objetos dependendo do tipo de aplicação. Exemplos típicos do uso da tecnologia RFID são: controle de acesso, localização de objetos dentro da cadeia de suprimentos (logística), identificação de pets e rastreamento de bagagens dentro de um aeroporto.¹³

3.1.1 Classificação

Devido ao uso de outros tipos de serviços de radio, é preciso restringir as faixas de frequência da tecnologia RFID. Por este motivo, existem frequências reservadas especificamente para fins industriais, científicos e médicos; estas frequências são conhecidas mundialmente como frequências ISM (Industrial - Scientific - Medical, no inglês, ou Industrial, Científico e Médico no português). As frequências ISM mais importantes são: 13,56 MHz, 27,125 MHz, 40,68 MHz, 869 MHz e 915 MHz.¹⁴ Além das frequências ISM, o espectro inferior a 135 KHz é possível de ser utilizado.¹⁴

Desta forma, os sistemas RFID são classificados segundo a faixa de frequência que usam. Existem quatro tipos de sistemas¹²: de baixa frequência (LF: 125 kHz); de alta frequência (HF: 13,56 MHz); de frequência ultraelevada (UHF: 868 a 956 MHz); e de micro-ondas (2,45 GHz). Neste trabalho será usado um sistema RFID HF.

3.2 História

Os primórdios da identificação por rádio frequência se remontam à segunda guerra mundial quando, tanto as tropas aliadas quanto as alemãs, usavam o radar para identificar aviões se aproximando.

O desenvolvimento a posteriori do primeiro sistema de identificação realizado por Watson-Watt consistiu na instalação de transmissores em cada avião britânico, que recebiam sinais enviados por estações de rádio em terra e respondiam refletindo novamente o sinal (sistema passivo) ou transmitiam o sinal de forma aberta (sistema ativo). Em 1973, Mario Cardullo recebeu a primeira patente de uma etiqueta RFID ativa; no mesmo ano, Charles Walton recebeu a primeira patente de uma etiqueta passiva usada para abrir portas sem chave.

Na década de 1970, o laboratório americano de Los Alamos desenvolveu sistemas para a identificação de veículos e pessoas no ingresso de prédios de alta segurança. Na mesma década, Los Alamos anexou etiquetas passivas em altas frequências em vacas para identificar seu estado de saúde. Neste mesmo contexto, companhias desenvolveram sistemas de baixa frequência (125 kHz), nos quais os transponders seriam encapsulados e injetados sob a pele do gado. Estes mesmos sistemas de baixa frequência, foram colocados em cartões e usados para controlar o acesso a prédios.

Para aumentar o alcance e garantir uma maior transferência de dados, as empresas aumentaram a frequência dos sistemas RFID para 13,56 MHz. Nesta frequência, a tecnologia foi implementada em sistemas de controle de acesso e em sistemas de pagamento de cartões inteligentes.

No começo da década de 1990, IBM desenvolveu e patenteu sistemas RFID de ultra alta frequência (UHF), que aumentavam novamente o alcance e uma maior transferência de dados. Intermec, após a compra das patentes a IBM, utilizou a tecnologia sem muito sucesso em diversas aplicações devido ao alto custo, baixo volume de vendas e falta de standards internacionais de operação.

No ano de 1999, o Uniform Code Council, EAN International, Procter e Gamble e Gillete fundaram o Auto-ID Center no Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Dois professores deste instituto, Sarma e Brock pesquisaram sobre a possibilidade de instalação de etiquetas de baixo custo em productos para identificação na cadeia de suprimentos. A ideia consistiu em colocar o número serial em um microchip de memória e associar esta informação a um banco de dados para ser acessada pela internet. Este fato fez com que a tecnologia RFID se torne em uma tecnologia de rede com enlaces pela internet.

Entre o ano de 1999 e 2003, o Auto-ID Center ganhou o apoio de mais de 100 grandes companhias, além do ministério de defesa dos EEUU e outros vendedores RFID. Foram abertos laboratórios de pesquisa em Australia, Reino Unido, Suíça, Japão e China.

Em outubro de 2003, o Auto-ID Center fechou suas portas e suas responsabilidades de pesquisa passaram ao Auto-ID Labs.¹⁵

3.3 Infraestrutura dos sistemas RFID

Um sistema RFID básico apresenta os seguintes componentes¹²: transponder ou etiqueta (tag); leitor ou interrogador; protocolo para a transferência da informação.

A Figura 1 exemplifica um típico sistema RFID .

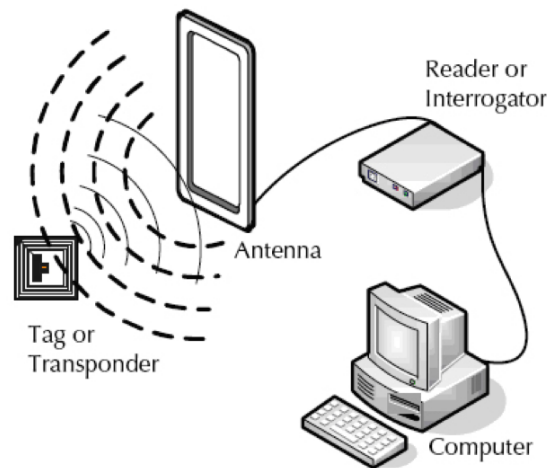


Figura 1: Sistema RFID clássico¹

Os dispositivos serão descritos a seguir:

3.3.1 Etiqueta

A etiqueta é colocada no objeto a ser identificado. O tag está composto por dois elementos essenciais: um circuito integrado e uma antena.

O circuito integrado contém um microprocessador e uma memória. Isto permite à etiqueta acessar o registro do identificador na memória.

A antena é usada para se comunicar com o leitor e estender seu alcance de comunicação.

A Figura 2 mostra em mais detalhe estas partes da etiqueta.

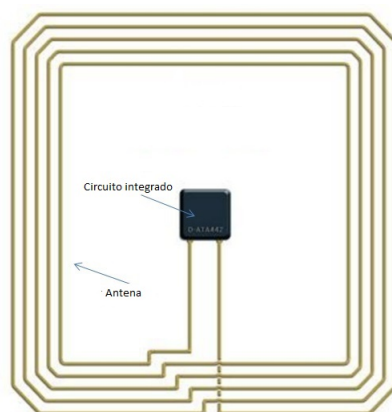


Figura 2: Etiqueta RFID²

3.3.1.1 Classificação das etiquetas RFID

Existem três tipos de etiquetas:

1. Passiva.

Não possui fonte de alimentação própria. A potência é fornecida pela onda de rádio gerada pelo leitor que induz uma corrente na antena para ativar o CI do tag. É importante ressaltar que este será o tipo etiqueta que estudada ao longo deste trabalho

2. Ativa.

Possui uma fonte interna(bateria)que é ativada periodicamente para emitir sinais que serão captados pelo leitor.

3. Semi-ativa.

É uma combinação das etiquetas passivas e ativas. As tag semi-ativas são ativadas com as ondas de rádio recebidas do leitor. Neste momento, a bateria do tag é ligada para energizar a antena. Esta configuração permite estender o tempo de vida útil da bateria.

Outra classificação das etiquetas refere-se ao tipo de programação dos circuitos integrados: se são de leitura unicamente, *read-only* (RO); ou se são de escrita e leitura, *read-write* (RW). Nas etiquetas RO, os registros dos identificadores são codificados na sua fabricação ou programados inicialmente e podem ser somente lidos pelo leitor. Por outro lado, as etiquetas RW apresentam a função de receber informação do leitor- além de enviar seu código de identificação como nas etiquetas RO-.

3.3.2 Leitor

Um interrogador ou leitor que lê e/ou escreve os dados na etiqueta RFID. O leitor serve como interface com o computador de aplicação e tem os seguintes elementos: uma antena e uma placa com microprocessador e memória.

3.3.3 Protocolo de informação

Este representa uma metodologia implementada para permitir a interpretação da informação entre o *tag* e o leitor. Nos últimos anos, diversas organizações tentaram criar padrões para os protocolos de comunicação para os leitores e as etiquetas presentes no mercado. Entre estes formatos temos:

1. EPC Standards Desenvolvido pelo Auto-ID Center no Instituto tecnológico de Massachusetts(MIT), este protocolo fornece um mecanismo para identificar cada objeto em particular.

2. ISO Standards Este protocolo desenvolvido pelo *International Organization for Standarization*(ISO) fornece padrões válidos para mais de 90 países e serve como plataforma comum para facilitar a implementação da tecnologia RFID em todos os continentes.

3.4 Princípios físicos do funcionamento dos sistemas RFID

A maior parte dos sistemas RFID HF operam de acordo com o princípio do acoplamento magnético. Este é o caso do equipamento RFID de 13,56 MHz no qual este trabalho está focado. Por outro lado, ondas eletromagnéticas são usadas em sistemas que operam acima de 30 MHz.¹³ A seguir serão comentados os critérios que determinam as regiões onde cada tipo de princípio de operação se aplica e serão detalhados o acoplamento indutivo e sua modelagem matemática.

3.4.1 Campo próximo vs. campo distante

A vizinhança de fontes de radiação por ondas eletromagnéticas, como no caso de antenas, pode ser dividida em três diferentes regiões¹⁶ : Campo muito próximo (Zona de Rayleigh); Campo próximo (Zona de Fresnel); Campo distante (Zona de Fraunhofer).

O gráfico da Figura 3 exemplifica estas regiões.

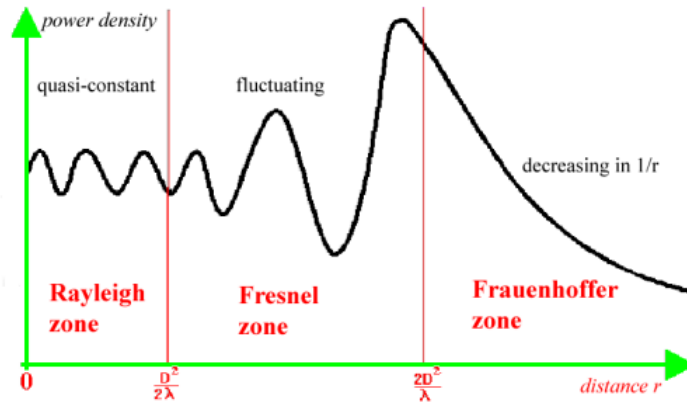


Figura 3: Densidades de potência em função das regiões de Rayleigh, Fresnel e Fraunhofer

16

Uma zona intermediária é algumas vezes definida para descrever a transição entre os campos próximos e o distante. É possível fazer uma aproximação do raio de operação de cada campo em função das dimensões das antenas e frequência de operação.¹⁷ A Figura 4 descreve os raios que delimitam cada região dados por 3.1 e 3.2.

$$R_1 = 0,62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (3.1)$$

$$R_2 = 2\frac{D^2}{\lambda} \quad (3.2)$$

onde D é o comprimento aproximado da antena em estudo e λ o comprimento de onda.

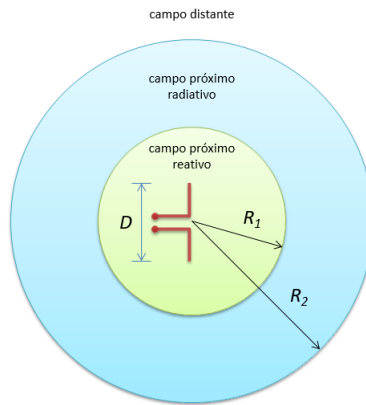


Figura 4: Regiões de campo próximo reativo, campo radiativo e campo distante

17

3.4.2 Acoplamento indutivo

Em um sistema RFID com acoplamento indutivo, a energia é fornecida pela fonte de alimentação do leitor. O leitor, que possui uma antena que gera um campo magnético, induz na bobina do transponder uma corrente para ativar o microchip. Como o comprimento de onda (22,1m na frequência de 13,56 MHz) é várias vezes maior que a distância entre o leitor e o transponder, o campo eletromagnético pode ser tratado como um campo magnético simples alternado.³ Valores típicos do alcance de comunicação dependem do tamanho da etiqueta e variam entre 10 a 70 cm.¹⁸ A Figura 5 exemplifica o fenômeno de acoplamento indutivo entre o leitor e a etiqueta.

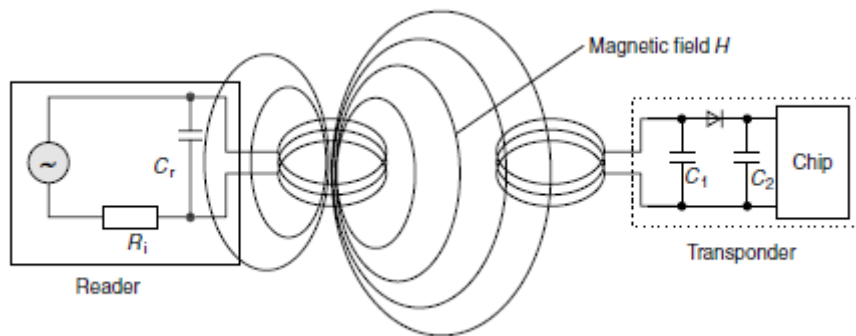


Figura 5: Representação do acoplamento indutivo usado nos sistemas RFID de 13,56 MHz³

Nos sistemas RFID de 13,56 MHz, são usadas geralmente antenas loop que ressoam na frequência estabelecida. Estas antenas irradiam um campo magnético de campo próximo que decai em intensidade com r^{-3} e são chamadas de antenas dipolo magnéticas.⁴ A Figura 6 mostra um caso deste tipo de antena.

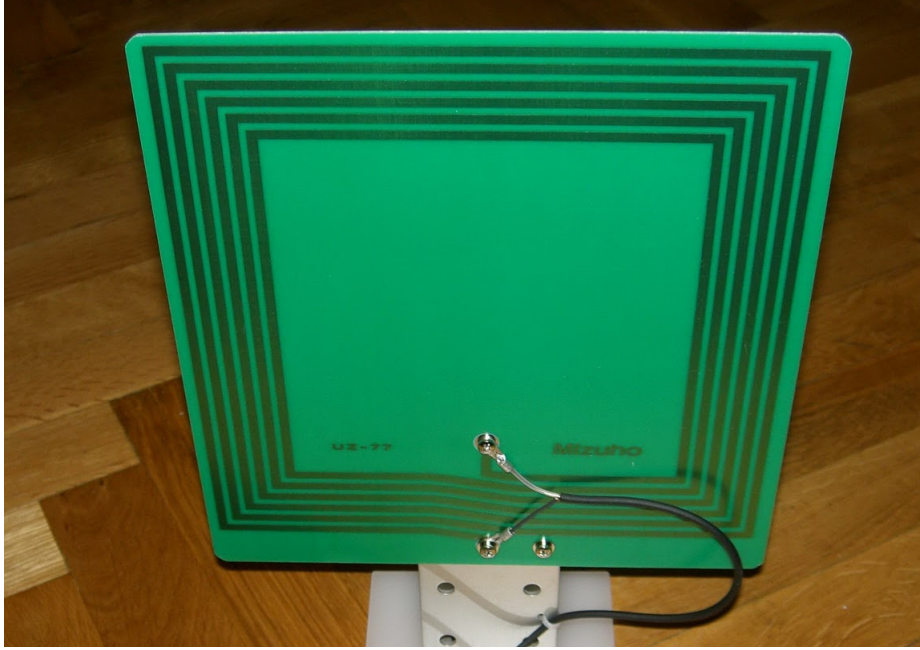


Figura 6: Antena loop retangular⁴

3.5 Modelagem matemática de um sistema RFID HF

O modelo usado pelo sistema RFID de 13,56 MHz é análogo ao de um transformador: a bobina do primário equivale ao circuito do leitor; a bobina do secundário equivale à bobina do transponder; a carga ligada nos terminais do secundário equivale ao microchip de memória. Assim como no caso do transformador, o acoplamento indutivo entre as bobinas do leitor e da etiqueta é modelado por uma indutância mútua.³ O circuito equivalente do sistema RFID é mostrado na Figura 7.

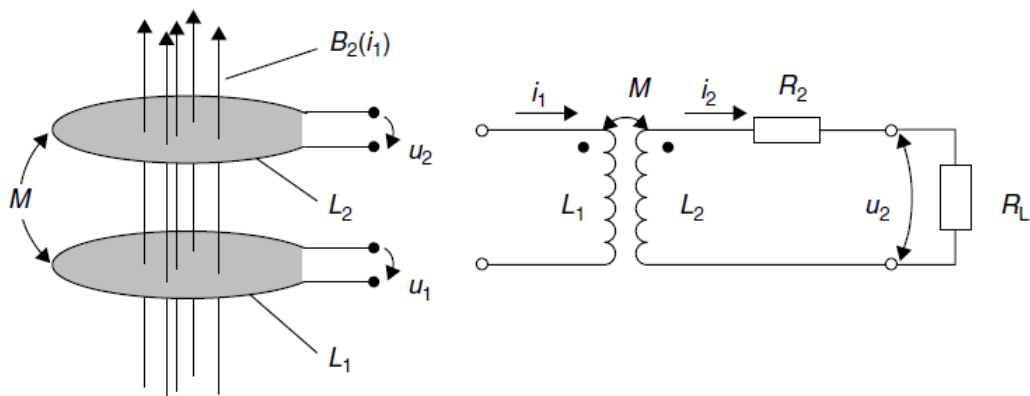


Figura 7: Representação do acoplamento indutivo entre as bobinas do leitor e da etiqueta. Modelo elétrico equivalente do acoplamento indutivo do sistema RFID³

L_1 é a indutância própria da antena do leitor; L_2 é a indutância própria da antena da etiqueta; M é a indutância mútua; R_L é a resistência que representa o consumo de

corrente do CI de memória.

Um fator importante que mede o acoplamento entre as bobinas do leitor e da etiqueta é o fator de acoplamento K . Este fator varia de 0 - acoplamento nulo - a 1 - acoplamento total - e é dado por:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (3.3)$$

3.5.1 Ressonância

A tensão induzida gerada nos terminais de L_2 na bobina do transponder é usada para ativar o microchip (em um transponder passivo). Para aumentar a eficiência do circuito equivalente um capacitor adicional é conectado em paralelo com a bobina do transponder L_2 para formar um circuito ressonante paralelo com a frequência de ressonância que corresponde à frequência de operação do sistema RFID.³ A Figura 8 mostra esta configuração.

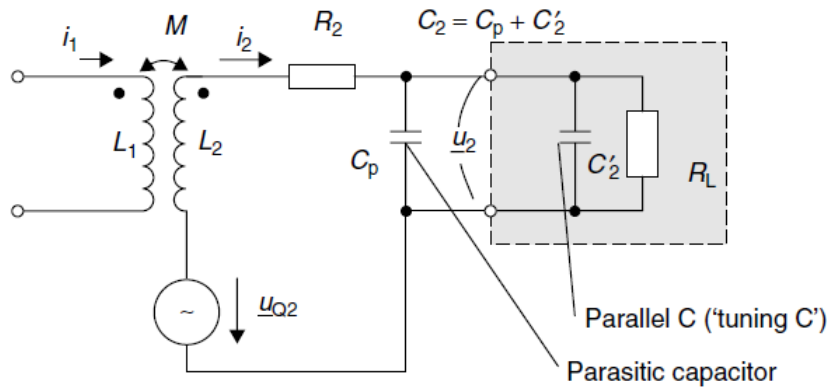


Figura 8: Circuito equivalente do sistema RFID. O transponder é convertido em um circuito paralelo ressonante com a adição do capacitor³

A frequência de ressonância pode ser calculada por 3.4

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}} \quad (3.4)$$

O gráfico da Figura 9 mostra o aumento da eficiência na frequência de operação de 13,56 MHz ao colocar o capacitor C_2 .

Fator de qualidade

Um parâmetro muito importante em um circuito ressonante e que determina a tensão V_0 gerada nos terminais no microchip é o *fator de qualidade* Q dado por⁵:

$$V_0 = 2\pi N S Q B_o \cos\alpha \quad (3.5)$$

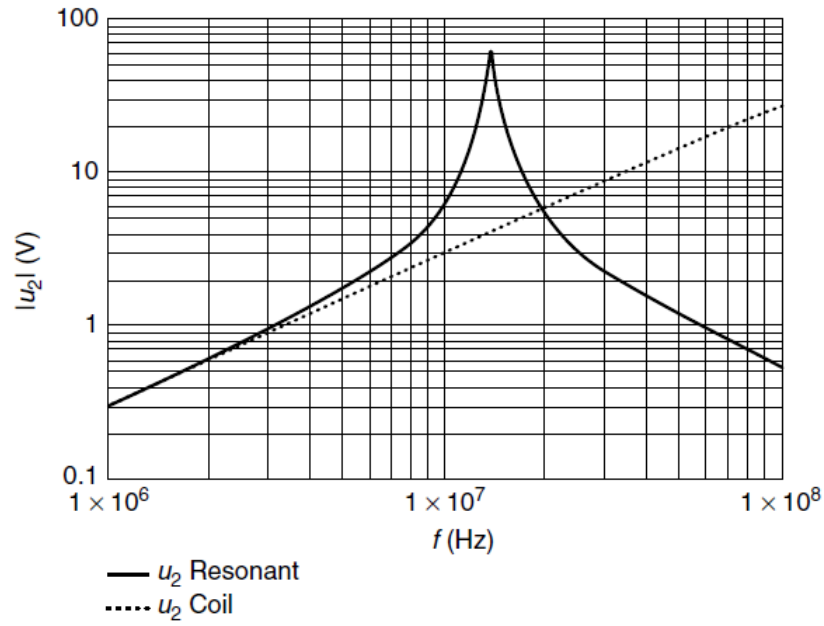


Figura 9: Gráfico da tensão da bobina do transponder em função da frequência (de 1 a 100 MHz) dado um campo magnético constante H ou corrente I ⁵

onde:

f é a frequência de operação; N é o número de voltas do loop; S é a área do loop; Q é o fator de qualidade; B_0 é a intensidade do fluxo magnético; α é o ângulo do sinal de chegada.

O fator de qualidade Q é uma medida da seletividade em frequência do circuito de interesse. Q é definido de várias formas⁴:

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (3.6)$$

$$Q = \frac{\text{reactance}}{\text{resistance}} \quad (3.7)$$

$$Q = \frac{\omega L}{r} \quad (3.8)$$

para indutância;

$$Q = \frac{1}{\omega CR} \quad (3.9)$$

para capacitância;

onde: ω é a frequência angular; f_0 é a frequência de ressonância; B é a banda de frequência; R representa as perdas ohmicas.

Para circuitos paralelos ressonantes como no caso da etiqueta RFID, o fator de qualidade é :

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (3.10)$$

sendo R a resistência de carga; C é a capacitância equivalente do circuito; L é a indutância equivalente do circuito.

3.5.2 Alcance de leitura

O alcance de leitura de uma etiqueta RFID é afetado pelos seguintes fatores⁴:

1. Frequência de operação
2. Tamanho da antena
3. Sintonia entre os circuitos do leitor e das etiquetas
4. Fator de qualidade Q das antenas das etiquetas
5. Sensibilidade do microchip das etiquetas (potência mínima de ativação)
6. Algoritmos de codificação e de decodificação.

Um detalhe importante que deve ser ressaltado neste trabalho, é a necessidade de obter Q alto nos circuitos internos das etiquetas RFID. Para aplicações de longo alcance, recomenda-se que o fator Q da antena sem carga (sem o microchip) seja maior que 100; o fator Q da antena carregada (com o microchip) precisa ser maior que 50. Para obter estes valores, é necessário reduzir a resistência da antena dadas as limitações físicas das placas; isto pode ser obtido aumentando a largura das trilhas das bobinas das antenas.¹⁹

3.5.3 Parâmetros S

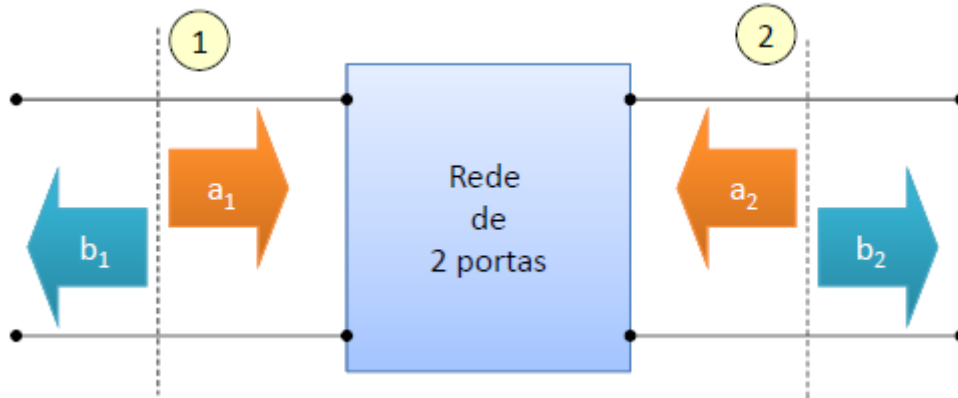


Figura 10: Rede de duas portas⁶

Dispositivos em alta frequência são descritos melhor por parâmetros distribuídos do que os parâmetros concentrados onde não se dispõe facilidade para medidas de tensão e corrente nas portas da rede. Os parâmetros de espalhamento ou parâmetros S surgem para suprir esta necessidade. Neste sentido, a matriz S relaciona as ondas incidentes e as ondas emergentes normalizadas.⁶ A Figura 10 mostra uma rede de duas portas cujo comportamento é descrito por 3.11.

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

onde b_1 e b_2 são as ondas refletidas; a_1 e a_2 são as ondas incidentes;

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix}$$

é a matriz S.

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Ao longo do desenvolvimento do trabalho foram usados diversos materiais. Alguns serviram como base para realizar os testes das etiquetas RFID projetadas - no caso, o Kit de desenvolvimento microID de 13,56 MHz - ; outros serviram para estabelecer simulações para o projeto das antenas - o software HFSS- ; outros foram usados para a construção dos protótipos das *tags* RFID.

4.1.1 Kit de Desenvolvimento microID de 13,56 MHz DV103006

O kit usado é o kit DV103006 da empresa Microchip. Este contém os seguintes itens:

1. Interrogador de Leitura e Escrita de 13,56 MHz
2. Programador de contato PG103003 para o MCRF355/360
3. Duas fontes de alimentação
4. Cabo RS-232
5. Software de interface RF-Lab 13.56
6. Etiquetas rígidas com substrato de FR4
7. 3 CI's MCRF450 no formato DIP

4.1.2 Interrogador de Leitura e Escrita de 13,56 MHz

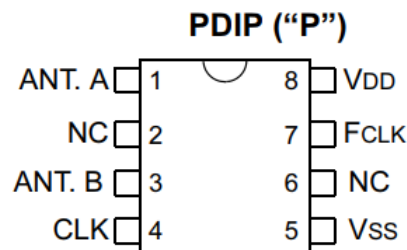
O interrogador da Figura 11 foi usado para excitar as etiquetas RFID passivas comerciais e as dos protótipos. Para medição do circuito de transmissão foram usados os pinos ANT1 e P1. Para mais informação sobre o circuito ressonante da antena do leitor, ver o anexo B.



Figura 11: Interrogador RFID de 13,56 MHz. Fonte: elaborado pelo autor

4.1.3 Circuito integrado de Memória MCRF450

É um dispositivo usado para a construção de RFID passivos. Sua principal diferença reside no fato de possuir uma memória maior de 1K bits e ser programada através do leitor via sinais de RF.¹¹ A configuração do pines do dispositivo no empacotamento PDIP é mostrado na Figura 12.



Note: Pins 4, 7 and 8 are for device test purposes only

NC = Not Connected

MCRF450/451/455: Antenna connections = pins 1, 3 and 5

Figura 12: Configuração dos pines do CI MCRF450.^A

4.1.4 Software de interface RF-Lab 13.56

É um programa que funciona em Windows XP ou em alguma versão anterior de Windows e que permite a comunicação do PC com as placas do integrorador de 13,56 MHz. A comunicação serial com o equipamentos deve ser configurada em 9600 baud, 8 bits de dados, 1 bit de parada e sem paridade.⁷ Deve-se escolher corretamente a porta serial para a transmissão de dados entre a PC host e a placa do leitor.

Para mais informação sobre o *RFLAB*, ler o guia rápido no anexo [C](#)

4.1.4.1 Software de leitura e escrita do MCRF450

A interface de leitura e escrita das memórias das etiquetas com os CI's MCRF450 é mostrada na Figura 13. É possível escolher entre os distintos modos de operação: inventário, leitura contínua, alarme, leitura e escrita.

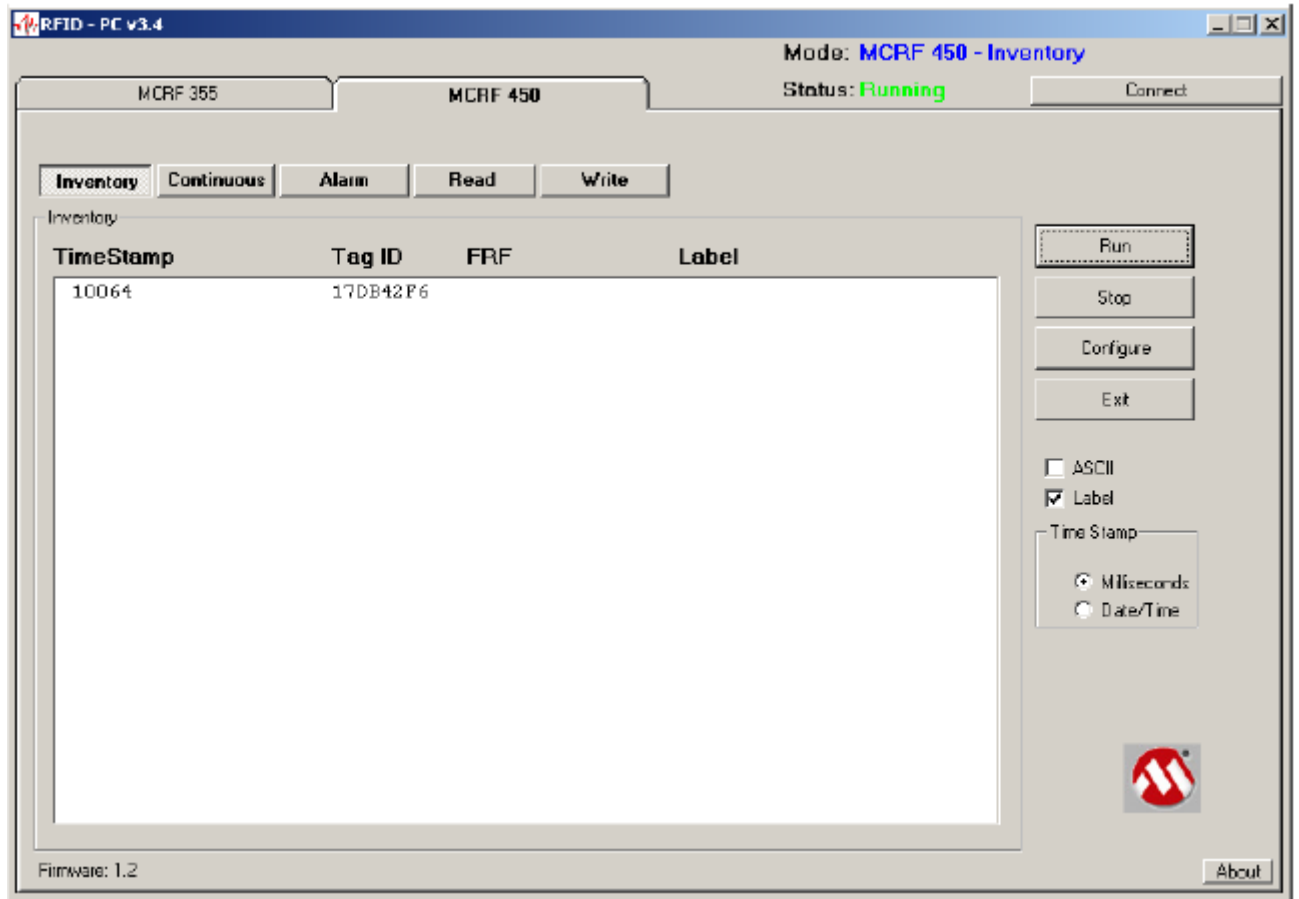


Figura 13: Software de interface de leitura e escrita do MCRF450.⁷

4.1.5 Etiquetas rígidas para uso com o MCRF450

O circuito ressonante LC para recepção de sinais do leitor com o CI MCRF450 é mostrado na Figura 14. O CI de memória pode ser colocado e retirado com facilidade graças ao suporte para empacotamento PDIP.

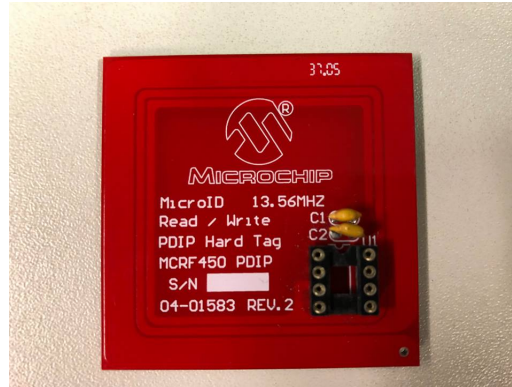


Figura 14: Placa da antena da etiqueta RFID. Fonte: elaborado pelo autor

4.2 Softwares para o projeto de etiquetas RFID

4.2.1 eDesignSuite Antenna Design

Foi usado o programa online *eDesignSuite* da empresa *ST Microelectronics* para o projeto das antenas espirais retangulares.⁸ Como a Figura 15 mostra, o software faz uma estimativa da indutância da antena em função do número do voltas, o comprimento e a largura da antena, as dimensões dos condutores e o tipo de substrato.

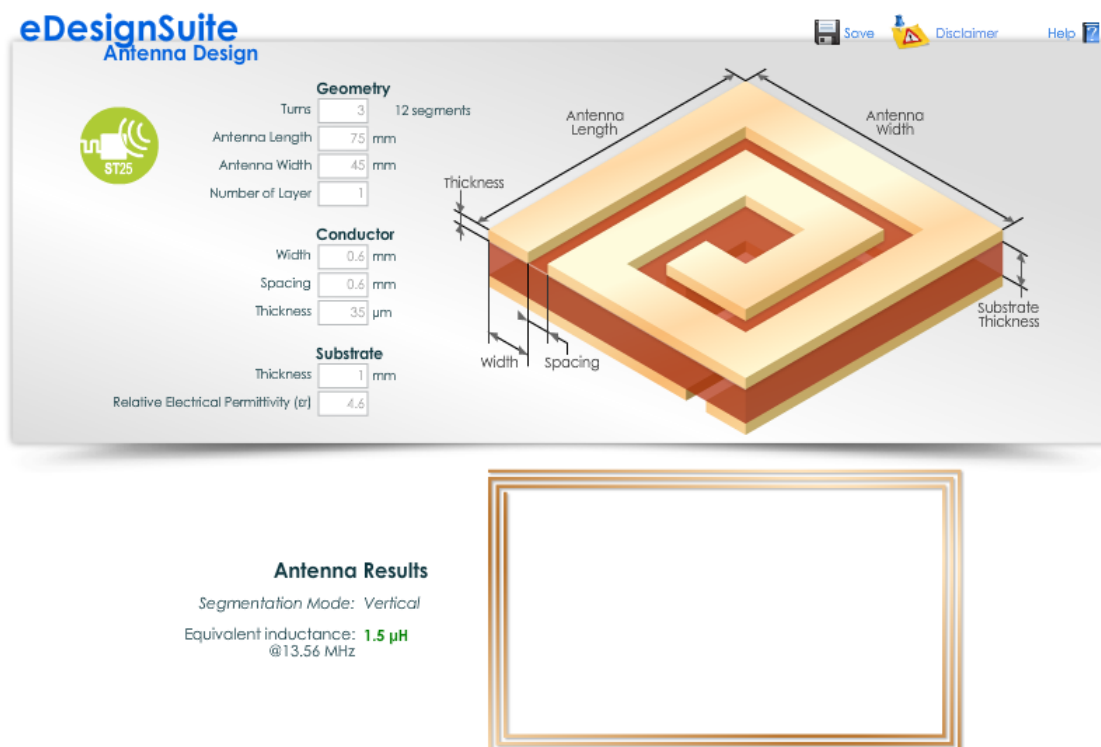


Figura 15: Software eDesignSuite⁸

4.2.2 HFSS

Para o projeto das antenas RFID de alta frequência será utilizado o software HFSS, que permite a simulação de estruturas 3D de natureza eletromagnética como ser antenas, filtros e acopladores.

4.2.3 Matlab

Foi usado o software Matlab para facilitar o cálculo dos componentes das etiquetas RFID projetadas.

4.3 Ferramentas e Materiais para a fabricação das etiquetas RFID

4.3.1 Ferramentas para a confecção das antenas RFID

As ferramentas que serão citadas a seguir foram disponibilizadas no laboratório de Inovação e Empreendedorismo nos Laboratórios de Ensino do departamento de Engenharia Elétrica:

- Ferro de solda

Foi usado o ferro de solda de temperatura variável de 110V da Figura 16.

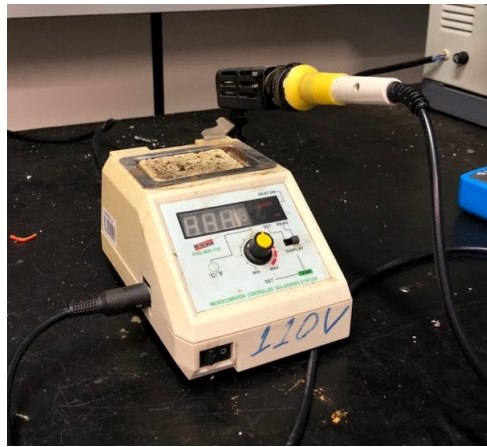


Figura 16: Ferro de solda de temperatura regulável. Fonte: elaborado pelo autor

- Furadeira de bancada

A furadeira da Figura 17 foi usada para as perfurações dos suportes dos circuitos integrados nos substratos de FR4. Foi utilizada uma broca de 1mm de diâmetro.



Figura 17: Furadeira de bancada Schulz. Fonte: elaborado pelo autor

- Prensa térmica para placas de circuito impresso

A prensa da Figura 18 permitiu a fabricação das placas de circuito impresso. A máquina possui temperatura regulável e timer.



Figura 18: Prensa térmica para PCB's. Fonte: elaborado pelo autor

4.3.2 Materiais para a fabricação dos protótipos de etiquetas de RFID

Para a construção das etiquetas foram escolhidos os seguintes materiais:

1. Placas de fibra de vidro com depósito de cobre nas duas faces.

As placas FR4 possuem uma espessura de 1,3 mm. A camada de cobre tem espessura de $35\mu m$ e permissividade relativa ϵ_R de 4,4.

2. Percloreto de ferro

Usado para corroer as placas de circuito impresso.

3. Papel fotográfico A4

Usado para imprimir os circuitos impressos que serão desenvolvidos nas placas de FR4.

4. Capacitores cerâmicos

5. Capacitores variáveis "trimmers"

4.4 Instrumentos de medição

4.4.1 Analisador de rede

Foi utilizada a função de analisador de rede do *RF Analyzer - FieldFox N9912A* 4GHz - mostrado na Figura 19 - para medir os parâmetros S das antenas e CI's estudados.



Figura 19: Analisador de RF FieldFox⁹

4.4.2 Suporte para medição do alcance

De forma a garantir uma medição correta do alcance de comunicação entre o leitor e a etiqueta, foi usado o suporte da Figura 20 que possui uma régua com precisão milimétrica na horizontal. A posição vertical da antena foi ajustada à altura do centro da antena do leitor.

4.4.3 Pontas de prova

As pontas de prova das Figuras 21 e 22 foram construídas para realizar as medições dos parâmetros S com o analisador de rede nas antenas do leitor e das etiquetas. Para isto, foi usado um cabo coaxial com conectores BNC; o cabo foi cortado no meio para obter duas pontas de prova. Os condutores interno e externo expostos foram soldados com fios e isolados com tubos termo retracts. Além disto, na ponta de prova do leitor da Figura 21 foram colocados conectores tipo banana para facilitar o medição.



Figura 20: Suporte milimetrado para as etiquetas RFID. Fonte: elaborado pelo autor

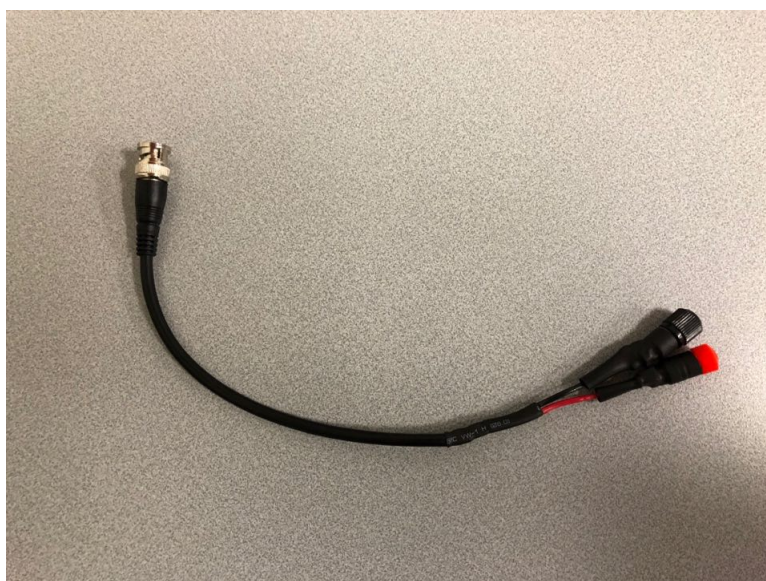


Figura 21: Ponta de prova para medição da antena do leitor. Fonte: elaborado pelo autor

4.5 Metodologia

A elaboração do trabalho consistiu inicialmente no levantamento bibliográfico sobre sistemas RFID em geral e o estudo das suas diferentes aplicações. Posteriormente, a frequência de 13,56 MHz foi escolhida devido a sua ampla utilização em aparelhos comerciais no mercado e passou-se à pesquisa de um kit de desenvolvimento com estas características. Uma vez encontrado o kit *DV103006* que permitiria estabelecer transmissão e recepção de dados entre uma PC e etiquetas RFID, passou-se ao estudo de softwares de simulação que auxiliam no projeto de etiquetas RFID; no caso, o HFSS. Posteriormente, se passou à fase de elaboração das etiquetas RFID propostas e seu análise de desempenho.



Figura 22: Ponta de prova para medição das antenas das etiquetas. Fonte: elaborado pelo autor

4.5.1 Método de simulação com HFSS

O HFSS é um software de simulação de dispositivos em alta frequência desenvolvido pela empresa Ansys. Este programa foi utilizado para simular a antena do leitor como a antena das etiquetas propostas. O método de estudo consistiu primeiramente na modelagem 3D da estrutura adicionando os materiais correspondentes como cobre para as trilhas condutoras e FR4 epoxi para o substrato. Após esta etapa, passou-se à definição das fronteiras e das portas de excitação. Com isto, se fez uma análise dos parâmetros S e impedância de entrada em uma faixa de frequência estabelecida centrada em 13,56 MHz. Uma ferramenta importante que foi usada em particular foi o *Optometrics* que permitiu fazer uma varredura nas variáveis que modelavam as dimensões da antena. Isso facilitou a otimização de parâmetros de interesse como ser a frequência de ressonância e o fator de qualidade do transponder.

4.5.2 Método de confecção das etiquetas RFID

As configurações das antenas foram impressas em papel fotográfico com uma impressora laser. As impressões foram colocadas sobre as placas de FR4 e aquecidas na prensa térmica por quinze minutos a uma temperatura de 180 graus Celsius. Depois deste processo, as configurações das antenas ficaram marcadas com tinta sobre as placas de FR4. Eventuais defeitos na superfície das tintas foram corrigidos com um marcador de tinta permanente. A seguinte fase consistiu em submergir as placas no perclorato de ferro por quinze minutos para sua corrosão. Posteriormente, as placas com as bobinas já definidas foram perfuradas com uma broca de 1mm com o objetivo de colocar o suporte do circuito integrado e os capacitores do circuito ressonante. Finalmente, os componentes

foram soldados com estanho.

4.5.3 Métodos de caracterização dos dispositivos RFID

Após a construção das etiquetas, estas foram medidas com o analisador de rede *Fieldfox* para a determinação experimental dos seus parâmetros S.

Como a Figura 23 mostra, a frequência de ressonância pode ser determinada a partir do mínimo do módulo do parâmetro S_{11} . Nesta frequência, o circuito absorve o sinal enquanto que em outras frequências o sinal é refletido.

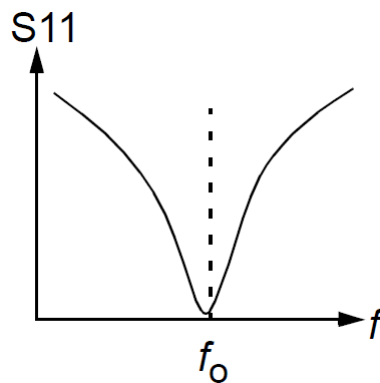


Figura 23: Frequência de ressonância e parâmetro S_{11} ¹⁰

Outra forma de determinar a frequência de ressonância é a partir da medição da impedância. Para um circuito ressonante RLC em paralelo, a impedância é máxima na ressonância como mostrado na Figura 24

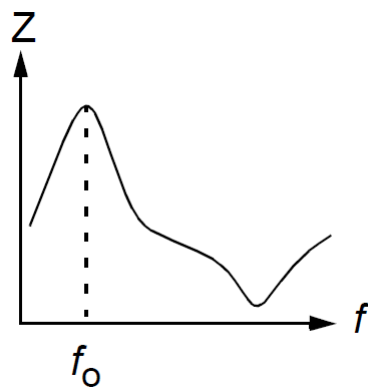


Figura 24: Frequência de ressonância e impedância Z ¹⁰

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 Caracterização do kit comercial

Foram feitas medições com o analisador de rede dos parâmetros S_{11} dos circuitos ressonantes do leitor e das etiquetas RFID para determinar a frequência de ressonância experimental.

5.1.1 Caracterização do circuito do leitor

A frequência de ressonância do leitor obtida foi de 14,17 MHz, como mostrado pela Figura 25. Isto representa uma variação de 4,5 por cento em relação à frequência nominal do leitor de 13,56 MHz.

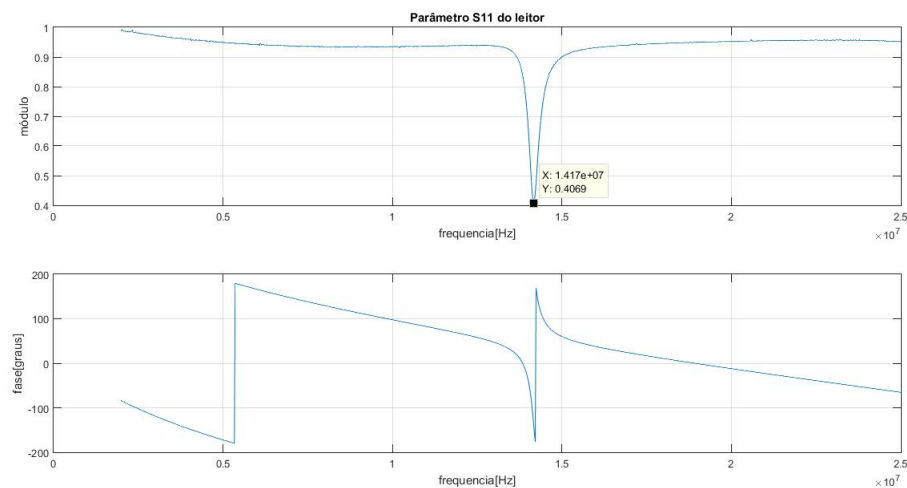


Figura 25: Módulo e fase do parâmetro S_{11} do leitor Fonte: elaborado pelo autor

5.1.2 Caracterização do circuito da etiqueta para o MCRF450

A Frequência de ressonância da etiqueta RFID comercial foi de 13,96 MHz. A Figura 26 mostra os gráficos obtidos com o analisador de rede.

Após as medições descritas, foi medido o alcance entre o leitor RFID e a etiqueta comercial. Neste contexto, foi obtido um alcance máximo de 23 cm. A Tabela abaixo resume estas medições.

	f_r [MHz]	Q	Alcance [cm]
Etiqueta Comercial	14,17	16	23

Tabela 1: Frequência de ressonância, fator de qualidade e alcance da etiqueta comercial
Fonte: elaborado pelo autor

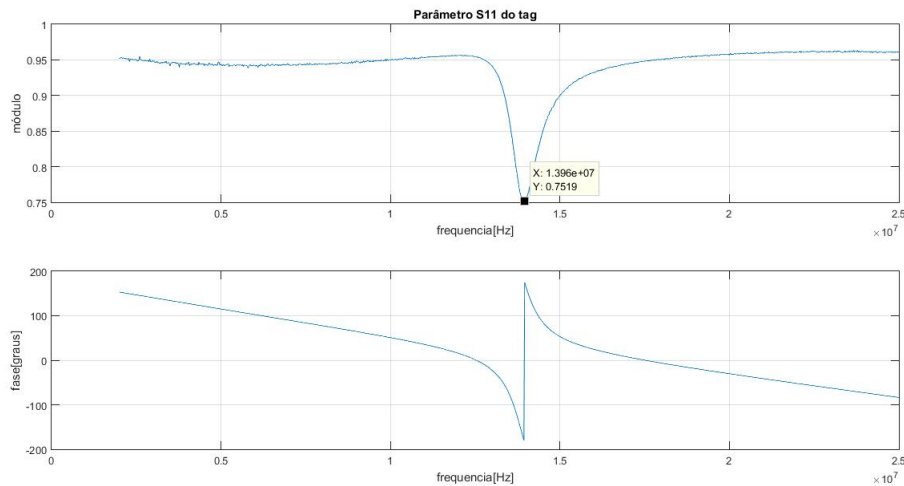


Figura 26: Módulo e fase do parâmetro S_{11} da etiqueta RFID para o MCRF450 Fonte: elaborado pelo autor

5.2 Projeto das antenas das etiquetas RFID

5.2.1 Escolha da configuração do circuito ressonante

O circuito integrado MCRF450 apresenta duas configurações para o circuito de ressonância ao qual são ligados. Foi escolhido o circuito da Figura 27 que possui um indutor ou antena L e dois capacitores C_1 e C_2 . As conexões entre a antena e os capacitores podem ser vistos com maior detalhe no datasheet do MCRF450 [A](#).

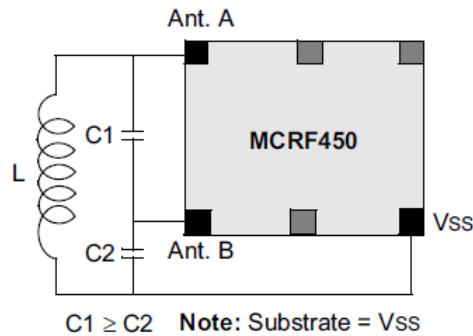


Figura 27: Configuração dos circuitos equivalentes das etiquetas com o CI MCRF450 [A](#)

5.2.2 Projeto das antenas das etiquetas

Para o projeto das antenas das etiquetas foi escolhida a antena espiral retangular da Figura 28. Esta configuração é usada comumente em etiquetas RFID e permite o ajuste da sua indutância e seu fator de qualidade em função das dimensões da antena e dos seus condutores.

Neste sentido, o software *eDesignSuite* foi de particular interesse pois serviu como ponto de partida no projeto das antenas RFID. Considerando que se tem a disponibilidade

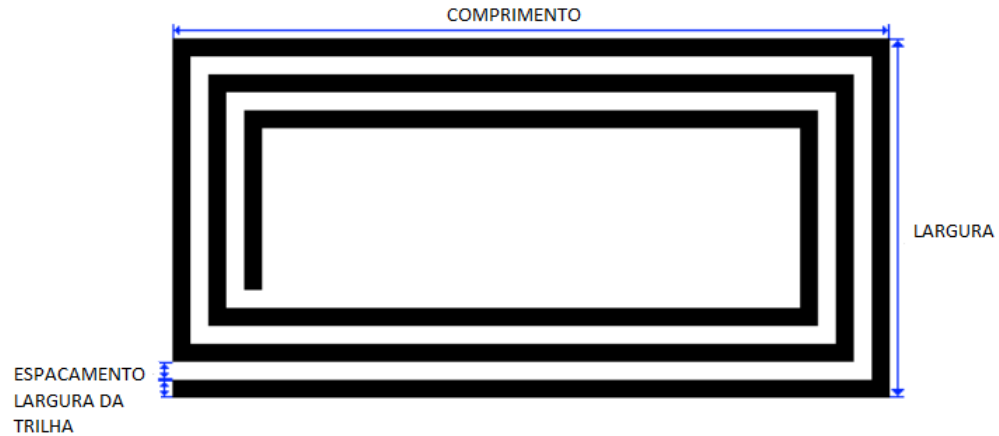


Figura 28: Antena espiral retangular Fonte: elaborado pelo autor

capacitores de 100pF e que a frequência de ressonância dever ser igual à do leitor em 14,17 MHz, os valores das dimensões da antena retangular foram variados até obter indutâncias na ordem de microHenry.

Em relação ao tamanho das etiquetas RFID, se adotou o padrão ISO/IEC 7810 que estabelece os requisitos de cartões de identificações aceitos internacionalmente. Em particular, foi escolhido o tipo de cartão ID-1 do standard ISO/IEC 7810 que possui as dimensões de 85,56 mm x 53,98 mm²⁰; a espessura das placas foi de 1,3 mm como discutido na seção 4.3.2.

Além do software *eDesignSuite*, foi desenvolvido um código suporte no matlab para o cálculo da indutância das antenas em função dos capacitores escolhidos.

As dimensões iniciais de projeto dos protótipos obtidos com o *eDesignSuite* são mostrados na Tabela 2 onde: L_1 é o comprimento da antena; L_2 é a largura da antena; W é largura da trilha da antena; S é o espaçamento entre os condutores; H é a espessura da placa de FR4; E é a espessura da trilhas de cobre; L é a indutância equivalente da antena.

Protótipo	Número de Espiras	L_1 [mm]	L_2 [mm]	W [mm]	S [mm]	H [mm]	E [um]	L [uH]
A	3	80	50	1	0,4	1,3	35	1,55
B	4	80	50	1	1	1,3	35	2,51
C	5	70	45	1	0,8	1,3	35	2,56

Tabela 2: Dimensões iniciais dos protótipos projetados com o *eDesignSuite*

Como a 2 mostra, foram escolhidas dimensões das antenas próximas das máximas permitidas pelo standard de 8,1 cm X 4,9 cm. Isto permite aumentar o fluxo magnético captado pela antena.²¹

5.2.3 Simulações das etiquetas RFID no HFSS

O processo de simulação foi dividido em duas etapas: a simulação do kit comercial e a simulação dos protótipos para sua otimização. Cada etapa será discutida em maior detalhe a continuação.

5.2.3.1 Simulação das antenas do kit comercial

As antenas das etiquetas do kit comercial foram modeladas no HFSS com o objetivo de determinar sua indutância equivalente e seu fator de qualidade Q correspondente. A Figura 29 mostra o modelo obtido para a antenas das etiquetas.

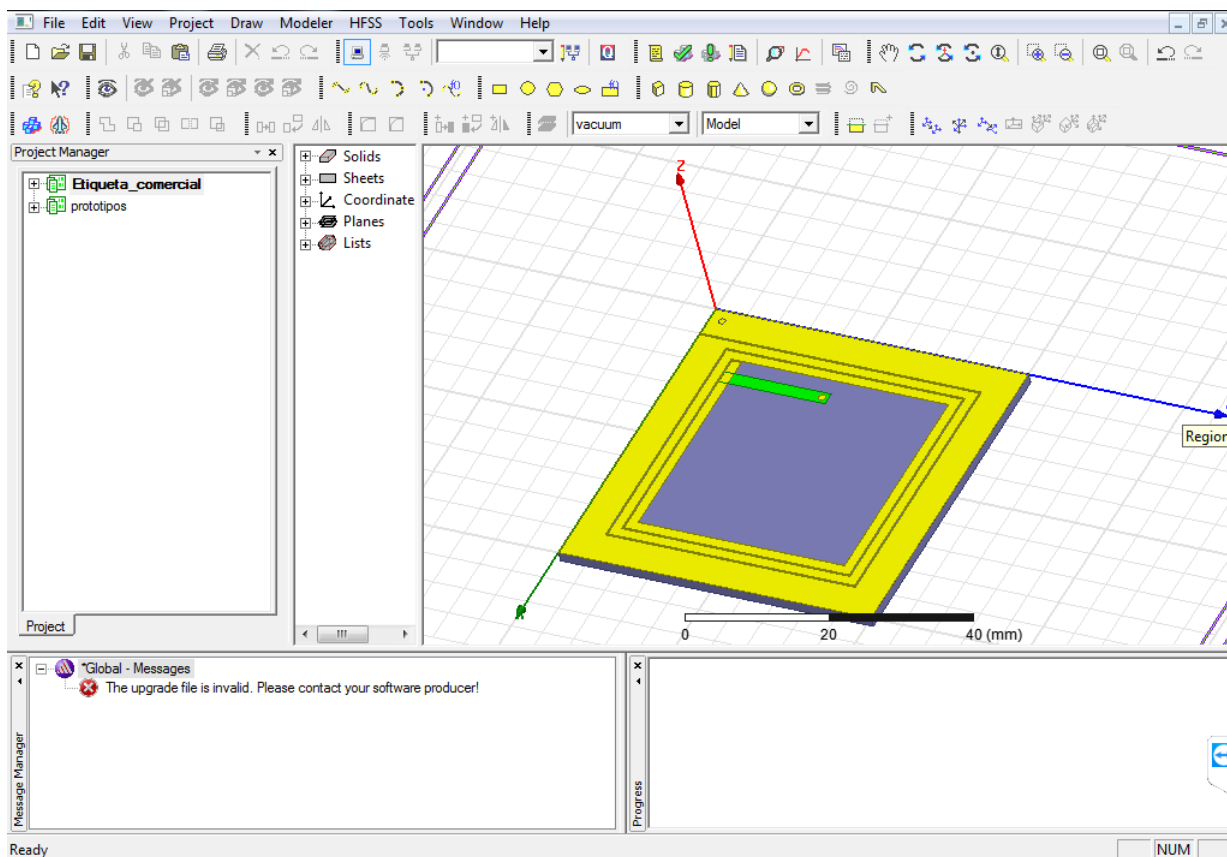


Figura 29: Modelo da etiqueta do kit comercial Fonte: elaborado pelo autor

No caso da antena da etiqueta RFID, a indutância equivalente obtida foi de $6\mu H$ e seu fator de qualidade foi 16,23.

5.2.3.2 Simulação e otimização das antenas das etiquetas RFID projetadas

A partir das antenas projetadas com o *eDesignSuite*, estas foram modeladas no HFSS para sua otimização. A Figura 30 mostra o modelo obtido e as dimensões parametrizadas. Estas variáveis foram variadas com a ferramenta *Optimetrics* com o objetivo de centrar a frequência de ressonância em 14,15 MHz e de aumentar o fator de qualidade da antena.

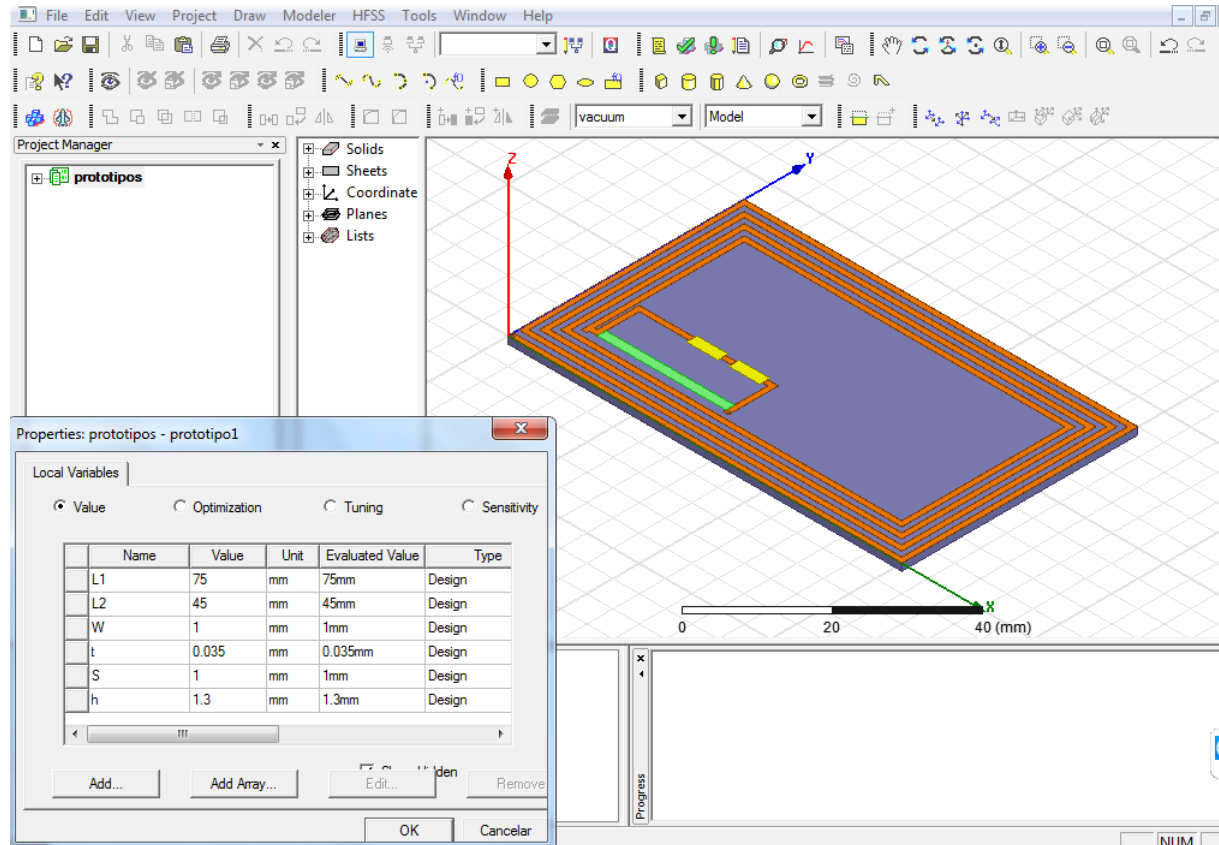


Figura 30: Modelo da etiqueta retangular espiral e variáveis de parametrização Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 3 mostra as dimensões finais das antenas e os valores dos capacitores C_1 e C_2 ; a Tabela 3 também mostra os valores obtidos da indutância equivalente da antena L e seu fator de qualidade Q .

Protótipo	N	L_1 [mm]	L_2 [mm]	W [mm]	S [mm]	H [mm]	E [um]	C_1 [pF]	C_2 [pF]	L [uH]	Q
A	3	81	49	1,6	0,5	1,3	35	100	47	1,55	37,6
B	4	81	49	1,6	0,5	1,3	35	47	47	2,51	39,64
C	5	81	49	1,6	0,5	1,3	35	47	24	2,56	40,16

Tabela 3: Variáveis dos protótipos finais obtidos após simulação no HFSS

5.3 Caracterização das antenas fabricadas

As etiquetas RFID com dimensões finais da Tabela 3 foram construídas conforme discutido na seção de metodologia. As Figuras 31, 32 e 33 mostram os protótipos obtidos.

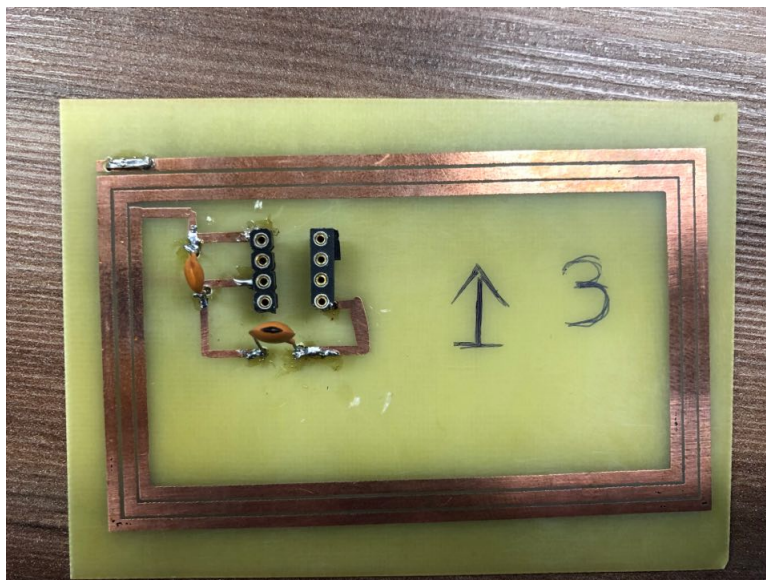


Figura 31: Etiqueta fabricada de três espiras Fonte: elaborado pelo autor

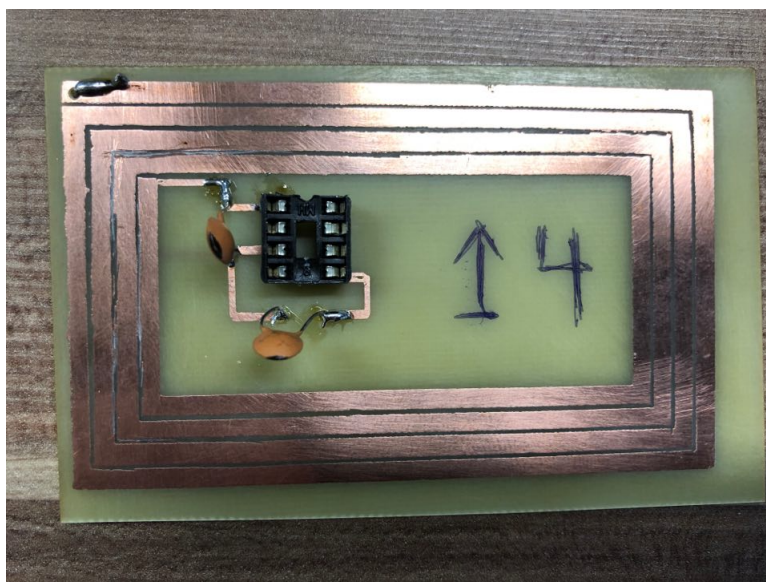


Figura 32: Etiqueta fabricada de quatro espiras Fonte: elaborado pelo autor

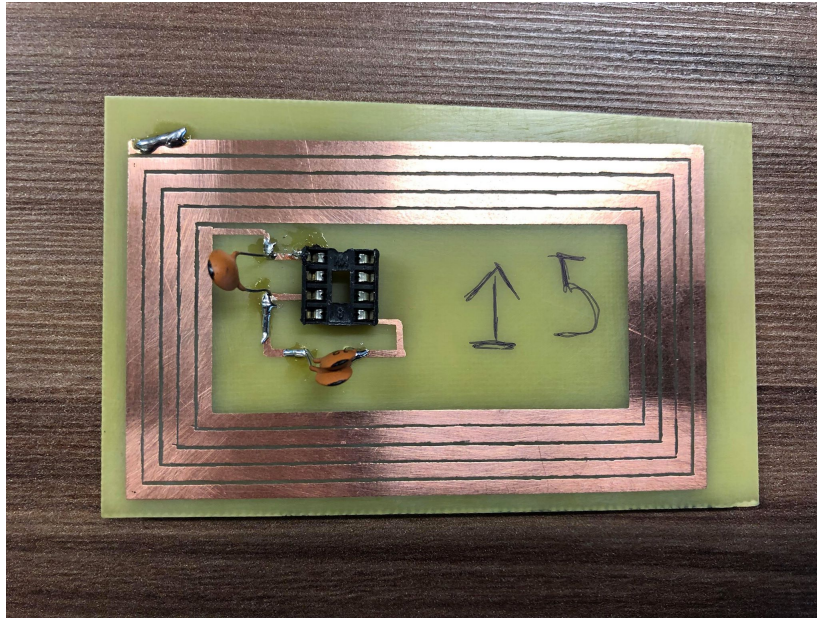


Figura 33: Etiqueta fabricada de cinco espiras Fonte: elaborado pelo autor

Posteriormente, as etiquetas foram medidas com o analisador de rede com o objetivo de determinar a frequência de ressonância e o fator de qualidade. Os gráficos das Figuras 34, 35 e 36 mostram as medições obtidas. A Tabela 4 resume os resultados da frequência de ressonância e o fator de qualidade.

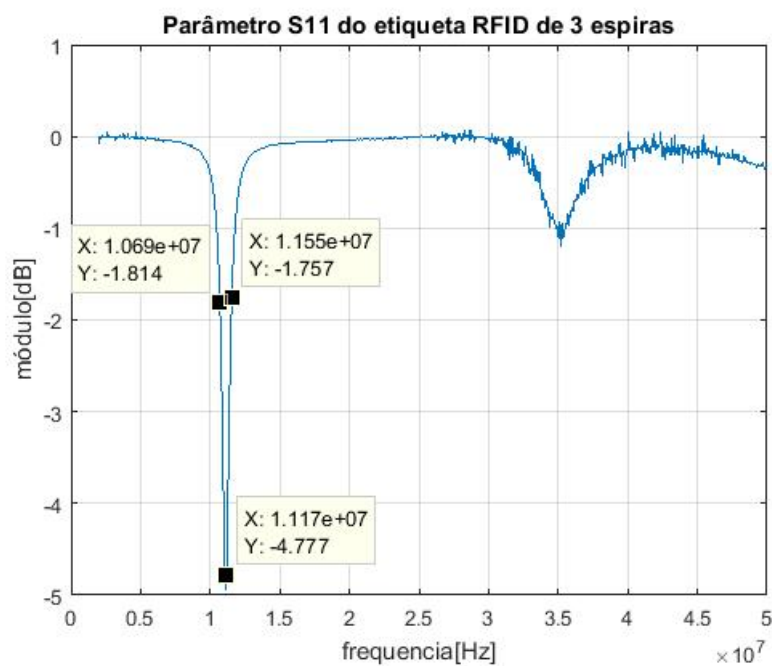


Figura 34: Módulo do parâmetro S_{11} da antena RFID de 3 espiras Fonte: elaborado pelo autor

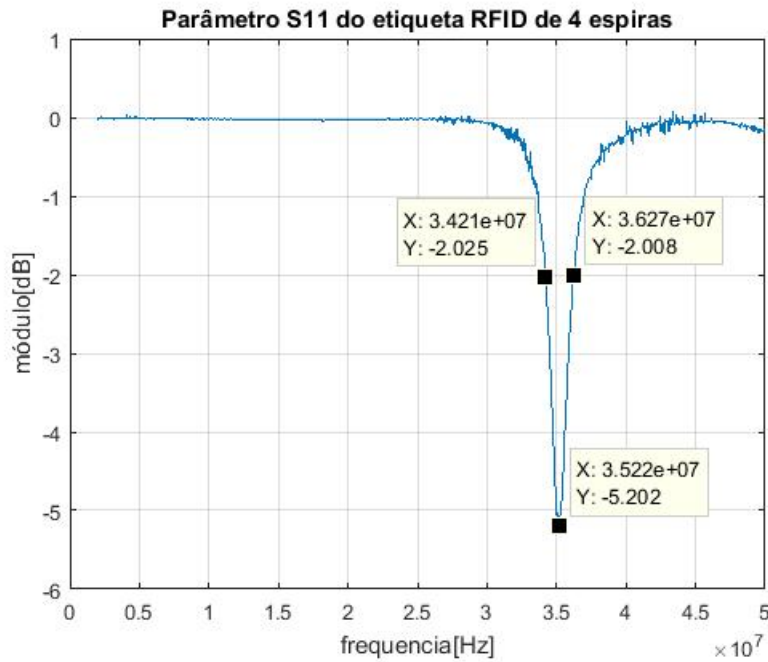


Figura 35: Módulo do parâmetro S_{11} da antena RFID de 4 espiras Fonte: elaborado pelo autor

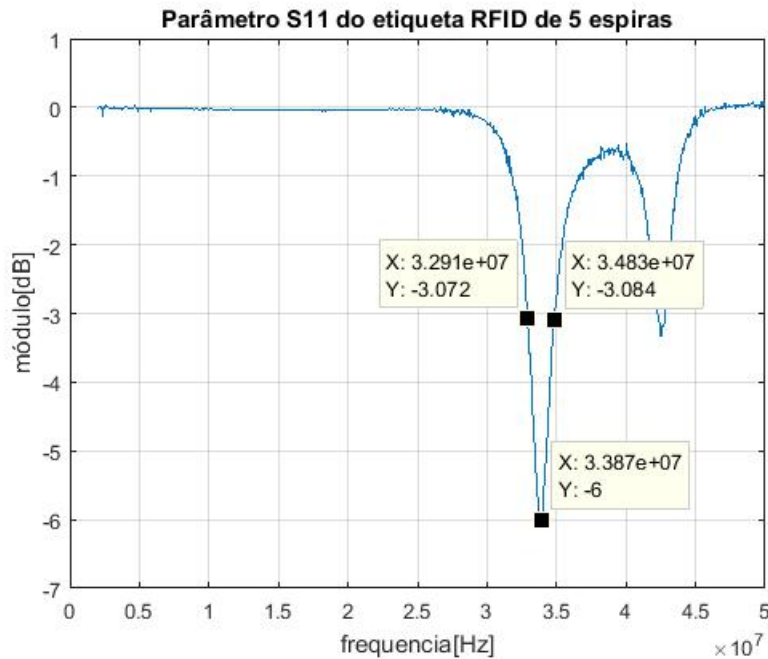


Figura 36: Módulo do parâmetro S_{11} da antena RFID de 5 espiras Fonte: elaborado pelo autor

Na seguinte fase, as etiquetas foram testadas já com o circuito integrado de memória MCRF450 para determinar o alcance final obtido. Devido à diferença entre a frequência de ressonância do leitor e das etiquetas dos protótipos B e C, não se esperava que existisse comunicação entre ambos objetos. Por outro lado, se esperava que o protótipo A tenha algum tipo de resposta. Na prática não houve nenhum sinal captado entre o protótipo A e o leitor. Estes resultados são ilustrados na Tabela 5.

Protótipo	N	f_r [MHz]	Q
A	3	11,17	17,64
B	4	35,22	17,00
C	5	33,87	12,98

Tabela 4: Frequência de ressonância e fator de qualidade dos tres protótipos de etiquetas RFID fabricadas

Protótipo	A	B	C
Alcance de leitura [cm]	0	0	0

Tabela 5: Alcance de leitura dos protótipos elaborados

5.4 Análise comparativo entre as etiquetas comerciais e as fabricadas

A performance das etiquetas confeccionadas não foi o esperado visto que não foi possível melhorar o alcance das etiquetas comerciais. A principal causa da falta de sintonia se deve à elevada tolerância dos capacitores comerciais. Se tentou contornar este problema utilizando capacitores variáveis mas estes também não tiveram um funcionamento desejado.

6 CONCLUSÃO

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, foram testados diferentes métodos para a fabricação de placas de circuito impresso. O processo de confecção das antenas RFID com papel fotográfico, prensa térmica e percloreto de ferro gerou protótipos com boa resolução.

Por outro lado, o software de simulação HFSS foi de grande ajuda para o projeto das etiquetas RFID pois permitiu a parametrização das dimensões das antenas retangulares para a otimização da frequência de ressonância e o fator de qualidade.

Embora as etiquetas confeccionadas não tenham mostrado resultados favoráveis, é possível resgatar algumas conclusões importantes. A primeira delas é sobre a qualidade dos componentes utilizados: é aconselhado utilizar capacitores com tolerância baixa ou utilizar capacitores "trimmers" de boa qualidade. Pequenas mudanças nos valores das capacitâncias provocam um deslocamento significativo da frequência de ressonância. Outra recomendação que pode ser feita é em relação à metodologia para a elaboração das etiquetas: existem treinamentos ministrados por empresas focados no desenvolvimento de etiquetas RFID; estes cursos certamente facilitariam o projeto dos sistemas de identificação por radiofrequência. O autor, por exemplo, consultou a empresa representante da Ansys (desenvolvedora do HFSS) no Brasil, a ESSS. Com maior financiamento é possível obter acesso à metodologia de desenvolvimento de etiquetas RFID da Ansys. Finalmente é possível dizer que apesar que as antenas projetadas não tiveram um desempenho adequado, o trabalho servirá como ponto de partida para o projeto de novas etiquetas.

REFERÊNCIAS

- 1 E. Disponível em: <<http://optimotion.tech/identificacion-radiofrecuencia>>.
- 2 Disponível em: <<https://www.analogictips.com/rfid-tag-and-reader-antennas/>>.
- 3 FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**. 3a. ed. [S.l.: s.n.], 2003. 41 p.
- 4 LEE, P. Y. **Antenna Circuit Design for RFID Applications**. [S.l.], 2003. 23 p. AN710.
- 5 LEE, Y. **Antenna Circuit Design for RFID Applications**. [S.l.], 2003. 4 p. AN710.
- 6 CÉSAR, A. C. **Matriz Espalhamento (S) Parte 1**. [S.l.], 2015. Slides da disciplina SEL 369 Micro-ondas.
- 7 QUICK Start Guide for DV103006. [S.l.], 2002.
- 8 Disponível em: <https://my.st.com/analogsimulator/flex_app/bin/eds_antenna_design.html>.
- 9 Disponível em: <<https://www.keysight.com/en/pdx-x201924-pn-N9914A/fieldfox-handheld-rf-analyzer-65-ghz?cc=BR&lc=por>>.
- 10 LEE, Y. **System Design Guide**. [S.l.], 2004. 117 p. AN710.
- 11 MCRF450 Datasheet. [S.l.], 2003. 2 p.
- 12 FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**. [S.l.]: John Wiley and Sons, Ltd., 2003. 60 p.
- 13 BANKS, J.; HANNY, D.; PACHANO, M. A.; G. THOMPSON, L. **RFID APPLIED**. [S.l.: s.n.], 2007.
- 14 FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**. [S.l.]: John Wiley and Sons, Ltd., 2003. 60 p.
- 15 Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?1338/2>>.
- 16 DAOUT, B.; SALLIN, M. **TN14: Near field/ Far field**. [S.l.]. Technical note.
- 17 BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis Design**. 3a. ed. [S.l.]: John Wiley and Sons, Inc., 2005. 34 p.
- 18 FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**. 3a. ed. [S.l.: s.n.], 2003. 104 p.
- 19 LEE, Y. **RFID Tag and COB Development Guide with Microchip's RFID Devices**. [S.l.], 2002. 1 p. AN830.

20 Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/31432.html>>.

21 O.MOURAD, P. T.; STARAJ, R. **Optimized Rectangular Loop Antenna Design for RFID Contactless Teleticketing**. [S.l.]. University of Nice - Sophia Antipolis, France.

Anexos

ANEXO A – VERSÃO SIMPLIFICADA DO DATASHEET DO MCRF450

[Link da versão completa do MCRF450](#)



MICROCHIP MCRF450/451/452/455

13.56 MHz Read/Write Passive RFID Device

Features

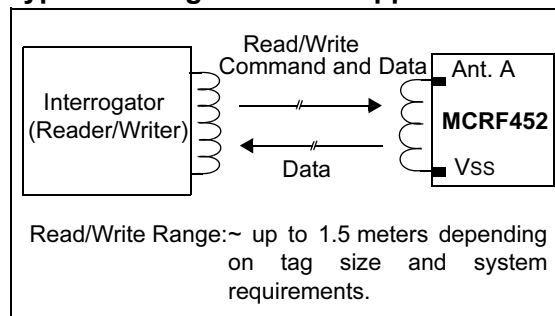
- Contactless read and write with anti-collision algorithm
- 1024 bits (32 blocks) of total memory
- 928 bits (29 blocks) of user programmable memory
- Unique 32-bit tag ID (factory programmed)
- 32 bits for data and 16 bits for CRC per block
- Block write protection
- 70 Kbit/s read data rate (Manchester format)
- Special bit (Fast Read) for fast identification and anti-counterfeit applications (EAS)
- 1-of-16 PPM encoding for writing data
- Interrogator-Talks-First (ITF) or Tag-Talks-First (TTF) operation
- Long range for reading and writing
- High-speed anti-collision algorithm for reading and writing
- Fast and Normal modes for write data speed
- Anti-tearing feature for secure write transactions
- Asynchronous operation for low power consumption and flexible choice of carrier frequency bands
- Internal resonance capacitors (MCRF451/452/ 455)
- Two pad connections for external antenna circuit (MCRF452)
- Three pad connections for external antenna circuit (MCRF450, 451, 455)
- Very low power CMOS design
- Die in waffle pack, wafer, wafer on frame, bumped wafer, COB, PDIP or SOIC package options

Applications

- **Item Level Tagging:** To read and write multiple items in long read range environment.
- **Anti-Counterfeit:** The device has a unique feature to distinguish between paid, unpaid or returned merchandise.
- **Inventory Management:** Tag's data can be read or updated (written) in multiple tags and long range environment. Its memory (32 blocks, 1 Kbit, each block = 32 bits) is well organized for the inventory management applications.
- **Product Identifications**
 - Airline Baggage Tracking
 - Book Store and Library Book ID
- **Low Cost Animal Ear Tags:** The device's long range reading performance combined with 1 Kbit of memory is suitable for animal tagging applications. Tag cost can be cheaper and read range is much longer than existing 125 kHz conventional animal ear tags.
- **Toys and Gaming Tools:** Device's anti-collision feature for reading and writing allows to make intelligent interactive toys and gaming tools.
- **Access Control and Time Attendance Cards:** Device's long range performance allows to make long range access control, parking lot entry, and time attendance cards.

Inexpensive finished tags and readers are available from Microchip's worldwide OEM partners. Please contact Microchip Technology Inc. near you or visit <http://www.microchip.com> for further product information and inquiries for your applications.

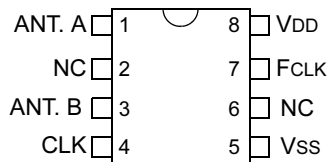
Typical Configuration for Applications



MCRF450/451/452/455

Package Types

PDIP ("P")

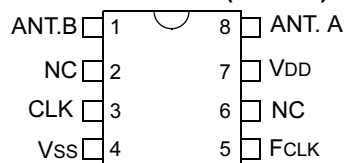


Note: Pins 4, 7 and 8 are for device test purposes only
NC = Not Connected

MCRF450/451/455: Antenna connections = pins 1, 3 and 5

MCRF452: Antenna connections = pins 1 and 5

ROTATED SOIC ("X/SN")

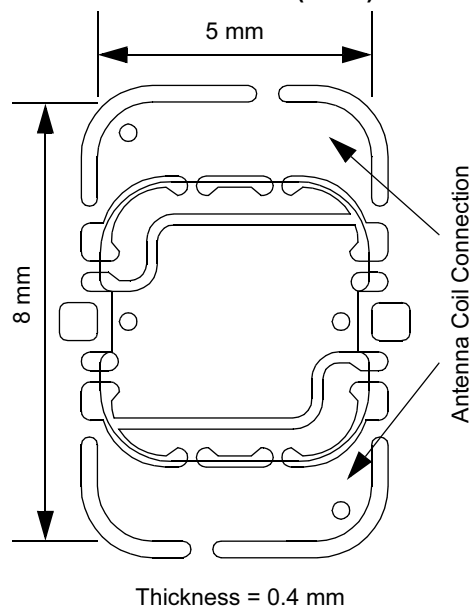


Note: Pins 3, 5 and 7 are for device test purposes only
NC = Not Connected

MCRF450/451/455: Antenna connections = pins 1, 4 and 8

MCRF452: Antenna connections = pins 4 and 8

MCRF450 COB ("7M")



1.0 DESCRIPTION OF DEVICE FEATURES

The MCRF450/451/452/455 is a contactless read/write passive RFID device that is optimized for 13.56 MHz RF carrier signal. The device needs an external LC resonant circuit to communicate wirelessly with the Interrogator. The device is powered remotely by rectifying an RF signal that is transmitted from the Interrogator and transmits or updates its contents from memory-based on commands from the Interrogator.

The device is engineered to be used effectively for item level tagging applications, such as retail and inventory management, where a large volume of tags are read and written in the same Interrogator field.

The device contains 32 blocks (B0-B31) of EEPROM memory. Each block consists of 32 bits. The first three blocks (B0-B2) are allocated for device operation, while the remaining 29 blocks (B3-B31: 928 bits) are for user data. Block 1 contains unique 32 bits of Tag ID. The Tag ID is preprogrammed at the factory and write protected.

All blocks, except for the Tag ID (Block 1), are contactlessly writable block-wise by Interrogator commands. All data blocks, with the exception of bits 30 and 31 in Block 0, are write-protectable.

The device can be configured as either Tag-Talks-First (TTF) or Interrogator-Talks-First (ITF). In TTF mode, the device transmits its fast response data (160 bits max., see Example 9-1) as soon as it is energized, then waits for the next command. In ITF mode, the device requires an Interrogator command before it sends any data. The control bits for TTF and ITF modes are bits 30 and 31 in Block 0.

All downlink commands from the Interrogator are encoded using 1-of-16 Pulse Position Modulation (PPM) and specially timed gap pulses. This encoded information amplitude modulates the Interrogator's RF carrier signal.

At the other end, the MCRF450/451/452/455 device demodulates the received RF signal and then sends data (from memory) at 70 Kbit/s back to the Interrogator in Manchester format.

The communication between Interrogator and device takes place asynchronously. Therefore, to enhance the detection accuracy of the device, the Interrogator sends a time reference signal (time calibration pulse) to the device, followed by the command and programming data. The time reference signal is used to calibrate timing of the internal decoder of the device.

There are device options for the internal resonant capacitor between antenna A and Vss: (a) no internal resonant capacitor for the MCRF450, (b) 100 pF for the MCRF451, (c) two 50 pF in series (25 pF in total) for the MCRF452 and (d) 50 pF for the MCRF455. The internal resonant capacitors for each device are shown in Figures 2-2 through 2-5.

The MCRF450 needs an external LC resonant circuit connected between antenna A, antenna B and Vss pads. See Figure 2-2 for the external circuit configuration. The MCRF452 needs a single external antenna coil only between antenna A and Vss pads, as shown in Figure 2-4.

This external circuit, along with the internal resonant capacitor, must be tuned to the carrier frequency of the Interrogator for maximum performance.

When a tag (device with the external LC resonant circuit) is brought to the Interrogator's RF field, it develops an RF voltage across the external circuit. The device rectifies the RF voltage and develops a DC voltage (VDD). The device becomes functional as soon as VDD reaches the operating voltage level.

The device then sends data stored in memory to the Interrogator by turning on/off the internal modulation transistor. This internal modulation transistor is located between antenna B and Vss. The modulation transistor has a very small turn-on resistance between Drain (antenna B) and Source (Vss) terminals during its turn-on time.

When the modulation transistor turns on, the resonant circuit component between antenna B and Vss, which is in parallel with the modulation transistor, is shorted due to the low turn-on resistance. This results in a change in the LC value of the circuit. As a result, the circuit no longer resonates at the carrier frequency of the Interrogator. Therefore, the voltage across the circuit is minimized. This condition is called "cloaking".

When the modulation transistor turns off, the circuit resonates at the carrier frequency of the Interrogator and develops maximum voltage. This condition is called "uncloaking". Therefore, the data is sent to the Interrogator by turning on (cloaking) and off (uncloaking) the modulation transistor.

The voltage amplitude of the carrier signal across the LC resonant circuit changes depending on the amplitude of modulation data. This is called an amplitude modulation signal. The receiver channel in the Interrogator detects this amplitude modulation signal and reconstructs the modulation data for decoding.

The device includes a unique anti-collision algorithm to be read or written effectively in multiple tag environments. To minimize data collision, the algorithm utilizes time division multiplexing of the device response. Each device can communicate with the Interrogator in a different time slot. The devices in the Interrogator's RF field remain in a nonmodulating condition if they are not in the given time slot. This enables the Interrogator to communicate with the multiple devices one at a time without data collision. The details of the algorithm are described in **Section 6.0 "Read/Write Anti-Collision Logic"**.

MCRF450/451/452/455

To enhance data integrity for writing, the device includes an anti-tearing feature. This anti-tearing feature provides verification of data integrity for incomplete write cycles due to failed communication between the Interrogator and the device during the write sequences.

1.1 Device's Communication with Interrogator

The device can be operated in either Fast Read Request (FRR) or Fast Read Bypass (FRB) mode, depending on the status of bit 31 (FR: bit) of Block 0. If the FR bit is set, the device is operated in FRR mode, and FRB mode, if the FR bit is cleared. The FR bit is always reprogrammable and not write-protectable. The FRR mode is a default setting. The communication between the Interrogator and tag starts with a FRR or FRB command.

In FRR mode, the device sends a response only when it receives the FRR command, not the FRB command.

Conversely, the device in FRB mode sends a response when it receives the FRB command only, not the FRR command.

If the device is set to FRR mode and also set to TTF mode (TF bit = set), the device can send the FRR response as soon as it is energized.

One of the main purposes of using the two different modes (FRR and FRB) is to use the device effectively in the item level supply-chain application, where a rapid identification and an effective anti-collision read/write process is needed (i.e., to identify whether it is a paid or unpaid item, or whether it passed one particular point of interest or not). This can be done by either checking the status of the FR bit or by checking the response of the tag to the command. For this reason, the FR bit is also called an Electronic Article Surveillance (EAS) bit.

1.1.1 OPERATION OF TAG IN FRR MODE

If the device is in the FRR mode (FR bit = set), the communication between the Interrogator and the device can start in two ways, depending on the status of TF (Bit 30 of Block 0). If the TF bit is cleared, it is called ITF mode. In this case, the tag waits for the Interrogator's FRR command and sends the FRR response data when it sees the FRR command. If the TF bit is set, the device is in a TTF mode. In this case, the tag sends the FRR response as soon as it is energized, even without the FRR command. The tag has a short listening window (1 ms) immediately after the FRR response. The Interrogator sends its next command during this listening window.

The FRR response includes the 32 bits of tag ID and FRF (Blocks 3 -5). See Tables 7-3, 7-4 and 7-6 for data. The Interrogator identifies which tags are in the field by receiving their FRR responses.

Based upon the FRR response, the Interrogator will send Matching Code 1 (MC1) or Matching Code 2 (MC2) during the tag's listening window. The Interrogator sends the MC1 to put the tag into Sleep mode. Tags in Sleep mode never respond to any command. Removal of the Interrogator's RF energy from the device is the only way to wake-up the device.

If the tag needs further read/write processing, the Interrogator sends the MC2, followed by a Read or Write command. After the completion of reading or writing of block data, the Interrogator sends an End command to put the tag into Sleep mode.

The reading and writing of the FRR devices takes place in the Anti-collision mode. For instance, if there are multiple tags in the field, the Interrogator selects one tag at a time by controlling the tag's time slot for the FRR response. The Interrogator repeats this sequence until all tags in its field are processed:

- send FRR command
- receive FRR response
- send Matching Code 1 or 2 at tag's listing window
- send Read Block command/or send Write Block command and data
- verify read/write response
- send End command
- verify the End command response
- look for other tag's FRR responses

1.1.2 OPERATION OF TAG IN FRB MODE

The communication with the device in the FRB mode is initiated by the FRB command only. If the device sees the Interrogator's FRB command, it sends its 32-bit tag ID and waits for the MC2. This is followed by a Read or Write command. Once the device is read or written, the Interrogator sends an End command. Unlike the FRR mode, the reading and writing of the tag are processed in a non Anti-collision mode.

See **Section 6.0 "Read/Write Anti-Collision Logic"**, for the read and write anti-collision algorithm. See Example 9-1 for command sequences and device responses.

MCRF450/451/452/455

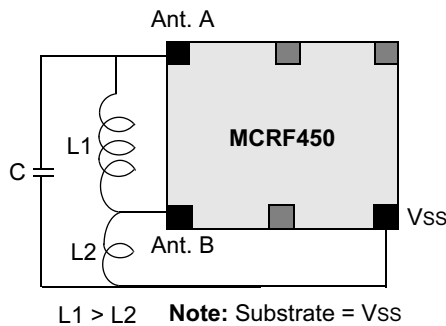
TABLE 2-7: PAD FUNCTION TABLE

Name	Function
Ant. Pad A	Connected to antenna coil L1.
Ant. Pad B	Connected to antenna coils L1 and L2 for MCRF450/451/455, NC for MCRF452.
Vss	Connected to antenna coil L2. Device ground during Test mode. (Vss = substrate)
FCLK	For device test only. Leave floating or connect to Vss in applications.
CLK	
VDD	For device test only. Leave floating in applications.

Note: NC = Not Connected.

FIGURE 2-2: EXTERNAL CIRCUIT CONFIGURATION FOR MCRF450

(a) Two inductors and one capacitor



$$f_{tuned} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C}} \quad f_{detuned} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C}}$$

L_T = Total antenna inductance between Ant. A and Vss

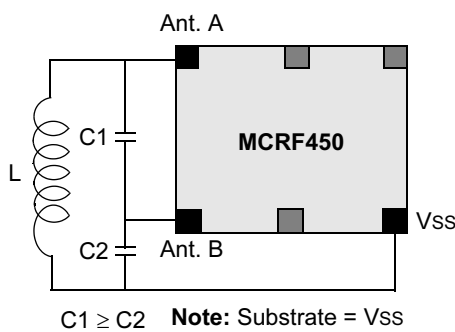
$$L_T = L_1 + L_2 + 2L_M$$

Where: L_M = mutual inductance of L1 and L2

$$L_M = K\sqrt{L_1 L_2}$$

K = coupling coefficient of two inductors ($0 \leq K \leq 1$)

(b) One inductor and two capacitors



$$f_{tuned} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_T}} \quad f_{detuned} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L C_1}}$$

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Note: Input parasitic capacitance between Antenna A and Vss pads = 3.5 pF. See application notes, AN710 and AN830 for antenna circuit design.

MCRF450/451/452/455

FIGURE 2-3: EXTERNAL CIRCUIT CONFIGURATION FOR MCRF451

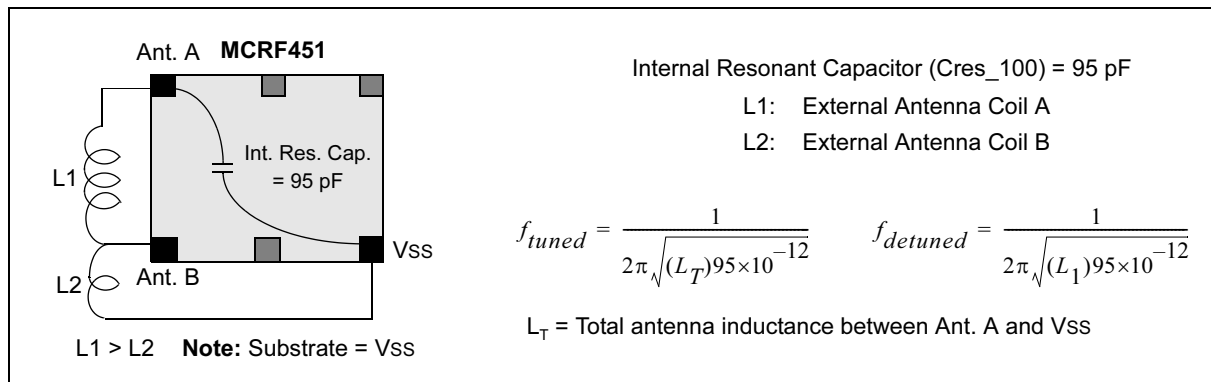


FIGURE 2-4: EXTERNAL CIRCUIT CONFIGURATION FOR MCRF452

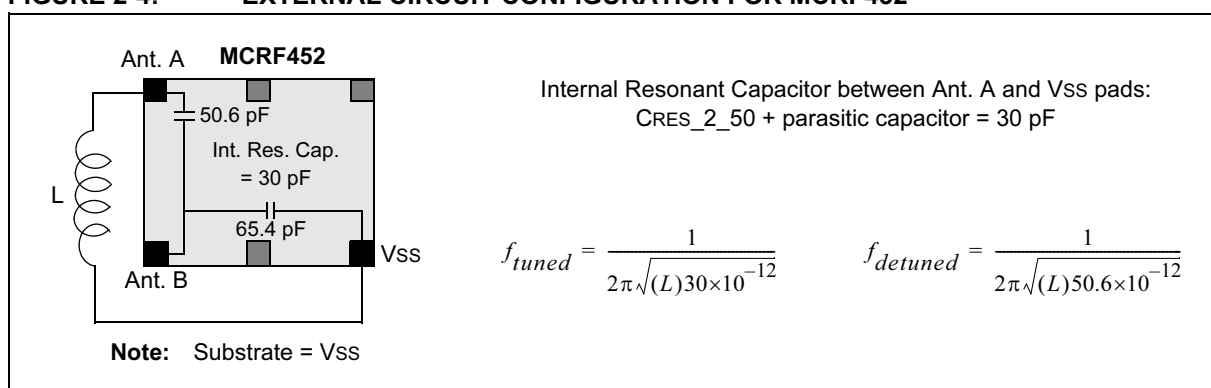
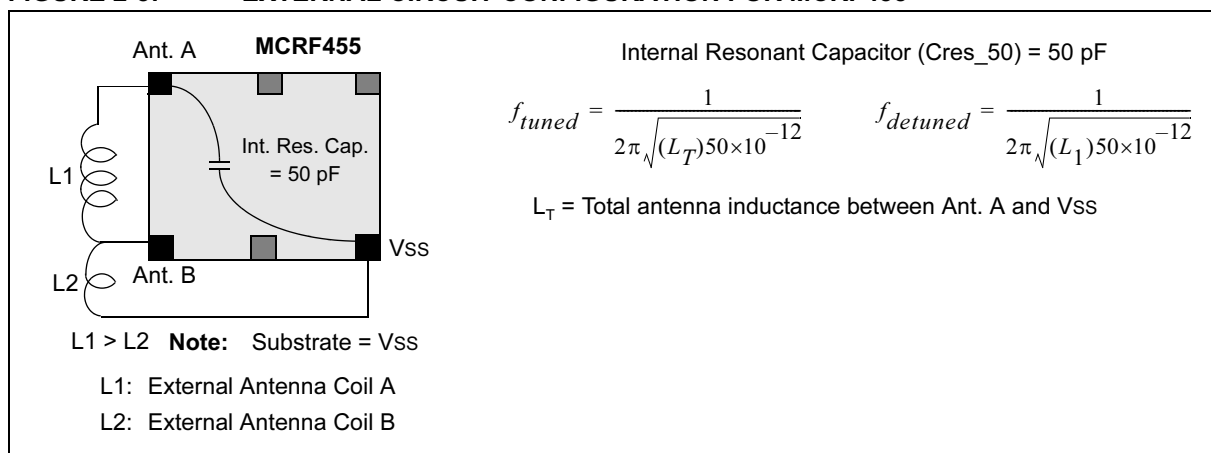
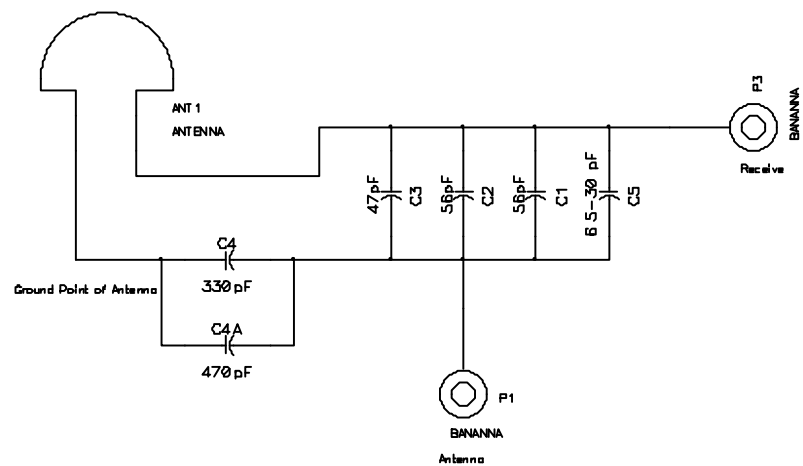


FIGURE 2-5: EXTERNAL CIRCUIT CONFIGURATION FOR MCRF455



Note: See application notes AN710 and AN830 for antenna circuit design of Figure 2-2 through Figure 2-5.

ANEXO B – ESQUEMÁTICO DA ANTENA DO LEITOR



Title Microchip Medium Antenna 03-01500		
Size B	Number 1000-02C-200	Rev B
Date 6-09-00	Drawn by N. Jensen	
Filename Antenna_Med.SCH	Sheet 1	of 1

ANEXO C – MANUAL DO SOFTWARE RFLAB



MICROCHIP

microID® 13.56 MHz Developers Kit

Quick Start Guide for DV103006

1.0 INTRODUCTION

Thank you for purchasing this microID® 13.56 MHz Developers Kit.

The purpose of this Quick Start Guide is to show step by step how to set up and use the DV103006 13.56 MHz developers kit. For more complete documentation, please refer to the Design Guide, also included in this development kit.

When you are ready to begin using the microID Developer's Kit, please make sure you have the following items:

- microID 13.56 Anti-Collision Interrogator
- 18V power supply
- microID 13.56 Contact Programmer
- 24V power supply
- RFLAB and Support Files CD-ROM
- microID MCRF355 PCB Tags (Green)
- microID MCRF450 PCB Tags (Red)
- MCRF355 and MCRF450 PDIP Samples
- Plug-in Antenna
- RS-232 cable

All these items are included with the microID 13.56 MHz Developer's Kit. Recommended minimum PC configuration for the RFLAB software is: Windows®98 or higher OS with 64MB RAM and 11MB of free disk space.

Our goals are to:

1. Successfully program the 8-pin MCR355 device using the built-in contact programmer in the MCRF355 software interface, and to then read the data back using the RFLAB MCRF355 software interface.
2. Read and write to the 8-pin MCRF450 device using the anti-collision interrogator and get acquainted with the basic features of the RFLAB MCRF450 software interface.

STEP 1 – CONNECTIONS

Our first step is to set up the programmer and interrogator:

- A. Connect the 24V power supply to the contact programmer.
- B. Insert the plug-in antenna to the base of the anti-collision interrogator.
- C. Connect the 18V power supply to the anti-collision interrogator.
- D. Connect the RS-232 cable from your PC to the MCRF355/360 Contact Programmer.

Note: If your computer has two available serial ports, you may connect both the contact programmer and the anti-collision interrogator to your PC at the same time using an additional RS-232 serial cable. However, if you have only one available serial port on your PC, you must switch between the programmer and reader. If this is the case, first connect the RS-232 cable to the PROGRAMMER.

STEP 2 – INSTALLING THE SOFTWARE

Our next step is to install the software, RFLAB 3.4. This can be accomplished by running SETUP.EXE located on the root directory of the software CD-ROM. Follow the prompts to install RFLAB and associated support files. If your CD-ROM drive has AutoRun enabled, the setup program will launch automatically after the software CD is inserted.

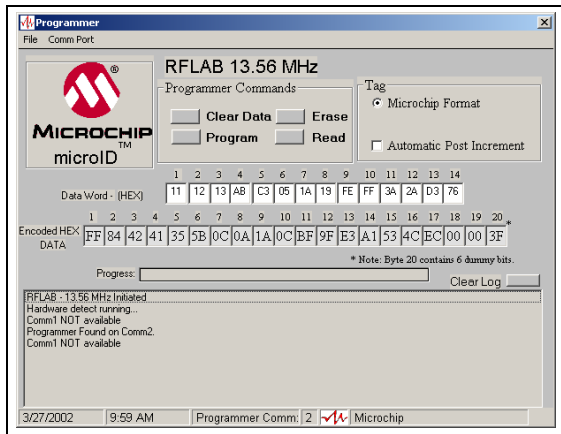
STEP 3 – SETTING UP THE MCRF355 CONTACT PROGRAMMER

Now we are ready to program the MCRF355 8-pin device. Apply power to the contact programmer, and connect the RS-232 cable to the programmer board and into a serial communications port on your PC. Launch the RFLAB software by clicking on the icon, which has been placed in your Programs menu under RFLAB v3.4.

microID® 13.56 MHz Developers Kit

As the software is loading, you will see the RFLAB logo show briefly on your screen, then the MCRF355 Contact Programmer Shell will appear as shown in Figure 1-1 below.

FIGURE 1-1:



The status box at the bottom of the screen will tell you whether or not you have correctly set up the hardware. If your programmer was correctly set up and connected to an available COM port you will see the message "Programmer Found on Comm x," and the busy light on the programmer board will blink. You may then proceed to **STEP 4 - PROGRAMMING THE MCRF355 DEVICE**.

STEP 4 – PROGRAMMING THE MCRF355 DEVICE

At this point we are ready to program the device. Place the MCRF355 8-pin device in the upper half of the ZIF socket located on the programmer board. This socket is labeled U5. Once the device is properly in place, we are now ready to program.

You will see two rows of boxes with data on the programmer screen. The top row of 14 boxes is the data word to be programmed into the device. The bottom row of boxes is the ENCODED data word, or the actual 154-bit data stream that goes into the EEPROM on the device. When the **Microchip Format** under **Tag** is selected, the 14-byte data word will be automatically encoded upon programming. This format is necessary for use with the microID 13.56 MHz anti-collision interrogator.

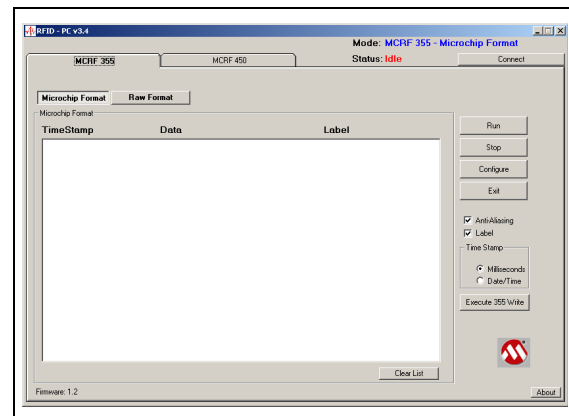
After you have entered your data into the 14 text boxes, you are ready to program. Clicking the PROGRAM button will initiate the sequence. Upon completion, you should see the "PROGRAM SUCCESS" message appear in the status window. You may then proceed to **STEP 5 - SETTING UP THE MCRF355 READER**. If you do not see this message, verify that the MCRF355 device is in the TOP half of the ZIF socket (closest to the lever), pin 1 is toward the lever, and that the lever is in the down position.

STEP 5 – SETTING UP THE MCR355 READER

At this point, we have successfully programmed a device and are now ready to read this device back using the anti-collision interrogator. Close the programmer window by selecting **File, Exit 355 writer** and click on the MCRF355 tab. Your screen should now look like Figure 1-2 below:

Check power to the interrogator and ensure the RS-232 cable is firmly attached to both the interrogator and PC COM port.

FIGURE 1-2:



STEP 6 – SETTING UP THE MCR355 READER

We are now ready to read the device using the anti-collision interrogator. Remove the MCRF355 PDIP device from the programmer board and place it into the socket located on the green MCRF355 PCB Tag. Be sure to check the orientation of the IC to the PDIP socket. Check the **Status:** indicator to ensure proper communication between the interrogator and RFLAB. If a **Status: Not Connected** message is present, click on the **Connect** button. Once connected and in the **Idle** state, press the **RUN** button to enable reading. At this point, you should be able to bring the PCB tag into the reader field and read the data you have programmed.

A successful reading of the tag completes this exercise – you now have a complete RFID system.

Placing multiple tags with different data into the reader field will demonstrate the anti-collision features of the tag and reader.

The **Anti-Aliasing** checkbox enables or disables continuous reading of tags in the interrogator field.

The **Label** checkbox displays any labeling applied to a tag. Placing a label on individual tags is performed in the RFLAB application and is a software-only function.

To apply a label to a tag: double click on the tag data in the display window and type tag data in the label field.

Note: Possible problems if the tag does not read:

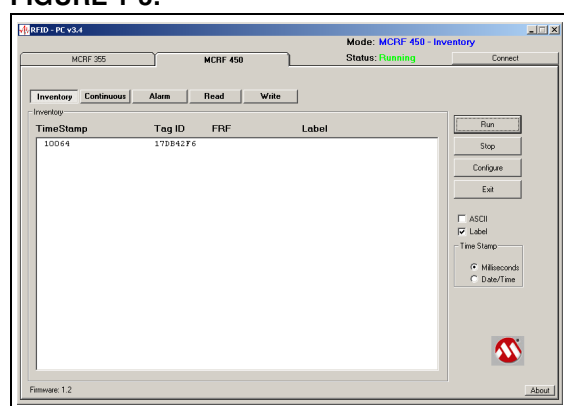
- Check the **Status** indicator for a No Connection message.
- Reader is not connected to the proper COM port.
- Reader is connected to an in-active COM port..
- Tag was not programmed using the Microchip Format option.
- Tag is out of range of the interrogator field. Reposition the tag closer to the antenna.
- RS-232 errors - power cycle the reader interrogator and close and restart RFLAB application.

At this point you can also read the flexible, preprogrammed MCRF355 foil tags included in the kit, as well as individually programmed PCB tags.

STEP 7 - READING AND WRITING THE MCRF450 DEVICE

For reading and writing to the MCRF450 device, first click on the MCRF450 section tab to display the window as shown in Figure 1-3 below.

FIGURE 1-3:



Insert the MCRF450 PDIP sample into the RED MCRF450 PCB tag socket the same way as for the MCRF355 device and note the correct orientation of the PDIP with the socket. The MCRF450 samples are permanently programmed with a 32-bit unique device ID in block 1. This tag ID will be displayed in the MCRF450 Inventory section when the tag is in the reader field and the **Run** button is selected.

The individual function buttons in the MCRF450 section of RFLAB perform the following features:

Inventory Mode

Displays the contents of the tag ID (block 1) once. Repeated reads are ignored. Also displays a time-stamp in milliseconds, which can also be switched to date/time format. Displays the FRF status of the device. The presence of data in this field signifies the part is in FRR (Inventory) mode. A blank FRF field signifies the part is in FRB (Purchased) mode. See **Write Mode** for more details on FRR and FRB modes.

Continuous Mode

Displays the contents of the tag ID (block 1) repeatedly until the Stop button is pressed or the tag(s) leave the reader field.

Alarm Mode

This function screen demonstrates the ability of the MCRF450 to be used effectively in retail environments for EAS (Electronic Article Surveillance) protection. This field will display an FRR part (Inventory) with flashing LED's signifying the device has not passed through a POS (Point-Of-Sale) step to change the device to FRB (Purchased) mode.

Read Mode

This function screen displays all 32 blocks of EEPROM memory of the MCRF450 device. Once the tag has been through inventory mode, the user can choose the specific tag to read by using the **Select Tag** drop down list and then clicking **Run**. Individual blocks can be read by clicking inside the corresponding data block's display window. See Figure 1-4 below.

The **Read All Tags** checkbox when selected and **Run** is pressed, will cycle through multiple tags in the interrogator field and display the memory contents of each tag sequentially.

The **Select Block Range/Read All Blocks** toggle button has two functions. The **Select Block Range** mode enables a specified range of data blocks to be read. In this mode, clicking once in the starting block data field and clicking again on the ending block field will highlight the desired data block range to be read. Click **Run** to display the contents of the selected data block range. To read a single data block, click on the desired block twice then click **Run**. Clicking on the **Select Block Range** button again will toggle to **Read All Blocks** mode. Click **Run** again to display the entire tag data contents.

FIGURE 1-4:

