



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

CAMILA DUARTE RODRIGUES LOPES

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA RFID BASEADO EM  
RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE**

Campina Grande, Paraíba  
Dezembro de 2011

CAMILA DUARTE RODRIGUES LOPES

# IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA RFID BASEADO EM RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Telecomunicações

Orientador:

Professor Edmar Candeia Gurjão, Dr. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Dezembro de 2011

CAMILA DUARTE RODRIGUES LOPES

# IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA RFID BASEADO EM RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Telecomunicações

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Edmar Candeia Gurjão, Dr. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família e meus amigos, em especial aos meus pais, pelo exemplo e carinho sempre importantes nas etapas da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para o êxito na minha trajetória durante a graduação. Em especial, agradeço à minha família, que sempre me incentivaram em todos os momentos, não medindo esforços para que sempre pudesse me dedicar exclusivamente aos estudos.

A todos os meus bons amigos, que sempre me fizeram sentir satisfação em adotar Campina Grande como minha segunda terra, expresso minha sincera gratidão pelo apóio nos momentos de dúvida e pelas alegrias compartilhadas.

Expresso minha admiração e agradecimento aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica, com quem tanto aprendi e que me transmitiram conhecimentos essenciais para minha formação não só no âmbito acadêmico, mas também para outras áreas da minha vida. Agradeço em especial ao Prof. Dr. Edmar Candeia Gurjão, pela orientação durante este trabalho e pelos conselhos sempre pertinentes durante o curso.

Deixo aqui também meus sinceros agradecimentos ao funcionário do Laboratório de Automação e Processamento de Sinais, Paulo Márcio, cujo a ajuda foi imprescindível para o sucesso do trabalho.

Divido o mérito da minha graduação e deste trabalho com todas estas pessoas, desejando ter a sorte de contar sempre com todo esse apóio durante as etapas da minha vida que ainda estão por vir.

*“Sempre chega a hora em que descobrimos que sabíamos muito mais do que antes julgávamos.”*

José Saramago.

## RESUMO

Este trabalho tem como foco principal a implementação de um sistema de Identificação por Rádio Frequência (RFID) baseado em Rádio Definido por *Software* (RDS) com operação na faixa UHF. A tecnologia RFID apresenta um crescente número de usuários, bem como um grande volume de pesquisas seguindo as mais variadas linhas. O Rádio Definido por *Software* torna-se a cada dia uma ferramenta muito utilizada na área de Telecomunicações, aparecendo como solução quando existe a necessidade de flexibilidade e adaptação. A junção das tecnologias RFID e SDR apresenta justamente essas características, que, dentre outras opções, podem ser aproveitadas principalmente para testes, pesquisas e aperfeiçoamento dos sistemas em funcionamento. No desenvolvimento do sistema apresentado, utilizou-se a plataforma de RDS *Universal Software Peripheral Radio* (USRP) juntamente com a sua ferramenta de programação, GNU Radio. Outro ponto de grande importância é a correta escolha da antena para aplicações RFID. O projeto também contou com a construção de uma antena com as características específicas para aplicação. Por fim, os resultados são apresentados mostrando o desempenho satisfatório do sistema na leitura de *tags* comerciais, operando com a flexibilidade esperada.

**Palavras-chave:** RFID, Rádio definido por *Software*; antena; UHF; USRP; GNU Radio.

## ABSTRACT

This work has as its main focus the development and description of a RFID system based on Software Defined Radio (SDR) operating in the UHF band for this type of application. To introduce the feasibility of applying, important observations are made about the theory behind these systems. RFID technology has a growing number of adepts as well as a large volume of research following different lines. The Software Defined Radio becomes an everyday widely used tool in Telecommunications, appearing as a solution when there is a need for flexibility and adaptation. The combination of RFID and SDR technologies has precisely meet these characteristics, which, among other options, can be exploited mainly for testing, research and improvement of current systems. In designing the system presented, we used the USRP, which is a SDR platform, along with its programming tool, GNU Radio. Another question that requires attention is the correct choice of the antenna for RFID applications. The project also included the construction of an antenna with specific characteristics for RFID application. Finally, the results are presented showing the satisfactory performance of the system while reading commercial tags, operating with the expected flexibility.

**Keywords:** RFID, Software Defined Radio, antenna; UHF; USRP, GNU Radio.



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. ILUSTRAÇÃO DE UM ESQUEMA RFID (IMPLEMENTAÇÃO EM <i>HARDWARE</i> ). (SANTINI, 2008).	3
FIGURA 2. BLOCOS ESSENCIAIS DE UM LEITOR RFID. (AHSON E ILYAS, 2008).	5
FIGURA 3. EXEMPLO DE TAGS. ( <a href="http://spqr.cs.umass.edu/courses/cs291e/">HTTP://SPQR.CS.UMASS.EDU/COURSES/CS291E/</a> , 2011)	5
FIGURA 4. COMPONENTES BÁSICOS DE UMA TAG. (HUNT, PUGLIA E PUGLIA, 2007)	6
FIGURA 5. TAG ATIVA. DETALHE DAS BATERIAS PRÓPRIAS. (FINKENZELLER, 2003)	7
FIGURA 6. VÁRIOS TIPOS DE LEITORES RFID	10
FIGURA 7. ESPECTRO DE RÁDIO FREQUÊNCIA	11
FIGURA 8. TIPOS DE ACOPLAMENTO ENTRE LEITOR E ETIQUETA. (HUNT, PUGLIA E PUGLIA, 2007)	12
FIGURA 9. DIAGRAMA DE BLOCOS GENÉRICO PARA UM SISTEMA DE COMUNICAÇÕES. (FINKENZELLER, 2003).	14
FIGURA 10. DIAGRAMA DE TEMPO DAS CODIFICAÇÕES MAIS UTILIZADAS EM RFID. (FINKENZELLER, 2003)	17
FIGURA 11. EXEMPLO DAS CODIFICAÇÕES DOS BITS PARA A <i>PULSE-INTERVAL ENCODING</i> (PIE). (DOBKIN, 2008)	17
FIGURA 12. PROVÁVEL PADRÃO NOS SINAIS DA CODIFICAÇÃO PULSE-PAUSE. (FINKENZELLER, 2003)	18
FIGURA 13. ILUSTRAÇÃO DA MODULAÇÃO ASK. (DOBKIN, 2008)	18
FIGURA 14. EXEMPLO DE MODULAÇÃO B-ASK COM ÍNDICE DE MODULAÇÃO 0.5. (FINKENZELLER, 2003)	19
FIGURA 15. GERAÇÃO DE MODULAÇÃO 2-FSK. (FINKENZELLER, 2003)	20
FIGURA 16. ESPECTRO DE UM SINAL MODULADO 2-FSK. (FINKENZELLER, 2003)	20
FIGURA 17. ESQUEMA PARA GERAÇÃO DO SINAL MODULADO B-PSK. (FINKENZELLER, 2003)	21
FIGURA 18. EXEMPLO DO ESPECTRO DE UM SINAL MODULADO UTILIZANDO SUBPORTADORAS. (FINKENZELLER, 2003)	22
FIGURA 19. DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM SISTEMA DE RÁDIO DEFINIDO POR <i>SOFTWARE</i> .	23
FIGURA 20. FOTO ILUSTRATIVA DA USRP 1.0. (ETTUS)	25
FIGURA 21. PLACA USRP (MODELO 1.0) COM PLACAS FILHAS CONECTADAS. (ETTUS)	26
FIGURA 22. TELA DO GRC. NOTA-SE A LISTA DE BLOCOS DISPONÍVEIS A DIREITA DA IMAGEM.	27
FIGURA 23. DIPOLO IDEAL DE TAMANHO D.	29
FIGURA 24. PADRÃO DE IRRADIAÇÃO PARA O DIPOLO IDEAL. (DOBKIN, 2008)	30
FIGURA 25. EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO E ÂNGULO DE 3dB PARA UMA ANTENA COMERCIAL –MAXRAD MP9026CPR. (DOBKIN, 2008)	31
FIGURA 26. POLARIZAÇÃO LINEAR E SUA INTERAÇÃO COM A ANTENA DA TAG DE ACORDO COM A ORIENTAÇÃO DESTA. (DOBKIN, 2008)	32
FIGURA 27. POLARIZAÇÃO CIRCULAR E SEU PADRÃO DE PROPAGAÇÃO. (DOBKIN, 2008)	33
FIGURA 28. (A) ESQUEMA TRADICIONAL RFID, COM LEITOR TRANSMITINDO E RECEBENDO; (B) ESQUEMA PROPOSTO, COM AS TAREFAS DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DESMEMBRADAS. (DE DONNO, RICCIATO, <i>ET AL.</i> , 2010)	35
FIGURA 29. FOTO DA ANTENA CONSTRUÍDA PARA A APLICAÇÃO ESPECÍFICA DE RFID NA FAIXA UHF	36
FIGURA 30. ESQUEMA DE MONTAGEM BÁSICO PARA LEITURA DAS TAGS.	38
FIGURA 31. DIAGRAMA MOSTRANDO A COMUNICAÇÃO LEITOR – TAG. PROTOCOLO MAC PARA O PADRÃO GEN2. (DE DONNO, RICCIATO, <i>ET AL.</i> , 2010)	39
FIGURA 32. ESTRUTURA TÍPICA DE UM NÚMERO EPC. (FONTE: <a href="http://www.techtraining.eng.br/">HTTP://WWW.TECHTRAINING.ENG.BR/</a> )	39
FIGURA 33. TERMINAL NO <i>LINUX</i> COM O PROGRAMA EM EXECUÇÃO.	41
FIGURA 34. TELA DO PROGRAMA EM EXECUÇÃO SINALIZANDO DUAS TAGS LIDAS EM UM MESMO <i>ROUND</i> .	41
FIGURA 35. PADRÃO DE COMUNICAÇÃO DO LEITOR. PODE-SE DIFERENCIAR OS PERÍODOS DE ENVIO DA <i>CW</i> DOS PERÍODOS DE ENVIO DE DADOS.	42

# LISTA DE TABELAS

TABELA 1. TABELA RELACIONANDO FREQUÊNCIAS E PADRÕES.....	13
TABELA 2. TABELAS DE CLASSES PARA ETIQUETAS EPCGLOBAL.....	14

# SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Sumário.....	xi
1 Introdução.....	1
2 Fundamentação Teórica.....	3
2.1 RFID – Identificação por Rádio Frequência.....	3
2.1.1 Princípios de funcionamento.....	3
2.1.2 <i>Tag</i> (Etiqueta).....	5
2.1.3 Leitor (RFID <i>Reader or Interrogator</i> ).....	8
2.1.4 Controle e Banco de Dados.....	10
2.1.5 Faixas de Frequência.....	11
2.1.6 Padronização.....	13
2.2 Características do Sistema – Modulação e Codificação.....	14
2.2.1 Codificação.....	15
2.2.2 Modulação.....	18
2.3 Rádio Definido Por Software.....	22
2.3.1 <i>Universal Software Radio Peripheral</i> – USRP e GNU Radio.....	24
2.4 Interface em RF - Antenas.....	27
3 Material e Métodos.....	34
3.1 Sistema RFID Baseado na USRP.....	34
3.2 Antena para Faixa de UHF.....	36
3.3 Sistema Completo.....	37
4 Resultados.....	38
5 Conclusão.....	43
Bibliografia.....	45

# 1 INTRODUÇÃO

Inúmeras são as tecnologias que utilizam ondas eletromagnéticas em nosso dia a dia. Desde os primeiros trabalhos realizados por James C. Maxwell e vários outros notáveis cientistas, já era perceptível a grande área de aplicação que surgia junto com a teoria das ondas eletromagnéticas. Transmissão de áudio e vídeo (rádio e televisão) e radar são apenas algumas das importantes aplicações que podemos citar.

## **Identificação por Rádio Frequência**

A tecnologia RFID, abreviação do inglês *Radio Frequency IDentification*, como seu próprio nome já explicita, utiliza a reflexão de sinais de rádio frequência para identificação. Sistemas RFID são constituídos basicamente de etiquetas (*tags*) e um equipamento leitor, de tal forma que dentro da área de alcance deste leitor, a informação contida nas *tags* poderá ser acessada sem que se precise de contato visual, como no caso do código de barras.

Grande parte das fontes bibliográficas da área documenta o primeiro sistema RFID do qual se tem notícia data da década de 30, quando o físico escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt chefiou um projeto secreto que desenvolveu o primeiro sistema ativo identificador (IFF - *Identify Friend or Foe*). O sistema consistia de um transmissor instalado no avião, o qual ao receber os sinais das estações de radar em terra começava a emitir um sinal de volta, possibilitando a identificação da aeronave (RFID Journal, 2011).

Nos últimos anos, os sistemas RFID têm se destacado ainda mais. Com o barateamento dos produtos, surgimento de novas tecnologias e materiais, as vantagens destes sistemas sobre outros sistemas de identificação mais comuns (Códigos de Barra, Identificação Infravermelho, dentre outros) só se mostram mais atraentes. Maior capacidade de armazenamento, possibilidade de se ter uma interação leitura/escrita entre *tag* e Leitor, leitura realizada sem necessidade de contato visual e leitura simultânea de várias *tags* são características que, atualmente, só os sistemas RFID oferecem.

Os sistemas RFID mais comuns apresentam uma estrutura que apresenta a camada de envio e recebimento em rádio frequência – RF, circuitos eletrônicos para

tratamento dos sinais e os *softwares* que utilizam os dados recebidos para qual for que seja a aplicação. Como será detalhado mais adiante neste trabalho, a faixa de frequência de operação de um sistema RFID é bastante variada, indo de kHz até GHz. Desta forma, o mais comum é que uma vez que seja implementado, o sistema de identificação por rádio frequência só poderá operar em uma dada faixa de frequência.

### **Rádio Definido por *Software***

Basicamente, Rádio definido por *Software* consiste em um sistema de comunicação onde parte de sua estrutura normalmente implementada com componentes eletrônicos (filtros, misturadores, amplificadores e de/moduladores) é toda definida por *software* em um computador ou sistema embarcado. Somente o *front end* em RF do sistema continua igual.

Ao decorrer deste trabalho, buscamos dar uma visão geral dos sistemas RFID, dos sistemas que utilizam SDR e iremos descrever e mostrar os resultados da implementação do sistema RFID utilizando a USRP - *Universal Software Radio Peripheral*<sup>TM</sup>, e sua respectiva plataforma de programação GNU Radio.

A idéia da junção entre as tecnologias RFID e SDR - *Software Defined Radio* (Rádio Definido por *Software*) acontece justamente para se ter um sistema mais flexível, que poderá ser modificado de acordo com as necessidades do usuário, possibilitando o uso de *tags* variadas que operem em faixas de frequências diferentes.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os sistemas RFID utilizam vários conceitos das áreas de Eletrônica e Telecomunicações para garantia de seu funcionamento. Nesta seção serão abordados os principais deles, para que possamos fundamentar a implementação realizada.

### 2.1 RFID – IDENTIFICAÇÃO POR RÁDIO FREQUÊNCIA

#### 2.1.1 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Como já foi mencionando na introdução, um sistema de identificação por rádio frequência utiliza ondas eletromagnéticas para obter e/ou inserir informações de uma dada etiqueta (ou *tag*). Essas informações são de natureza digital e para que possam ser enviadas, são moduladas por portadoras de modo que esses dados são transmitidos em rádio frequência. No receptor, o sinal é passado novamente para a banda básica e processado para que a informação de identificação seja extraída.

Nos sistemas mais comuns, todas essas funcionalidades são implementadas em *hardware*, o que torna a faixa de frequências de operação desses sistemas RFID fixa.

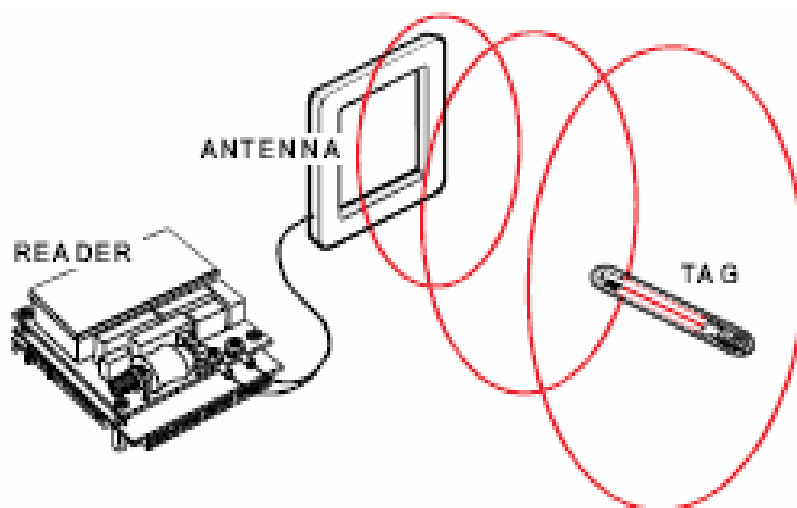


Figura 1. Ilustração de um esquema RFID (implementação em *hardware*). (SANTINI, 2008).

Dependendo da faixa de operação, a comunicação entre *tag* e leitor é feita por acoplamento indutivo (*Inductive Coupling*) ou pela reflexão das ondas eletromagnéticas (*Electromagnetic Backscatter Coupling*). As faixas de frequências mais baixas, até alguns MHz, costumam utilizar o acoplamento indutivo. Já para as frequências mais altas, com cerca de centenas de MHz e alguns GHz, temos os componentes RFID comunicando-se principalmente através da reflexão das ondas eletromagnéticas (HUNT, PUGLIA e PUGLIA, 2007).

Pela necessidade de proximidade no caso de acoplamento indutivo, é natural concluir que, normalmente, os sistemas RFID que operam em frequências mais baixas não têm um raio de alcance muito grande, muitas vezes não ultrapassando 1 metro. Nas frequências mais altas, que utilizam a outra forma de comunicação citada, o alcance pode atingir alguns metros. Tal característica pode ser explicada pela distância de campo da antena, se uma *tag* RFID está fora de um comprimento de onda completa do leitor, diz-se estar no "campo distante". Se estiver dentro de um comprimento de onda completa de distância, diz-se estar no "campo próximo". O sinal do campo distante decai o quadrado da distância da antena, enquanto o sinal de campo próximo decai o cubo da distância da antena. Então, sistemas passivos de RFID que dependem de comunicação de campo distante (tipicamente UHF e micro-ondas) tem um alcance de leitura mais longo do que aqueles que usam comunicação de campo próximo (normalmente sistemas de baixa e alta frequência) (RFID Journal, 2011).

Outra característica importante do sistema é a natureza das *tags* quanto ao tipo de energização. Devido a esta característica elas podem ser passivas ou ativas. Esta classificação, que será mais bem detalhada no próximo tópico, diz respeito à alimentação. *Tags* ativas têm alimentação *on board*, ou seja, possuem uma pequena fonte embutida na sua própria arquitetura. Já as *tags* passivas não têm alimentação própria e derivam a energia necessária do sinal enviado pelo leitor.

Em suma, podemos dizer que o princípio de funcionamento de um sistema RFID consiste no envio de sinal pelo leitor; se uma *tag* que seja compatível com o tipo de sinal enviado estiver no raio de alcance, irá se energizar (no caso de uma *tag* passiva) e enviar um sinal em resposta para que o leitor consiga extrair as informações contidas na mesma.

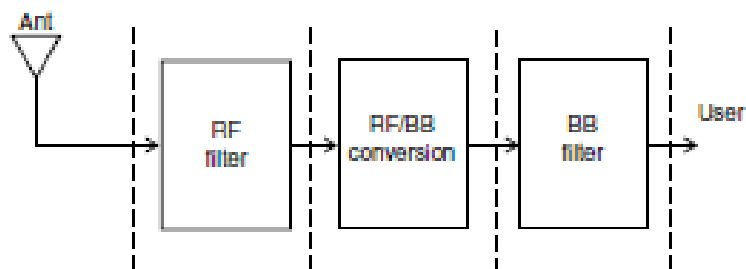


Figura 2. Blocos essenciais de um leitor RFID. (AHSON e ILYAS, 2008).

### 2.1.2 TAG (ETIQUETA)

Um dos componentes básicos do sistema é a etiqueta, ou em inglês *tag*. A função básica deste dispositivo é armazenar dados a respeito do processo ou produto ao qual ele foi incorporado e enviar esses dados quando solicitado. A evolução tecnológica na área da engenharia de materiais leva à produção de produção de *tags* cada dia menores, super compactas e finas, onde muitas vezes se assemelham a pequenas cápsulas ou adesivos.

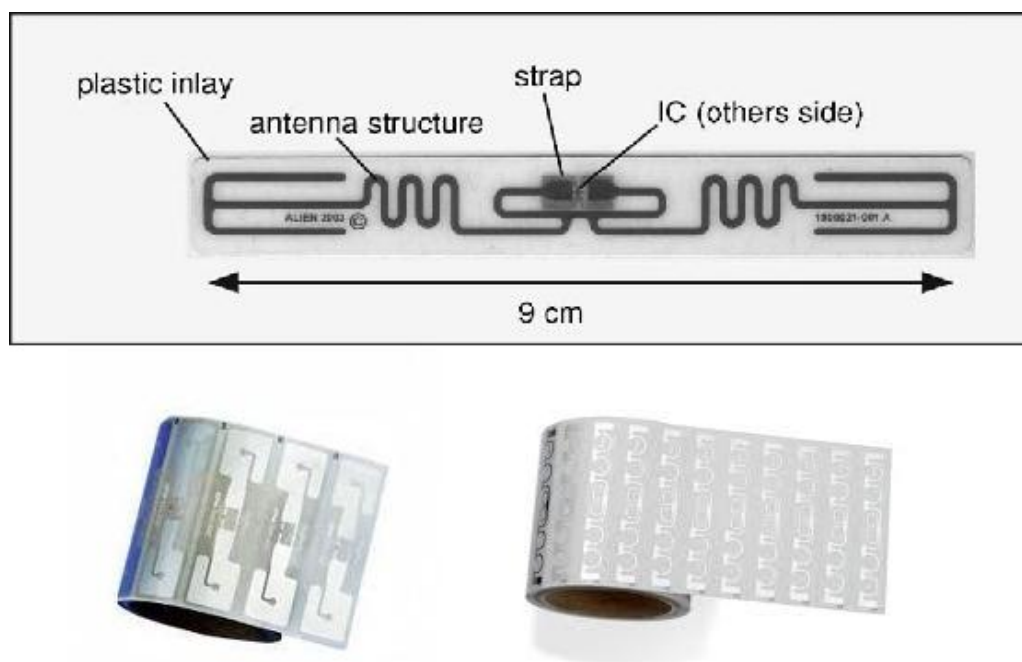


Figura 3. Exemplo de *tags* da *Alien Technologies* e da *UPM Raflatac*. Estas *tags* foram utilizadas no projeto descrito.

Essas etiquetas são compostas por uma antena e um chip, que possui parte a parte eletrônica (componentes e processador, dentre outros). Esses dois blocos são encapsulados para que possam ser utilizados na aplicação a que se destinam.



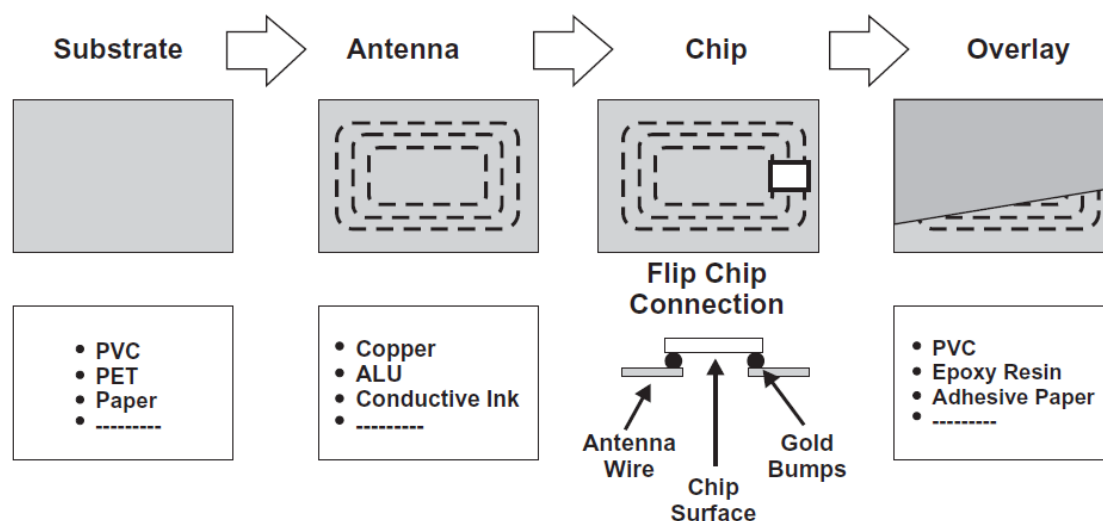


Figura 4. Componentes básicos de uma tag. (HUNT, PUGLIA e PUGLIA, 2007)

### **Tags passivas e ativas**

Uma das principais características de uma etiqueta RFID é quanto a sua alimentação. Como já foi citado anteriormente, uma tag passiva não apresenta qualquer fonte de energia na sua arquitetura. Já as tags ativas têm essa fonte *on board*, que poderá ser uma pequena bateria, por exemplo. As consequências dessa alimentação (ou falta dela) recaem principalmente sobre o raio de alcance para leitura, tamanho e custo das tags.

Uma tag ativa usa energia proveniente de sua própria fonte para realizar a comunicação e enviar sinais para os leitores, quando requisitada. Por esse motivo, essas tags podem se comunicar com leitores menos potentes e transmitir informações por distâncias maiores. A capacidade de armazenamento também costuma ser maior do que nas tags passivas. A desvantagem se refere ao tamanho, custo de produção e ao fato de que baterias costumam ter um período de vida útil de 2 a 7 anos (HUNT, PUGLIA e PUGLIA, 2007).

Em geral, o sinal proveniente do leitor serve como um sinalizador para que o sistema da tag ativa comece a operar. Após cessar a troca de informações, a tag retorna para um estado de hibernação e, desse modo, economizar bateria.

Etiquetas passivas derivam sua energia para transmissão do sinal enviado pelo leitor. Como é de se esperar, essa energia é bem menor do que aquela obtida de uma bateria própria e, conseqüentemente, o alcance do sinal transmitido é menor. Em compensação, o custo de produção e o tamanho dessas etiquetas são menores se comparadas com as ativas.

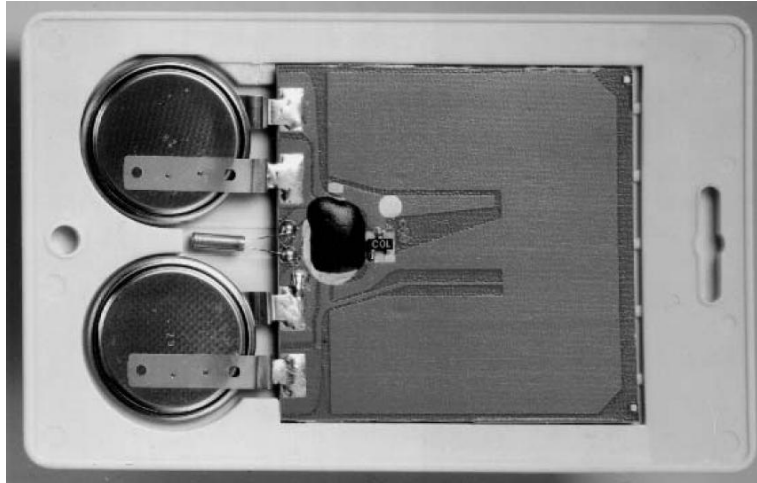


Figura 5. *Tag* ativa. Detalhe das baterias próprias. (FINKENZELLER, 2003)

### **Tipos de memória**

A capacidade de armazenamento é outro atrativo dos identificadores por rádio frequência. Algumas várias centenas de bytes estão disponíveis para que uma gama variada de informações seja armazenada.

Quanto às funções e tipo de memória, podemos classificar as etiquetas em três grandes grupos:

- *Read Only* (RO): nessas memórias, a informação é escrita de forma definitiva uma única vez e não pode ser modificada a partir de então. O acesso para leitura pode ser feito inúmeras vezes. Etiquetas com memória RO são bem mais baratas.
- *Read & Write* (RW): etiquetas que possuem esse tipo de memória são chamadas “*smart tags*”. Elas podem armazenar uma grande quantidade de informação e também possuem memória endereçável que pode ser modificada facilmente. Dessa forma, os dados podem ser escritos e apagados inúmeras vezes. Pela maior complexidade, esse tipo de *tag* costuma ser mais caro.
- *Write Once Read Many* (WORM): é semelhante à RO, só que neste tipo de memória, a informação é escrita pelo usuário final. Podemos fazer uma analogia a um CD-R, que sai de fábrica sem informações e somente o usuário final irá acrescentar dados.

Existem ainda etiquetas que possuem dois tipos de memórias. Por exemplo, uma etiqueta com memória RO e RW pode usar sua parte estática para armazenar o número de série de um produto, que é uma informação imutável; e utilizar a parte RW para gravar informações adicionais que podem mudar ao longo do tempo.

### **Forma física**

As *tags* podem assumir as mais variadas formas. Dependendo da aplicação, elas podem parecer apenas adesivos, cartões ou pequenas pílulas.

Um dos fatores que pode ser tomado como determinante no formato da etiqueta é a sua antena. Como o ganho de uma antena está ligado à relação entre seu tamanho e o comprimento de onda na frequência de operação, na maioria dos casos essa relação “ótima” seria impraticável, principalmente se pensarmos nas frequências mais baixas<sup>1</sup>. O que leva a conclusão de que sistemas RFID que trabalham em baixas frequências têm um diferencial quanto as suas antenas, pelo motivo dos comprimentos de onda e pela forma de acoplamento (indutivo) já comentado anteriormente. Em baixas frequências, na maioria dos casos, se tem uma espécie de bobina trabalhando como antena, já que essa estrutura é ideal no caso de acoplamentos indutivos.

Ao pensarmos em frequências mais elevadas, o comprimento “ótimo” das antenas torna-se muito mais praticável e é possível se conseguir ganhos mais satisfatórios. Técnicas avançadas são utilizadas no projeto das antenas para as *tags* e os resultados são desenhos inusitados de otimização atingida com a ajuda de *softwares* especializados.

Outro ponto importantíssimo para garantir uma boa escolha quanto à *tag* é ter conhecimento da aplicação na qual será utilizada a tecnologia RFID. O meio onde as *tags* estarão inseridas influencia bastante nas características de operações e deve, desde o começo, ser levado em consideração.

#### 2.1.3 LEITOR (RFID *READER OR INTERROGATOR*)

O leitor RFID pode ser considerado o componente mais importante de um sistema RFID. Enquanto as *tags* são inúmeras e possuem um custo relativamente baixo,

---

<sup>1</sup> Lembrando que a relação entre frequência e comprimento de onda é  $c = \lambda f$ . Onde  $c$  é a velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas.

os leitores são estruturas mais complexas e que aparecem em número bem mais reduzido.

Eles são basicamente compostos por uma antena, módulos de RF e circuitos eletrônicos. A sua antena poderá ou não estar acoplada a estrutura.

O leitor é o *hardware* responsável por fazer a ligação entre a *tag* e o gerenciador de eventos ou aplicação, por meio de uma interface de rede. Essa comunicação entre *tag* e leitor poderá ser feita para ler e/ou escrever dados e energizar (no caso de *tags* passivas). Responsável pela verificação e avaliação dos dados recebidos, determina quando e como os mesmos deverão ser enviados pela interface de rede. E a interface de rede, que são os meios pelos quais os leitores enviam os dados, poderá ser Ethernet, Wireless, USB, Bluetooth ou Zigbee (BOLIC, SIMPLOT-RYL e STOJMENOVIC, 2010).

Com os avanços da tecnologia, os leitores são obrigados a possuir cada vez mais funcionalidades. Algumas dessas funções mais complexas são: implementar algoritmos anti-colisão de leitura/escrita de várias *tags* ao mesmo tempo, autenticar as *tags* antes de realizar qualquer operação e desta forma evitar fraudes e acessos não autorizados, implementar criptografia dos dados para evitar vazamento de informações.

Da mesma forma que as etiquetas, existem hoje no mercado uma quantidade enorme de modelos e formatos para as mais variadas aplicações, de diversos fabricantes. Podendo ser encontrados em tamanhos que variam desde meia polegada até o tamanho de um computador de mesa, possibilitando a sua instalação ou adaptação para as configurações do tipo portais, túneis, leitores em empilhadeiras ou prateleiras inteligentes (GLOVER e BHAAT, 2007).



Figura 6. Vários tipos de leitores RFID

Todas as informações obtidas das leituras são então enviadas para processamento na unidade de controle.

#### 2.1.4 CONTROLE E BANCO DE DADOS

Os controladores RFID podem ser considerados os cérebros desses sistemas. Eles podem ser usados para realizar a conexão em rede de vários leitores RFID e seus respectivos dados e, dessa forma, centralizar todo processamento das informações. Na maioria das vezes esse controle é realizado por um computador normal no qual é executado um *software* específico.

A partir do processamento dos dados recebidos, as decisões do que fazer com aquelas informações também devem ser tomadas pelo controlador, geralmente após consulta do banco de dados. O simples armazenamento, manutenção de quantidades de produtos, rastreamento e direcionamento dentre de linhas de produção e verificação de

identidade para acesso à área restrita são algumas das decisões que esses sistemas controladores podem tomar com base na aplicação a qual fazem parte.

### 2.1.5 FAIXAS DE FREQUÊNCIA

Por serem sistemas que geram e irradiam ondas eletromagnéticas, os sistemas RFID são classificados como sistemas de rádio. A operação de outros sistemas de rádio não pode de maneira alguma sofrer interferência pela operação dos sistemas RFID. E vice-versa.

Por essa razão, só é permitido o uso de faixas de frequências especialmente reservadas para o uso industrial, científico e médico. São as chamadas *ISM Frequency Ranges (Industrial – Scientific – Medical)*.

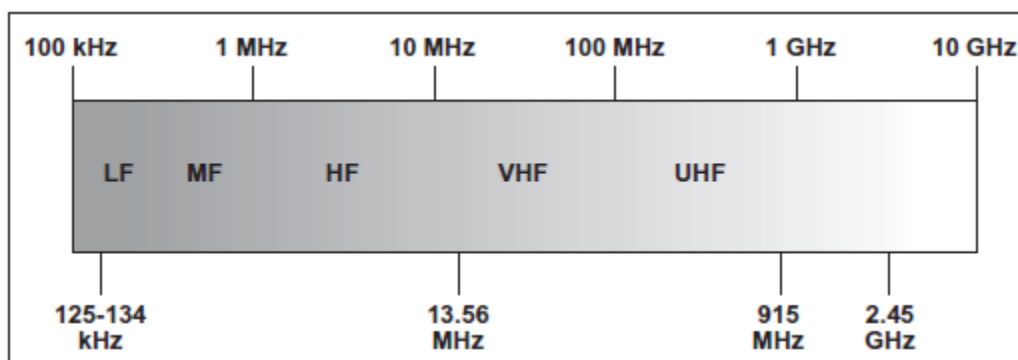


Figura 7. Espectro de rádio frequência.

As mais importantes faixas de frequências para RFID são: 0 – 135 kHz, 13.56 MHz, 27.125 MHz, 40.68 MHz, 433.92 MHz, 869 MHz, 915 MHz (não na Europa), 2.45 GHz, 5.8 GHz e 24.125 GHz (FINKENZELLER, 2003).

A escolha da frequência de operação de um sistema RFID afeta diretamente algumas de suas principais características.

O alcance de leitura costuma ser menor para os sistemas que operam nas faixas de frequências mais baixas, bem como a taxa de transferência de dados é mais lenta. Como já foi explicado anteriormente, nessas faixas é utilizado o acoplamento indutivo entre *tag* e leitor, impossibilitando grandes distâncias entre esses dois elementos. Usualmente, são utilizadas *tags* passivas nessas frequências.

Em frequências mais altas, esse alcance costuma aumentar, principalmente com o uso de *tags* ativas. Porém, como ondas eletromagnéticas nas faixas de UHF (*Ultra High Frequency*) e micro-ondas podem causar danos à saúde dependendo da potência

utilizada, órgãos reguladores estabeleceram um limite para essa potência. Essa limitação reduz o alcance na prática.

A escolha das *tags* a serem utilizadas está intimamente ligada à faixa de frequência que o sistema irá operar. *Tags* passivas são tipicamente utilizadas nas bandas LF (*Low Frequency*) e HF (*High Frequency*), vide Figura 7. Enquanto as *tags* ativas, quando utilizadas, são mais utilizadas na banda de UHF e micro-ondas. A escolha da faixa de operação também afeta o modo como será feita a comunicação entre etiqueta e leitor. Para frequências abaixo de 100 MHz, essa interação é feita através de acoplamento indutivo, o que exige uma proximidade de antenas do leitor e da etiqueta (raramente ultrapassam os 50 cm). A distância máxima de leitura dependerá essencialmente da capacidade que a antena do leitor possui para projetar o mais longe possível as linhas de campo magnético, no processo de transferir energia para a etiqueta através das linhas de fluxo magnético que atravessam as espiras da antena da etiqueta. A relação é o inverso da distância ao cubo. Seu princípio de funcionamento é equivalente ao de um transformador com núcleo de ar.

Para frequências acima de 100 MHz, essa interação se dá por meio de um campo elétrico irradiado que é refletido pela *tag*. É utilizada em aplicações onde se pretendem maiores distâncias de leitura e as dimensões da antena não seja um fator crítico. A irradiação do campo elétrico requer antenas que tenham tipicamente um tamanho de meio comprimento de onda da frequência utilizada, por exemplo: 150 cm para 100 MHz, 15 cm para 1 GHz, 5 cm para 2.5 GHz e 2.5 cm para 5.8 GHz. A potência da energia irradiada diminui com o inverso do quadrado da distância entre leitor e etiqueta (<http://wiki.sj.cefetsc.edu.br/wiki/index.php/RFID>, 2011).

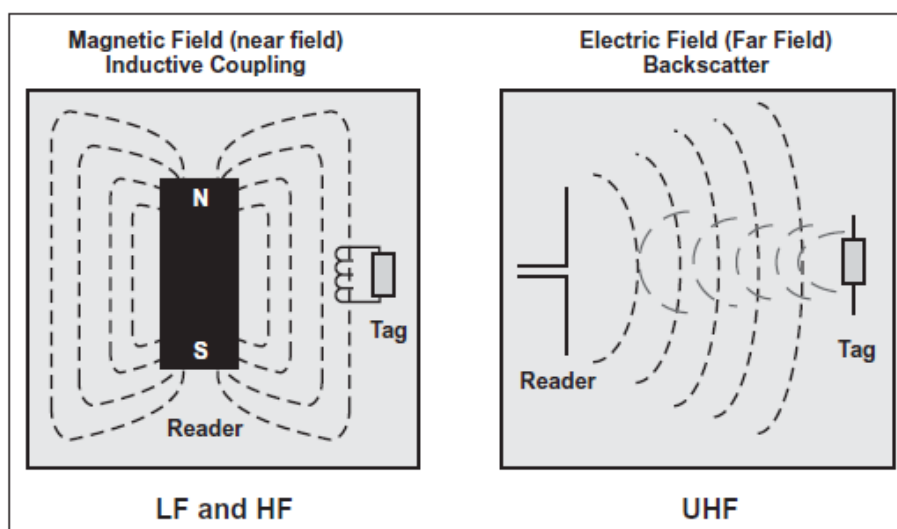


Figura 8. Tipos de acoplamento entre leitor e etiqueta. (HUNT, PUGLIA e PUGLIA, 2007)

## 2.1.6 PADRONIZAÇÃO

Com a popularização da tecnologia RFID, sentiu-se a necessidade de uma padronização, já que diferentes fabricantes começaram a atuar no mercado. Sem padrões, torna-se difícil a interação entre sistemas, como a ligação de vários leitores em rede, a utilização de um único sistema controlador para gerenciar os dados, dentre outros.

Existem vários padrões ISO que indicam características para uma série de aplicações RFID. O detalhamento de cada uma dessas padronizações é demasiado longo e foge ao escopo deste trabalho.

Na Tabela 1 abaixo é apresentado um resumo dos padrões ISO.

*Tabela 1. Tabela relacionando frequências e padrões.*

Faixa de frequências	Padrões	Alcance	Aplicações
< 135 kHz	ISO 1784/11785 ISO/IEC 18000-2 ISO 14223-1	< 0,5 m	Controle de acesso, rebanho rastreado.
13,56 MHz	ISO/IEC 18000-3 EPC class-1 ISO 15693 ISO 14443	~ 1 m	Cartão inteligente, controle de acesso, ID de pagamento, controle de bagagem, livrarias, biométricos.
860 - 960 MHz	ISO/IEC 18000-6 EPC class- 0 e 1	~ 4 - 5 m	Pagamento eletrônico, manejo de bagagem.
2,45GHz	ISO/IEC 18000-4	~ 10 m	Pagamento eletrônico, monitoramento de ambientes.

Observando a tabela acima, percebemos ainda a existência de outro padrão fora o ISO, é o padrão EPC. Apesar do esforço das duas entidades, os padrões ISO e EPC não são completamente compatíveis entre si.



A EPCglobal é líder no desenvolvimento de padrões para a indústria de *Electronic Product Code<sup>TM</sup>* (EPC) para o uso da tecnologia RFID (EPCglobal, 2011).

A EPCglobal também possui classes para os tipos de etiquetas utilizadas. O resumo dessas classes encontra-se na tabela abaixo.

Tabela 2. Tabelas de classes para etiquetas EPCglobal.

Classe	Descrição
Classe 0	Passivas, apenas de leitura
Classe 0+	Passiva, grava uma vez, mas usando protocolos da classe 0
Classe I	Passiva, grava uma vez
Classe II	Passiva, grava uma vez com extras, como criptografia
Classe III	Regravável, semi-passiva (chip com bateria, comunicações com energia do Leitor), sensores integrados
Classe IV	Regravável, ativa, etiquetas podem conversar com outras etiquetas, energizando suas próprias comunicações
Classe V	Podem energizar e ler etiquetas das Classes I, II e III, ler etiquetas das Classes IV e V, assim como atuar como etiquetas classe IV

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA – MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO

Após citarmos algumas das principais características físicas dos sistemas RFID, nesta seção é feita uma abordagem acerca dos esquemas de modulação e codificação mais utilizados no que tange à tecnologia RFID.

Genericamente, um sistema de comunicações pode ser descrito pelo diagrama de blocos mostrado.

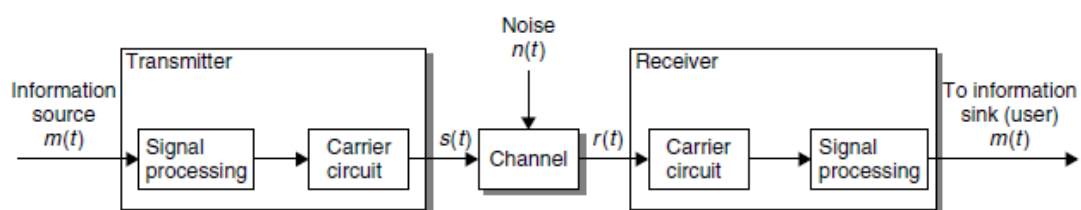


Figura 9. Diagrama de blocos genérico para um sistema de comunicações. (FINKENZELLER, 2003).

Um sistema RFID, como era de se esperar, requer os mesmos processos na comunicação entre leitor e *tag*. Devemos lembrar que na comunicação RFID, o fluxo de dados ocorre nos dois sentidos, assim os três blocos principais podem ser comparados da seguinte forma: leitor – é o bloco transmissor e também receptor, onde são realizadas a codificação (decodificação) e modulação (demodulação) do sinal; Meio de transmissão – é o canal, no caso do RFID, campos eletromagnéticos são irradiados no ar livre; *tag* – bloco receptor e também transmissor, onde são realizadas demodulação (modulação) e decodificação (codificação) do sinal.

De forma sucinta, codificação é o processo onde a mensagem a ser transmitida e sua respectiva representação por sinais é feita de tal forma a otimizar sua correspondência com as características do canal de transmissão. Esse processo busca proteger a mensagem de possíveis interferências, colisão e contra modificações intencionais. Codificação não deve ser confundida com modulação, por isso um termo bastante usado é codificação a banda básica (FINKENZELLER, 2003).

Modulação, por sua vez, é o processo de alterar características de uma portadora de alta frequência de tal modo que a informação da mensagem a ser transmitida possa ser extraída a partir dessas mudanças. Tais mudanças podem ser feitas na amplitude, frequência e fase da portadora. Dessa forma, o sinal não mais estará em banda básica, estando pronto para transmissão em RF.

Decodificação e demodulação são os processos inversos, ou seja, na demodulação o sinal é devolvido para a banda básica; a decodificação tenta reconstruir a mensagem original a partir do sinal recebido codificado em banda básica, reconhecendo possíveis erros e corrigindo-os.

### 2.2.1 CODIFICAÇÃO

Sistemas RFID normalmente utilizam os seguintes tipos de codificação:

- NRZ: neste tipo de codificação, o dígito binário “1” é representado por um nível alto e o dígito binário “0” é representado por um nível baixo. Codificação NRZ é normalmente utilizada em conjunto com modulação FSK e PSK;

- Manchester: o dígito binário “1” é representado por uma transição negativa (borda de descida) e o dígito binário “0” é representado por uma transição positiva (borda de subida). Este tipo de codificação é muito utilizada na comunicação entre *tag* e Leitor em conjunto com modulação com subportadora;
- RZ Unipolar: o dígito “1” é representado por um nível alto na primeira metade do período de um bit, e o dígito “0” é representado pelo nível baixo em todo o período do bit;
- DPB: o dígito “0” é representado pela mudança no nível (seja negativa ou positiva), o dígito “1” é representado pela falta dessa transição. Para facilitar uma possível reconstrução na sequência no receptor, o nível é sempre mudado no início da transmissão de um novo bit;
- Miller: o dígito “1” é representado pela mudança no nível (seja negativa ou positiva) no meio do período de um bit, o dígito “0” é representado pela continuidade do nível. Quando ocorre uma sequência de “0”, o nível é sempre modificado no início da transmissão de um novo bit, para facilitar uma possível reconstrução no receptor;
- Miller modificado: nessa variação do código de Miller, as transições são substituídas por um pulso negativo, inclusive as mudanças ocorridas na em uma sequência de “0”. Graças à pequena duração do pulso negativo ( $t_{pulso} \ll T_{bit}$ ), esse tipo de codificação é muito utilizada quando existe acoplamento magnético entre *tag* e Leitor, já que o fornecimento contínuo de energia pode ser garantido mesmo durante a transferência de dados;
- Codificação Diferencial: cada dígito “1” a ser transmitido causa uma mudança no nível do sinal, o que não acontece para o dígito “0”;
- Codificação PIE – *Pulse-Interval Encoding*: neste tipo de codificação o dígito “1” é codificado como um período de aproximadamente 63% do tempo de bit em nível alto seguido por um período de nível baixo; o dígito “0” é codificado por um período de 50% do tempo de bit em nível alto seguido do mesmo período em nível baixo. Este esquema de codificação é utilizado pelos leitores no padrão EPCglobal Class 1 Generation 2.

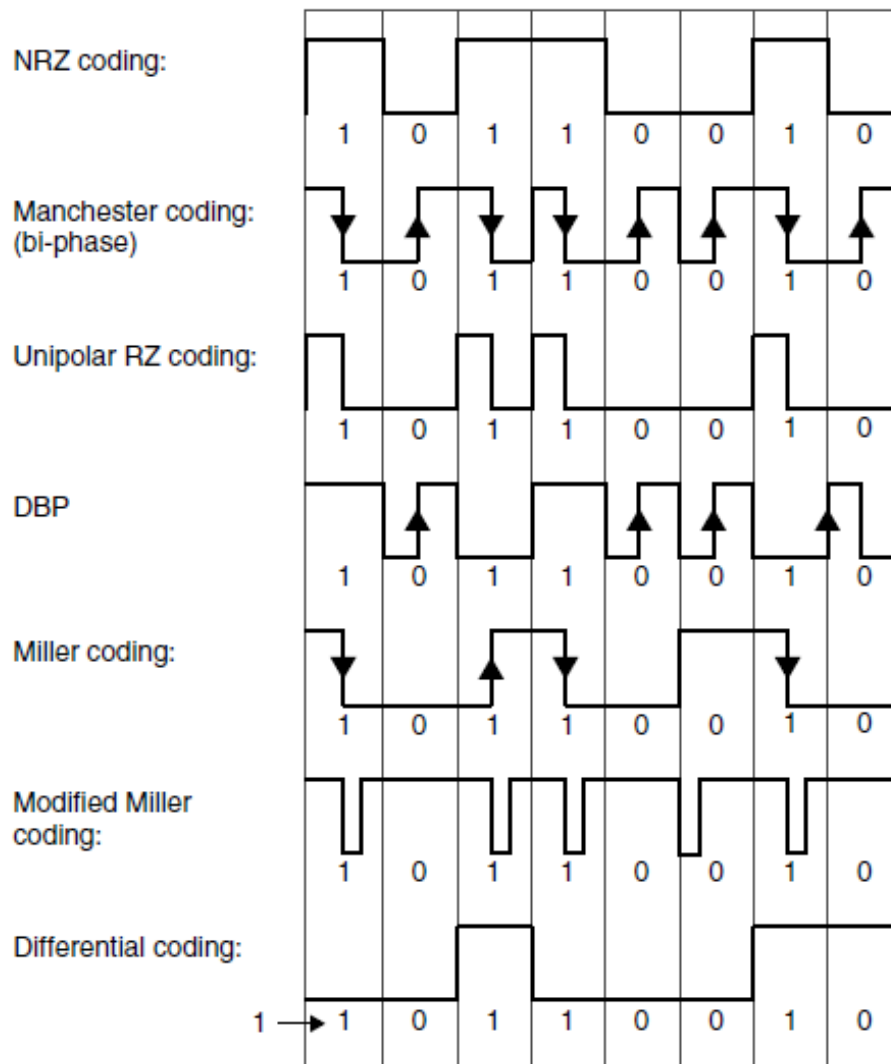


Figura 10. Diagrama de tempo das codificações mais utilizadas em RFID. (FINKENZELLER, 2003)

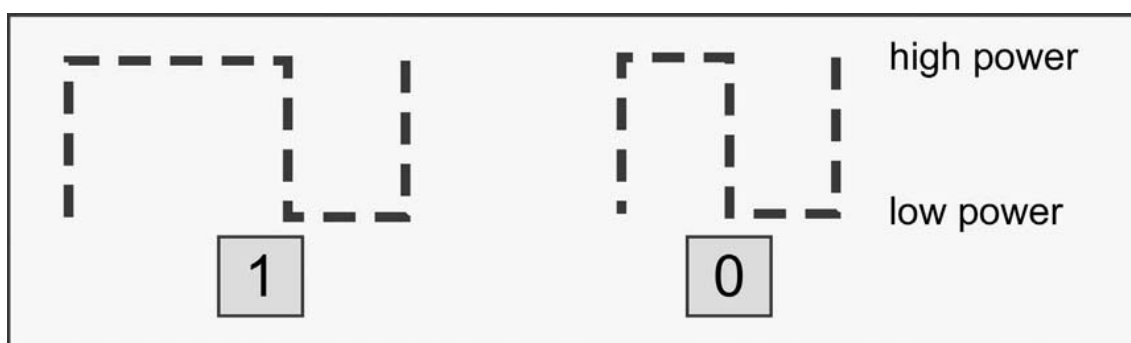


Figura 11 Exemplo das codificações dos bits para a *Pulse-Interval Encoding* (PIE). (DOBKIN, 2008)

- Codificação Pulse-Pause: o dígito “1” é representado por uma pausa de duração  $t$  antes do próximo pulso. O “0” é representado por uma pausa de duração  $2t$ . Esse tipo de codificação é também muito utilizada em

acoplamentos magnéticos entre *tag* e Leitor, pelo mesmo motivo do Código de Miller modificado.

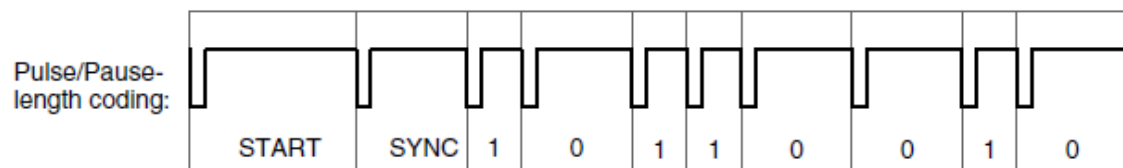


Figura 12. Provável padrão nos sinais da codificação Pulse-Pause. (FINKENZELLER, 2003)

### 2.2.2 MODULAÇÃO

Como já foi dito, modulação é o processo de alterar uma (ou mais) das três características (amplitude, frequência e fase) de uma onda eletromagnética. Desta forma, a informação é transmitida dentro da área de alcance daquele sistema. A onda eletromagnética que será alterada é chamada de portadora. O papel do demodulador é extrair a informação a partir dessas mudanças nas características da portadora.

Nos sistemas clássicos de rádio, a modulação é feita analogicamente, porém no caso de sistemas mais recentes, incluindo o RFID, a modulação utilizada é digital. Os três principais esquemas de modulação digital são: ASK (*Amplitude Shift Keying*), FSK (*Frequency Shift Keying*) e PSK (*Phase Shift Keying*).

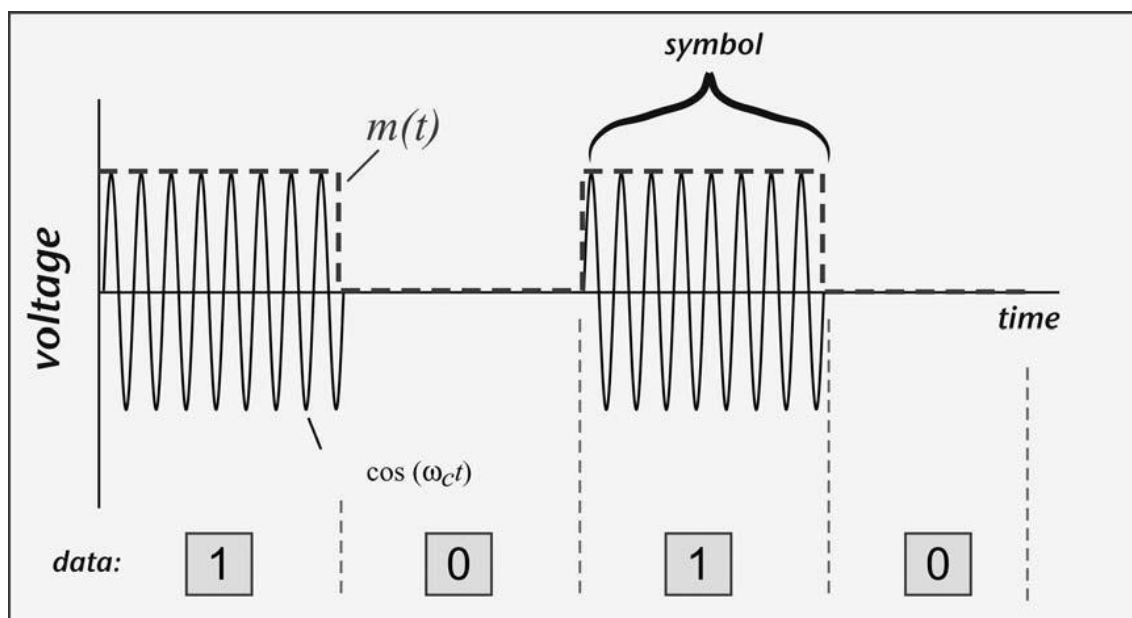


Figura 13. Ilustração da modulação ASK. (DOBKIN, 2008)

Na modulação **ASK**, a amplitude de uma portadora senoidal é comutada entre dois (ou mais) estados  $a_0$  e  $a_1$ , por exemplo, de acordo com um sinal binário já codificado. Podemos definir o índice de modulação com a seguinte expressão:

$$m = \frac{a_0 - a_1}{a_0 + a_1}$$

Na modulação binária, B-ASK, onde um dos níveis de amplitude é igual a zero ( $a_0 = 0$ ), o índice de modulação será  $m = 1$ , ou seja, temos um ASK 100%. Esse tipo de modulação é também chamada OOK (*On-Off Keying*).

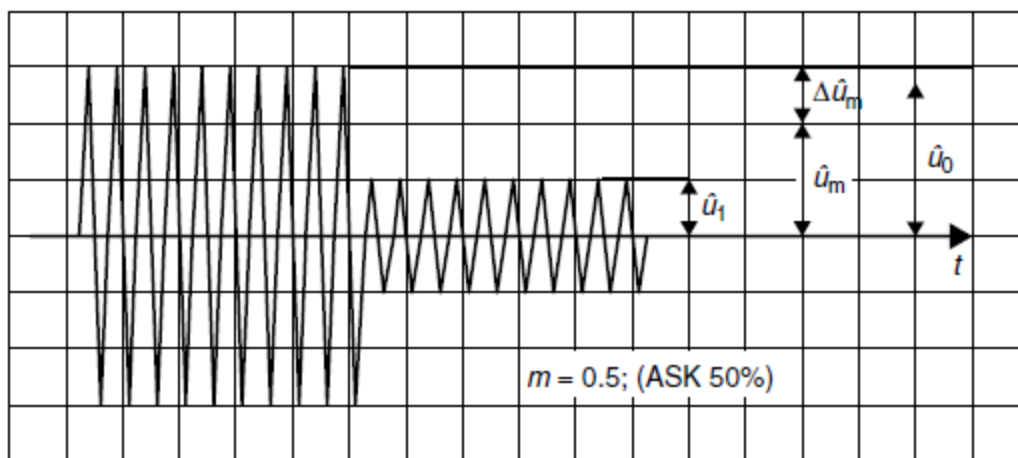


Figura 14. Exemplo de modulação B-ASK com índice de modulação 0.5. (FINKENZELLER, 2003)

Quando existem vários níveis de amplitude – M níveis, esse tipo de modulação é chamada M-ASK.

A modulação **FSK** é caracterizada pela alteração da frequência da portadora entre valores  $f_n$  pré-definidos. No caso de um sinal binário ser utilizado como modulante da portadora, teremos um 2-FSK, com  $f_1$  e  $f_2$ .

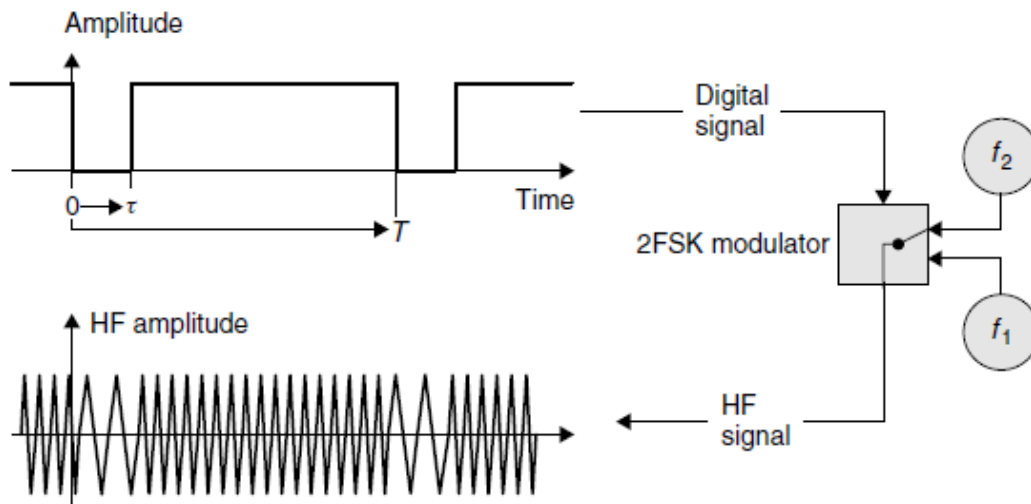


Figura 15. Geração de modulação 2-FSK. (FINKENZELLER, 2003)

A frequência média  $f_{CR}$  é definida como o valor médio entre  $f_1$  e  $f_2$ :

$$f_{CR} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

E o desvio de frequência é dado por:

$$\Delta f_{CR} = \frac{f_1 - f_2}{2}$$

O espectro do sinal modulado 2-FSK será a superposição dos espectros de dois sinais ASK, cada qual centrado em  $f_1$  e  $f_2$ , resultando em uma distribuição assimétrica em torno de  $f_{CR}$ .

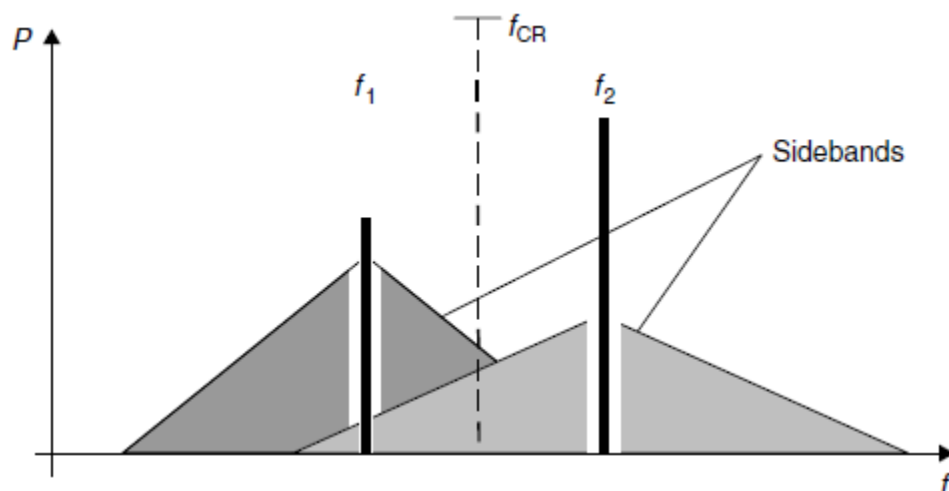


Figura 16. Espectro de um sinal modulado 2-FSK. (FINKENZELLER, 2003)

Modulação **PSK**, utiliza a mudança na fase da portadora como meio de transmissão informação. Mais uma vez, quando o sinal é binário codificado, existem duas fases  $\theta_1$  e  $\theta_2$ , que geralmente são  $\theta_1 = 0^\circ$  e  $\theta_2 = 180^\circ$ , na chamada B-PSK. Matematicamente, a mudança de fases entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$  correspondem à multiplicação por 1 e -1.

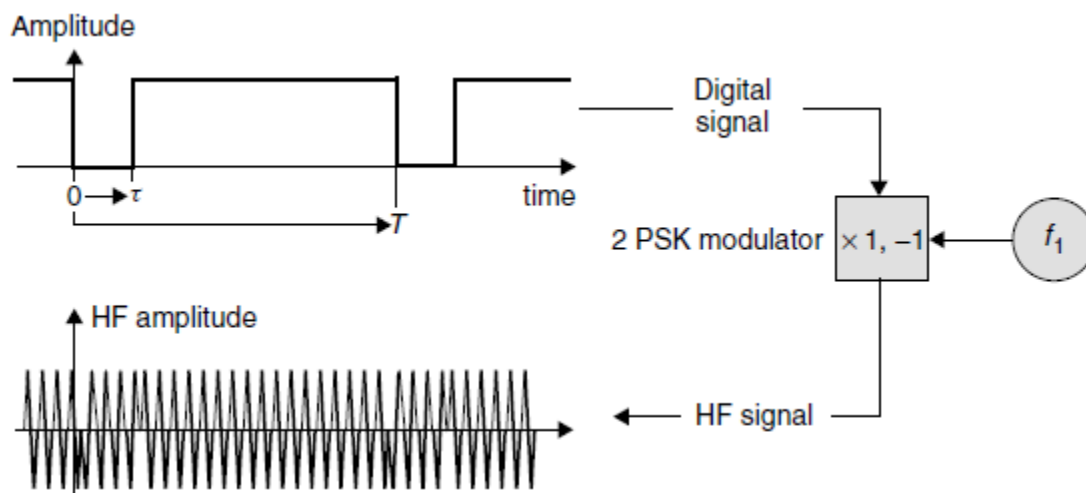


Figura 17. Esquema para geração do sinal modulado B-PSK. (FINKENZELLER, 2003)

Além dos três tipos básicos de modulação digital, a tecnologia RFID também faz uso de uma técnica chamada Modulação de Subportadoras. O uso de subportadoras moduladas está bastante difundido nas tecnologias de rádio (FINKENZELLER, 2003).

Nos sistemas RFID, o procedimento de modulação que utiliza subportadoras é principalmente utilizado em sistemas com acoplamento indutivo nas faixas de frequência de 6.78 MHz, 13.56 MHz ou 27.125 MHz; e também na modulação de carga<sup>2</sup> para transferência de dados entre *tag* e leitor. Ao invés de comutar a resistência de carga *on-off* no tempo com um sinal banda básica codificado, uma subportadora de baixa frequência é primeiramente modulada por esse sinal codificado em banda básica. ASK, FSK ou PSK podem ser escolhidas como métodos de modulação da subportadora.

A frequência dessa subportadora é normalmente obtida pela divisão da frequência de operação por uma potência de 2.

A vantagem desse tipo de procedimento pode ser vista se analisarmos o espectro do sinal. Como pode ser visto na Figura 18, com a modulação utilizando subportadoras,

<sup>2</sup> Se a comutação on-off do resistor de carga na tag é controlada por dados, esses dados podem ser transferidos da tag para o Leitor.

Esse tipo de transferência de dados é chamado de modulação de carga.



são geradas duas regiões espectrais distanciadas de  $\pm$  a frequência da subportadora da frequência de operação. Com essa separação, o sinal de resposta entre *tag* e leitor, que tem uma potência mais baixa, pode ser mais facilmente recuperado no leitor.

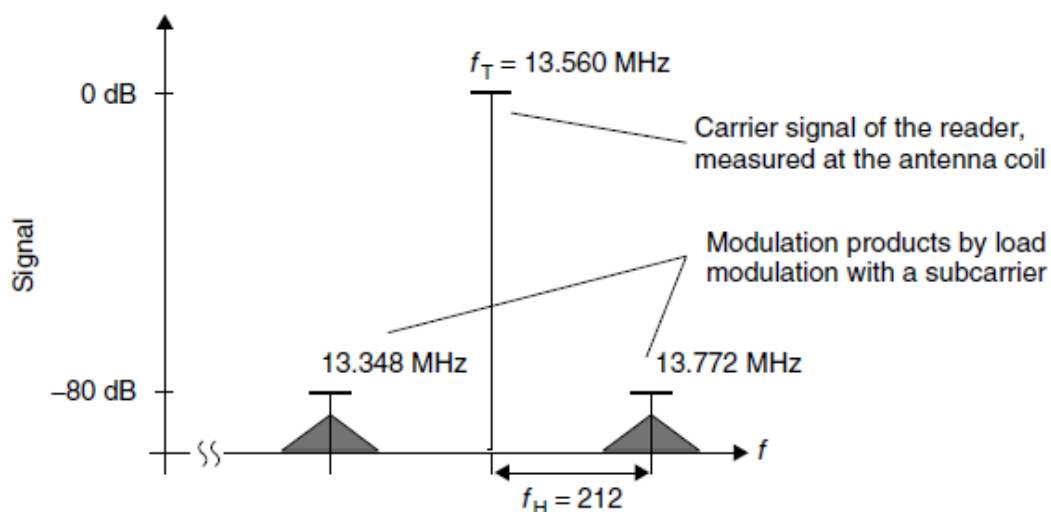


Figura 18. Exemplo do espectro de um sinal modulado utilizando subportadoras. (FINKENZELLER, 2003)

### 2.3 RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE

Até agora, foram expostas as características gerais de um sistema RFID e seus componentes. Nesta seção, será introduzido o conceito de Rádio Definido por *Software* (RDS) para que possamos embasar teoricamente o trabalho realizado.

A comunicação sem fio já está mais do que consolidada como um dos mais importantes modelos de sistemas de comunicação. Com as mudanças e a necessidade de interação, sistemas reconfiguráveis e programáveis são cada vez mais bem vistos. O Rádio Definido por *Software* e Rádio Cognitivo são grandes tendências nessa área (AHSON e ILYAS, 2008).

A estrutura de sistemas de comunicações consiste basicamente de um *front end* em RF e outros blocos responsáveis por (de)modulação, amplificação, filtragem e outras funções típicas no tratamento de sinais para comunicação. Para os rádios definidos por *software* esses blocos são implementados em uma plataforma de programação ao invés de utilizar componentes discretos em *hardwares* fixos que dificilmente não têm suas características mutáveis.

O único bloco que não é implementado por *software* é o *front end* em RF (bloco da antena). Nesses sistemas, a utilização de DSPs (*Digital Signal Processors*), FPGAs

(*Field Programmable Gate Arrays*) tornam o *hardware* genérico, possibilitando a operação em diversos cenários somente pela mudança do *software* carregado.

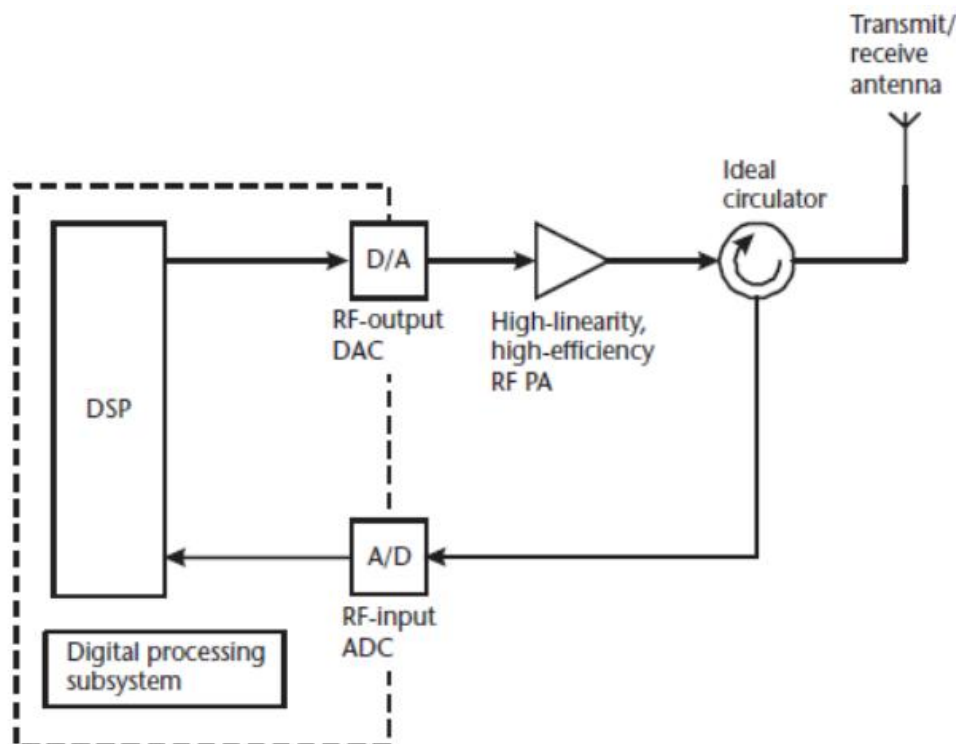


Figura 19. Diagrama de blocos de um sistema de Rádio Definido por *Software*.

Para citarmos uma das vantagens do RFID baseado em uma plataforma de RDS, analisamos que, tradicionalmente, os sistemas RFID têm sido projetados imaginando um leitor em um único cenário de operação, geralmente bastante favoráveis a esta operação. O uso crescente desta tecnologia em vários setores vem resultando em situações nas quais vários leitores estão operando muito próximos uns dos outros, levando a interferências, que por sua vez podem resultar em mau funcionamento ou lentidão do sistema.

O problema de colisão entre leitores dentro de uma rede RFID se mostra como um dos pontos mais críticos do desenvolvimento desses sistemas. Um protocolo anti-colisão precisa ser implementado conjuntamente para redes *ad hoc* de leitores RFID. Um dos desafios do desenvolvimento RFID é tornar as *tags* o mais simples possível, acrescentando complexidade aos leitores. Eles são os componentes que poderão resolver o problema da colisão mais facilmente, já que as *tags* (principalmente as passivas) não têm robustez de processamento para tal. Colisão entre leitores não só diminui a taxa de leituras de *tags*, como também aumenta o uso de banda (AHSON e ILYAS, 2008).

No caso de um sistema RFID que conte com a maleabilidade de um *software*, as vantagens apresentadas são várias, dentre elas:

- Receber e transmitir vários métodos de modulação usando a mesma plataforma;
- Alterar a funcionalidade do sistema apenas rodando um novo *software*;
- Possibilidade de reconhecer e evitar a interferência de outros leitores RFID e outros aparelhos de comunicação em um ambiente de alta densidade de ondas eletromagnéticas;
- Flexibilidade na alocação de banda e seu gerenciamento;
- Possibilidade de realização de testes para outras aplicações RFID, como redes de sensores;
- Monitoramento das variáveis do sistema, como potência enviada e recebida.

Em meio a essas vantagens é normal que surjam dúvidas do porque todos os sistemas de comunicação ainda não utilizarem o RDS. Algumas dificuldades devem ser superadas para que esses sistemas se tornem maioria. A adaptação dos *softwares* nem sempre é tão simples assim: a conversão analógica/digital, a capacidade de processamento, velocidade na transmissão de dados, o uso de antenas que atendam uma larga faixa de frequências e a adaptação dinâmica do sistema a essa mudança na frequência de operação, são alguns dos problemas ainda difíceis de serem resolvidos.

### 2.3.1 UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL – USRP E GNU RADIO

Apesar do próprio nome Rádio Definido por *Software* dar uma noção do quanto é importante a programação para esse tipo de aplicação, é necessário ter em mãos o *hardware* que será responsável pelo sistema genérico capaz de fazer todo o processamento dos sinais.

USRP, do inglês *Universal Software Radio Peripheral*, é uma família de produtos criada e distribuída pela *Ettus Research<sup>TM</sup> LCC* (ETTUS). Esta plataforma permite a criação de aplicações em RDS utilizando qualquer computador pessoal com conexão USB 2.0 ou Gigabit Ethernet.



Figura 20. Foto Ilustrativa da USRP 1.0. (ETTUS)

Basicamente, a USRP é uma plataforma composta por uma placa mãe (*Mother Board*) que conta com um FPGA, *downconverters* (DDCs) que atuam como misturadores, filtros e decimam o sinal de entrada no FPGA. Na saída do FPGA *upconverters* (DUCs) interpolam o sinal em banda básica antes do processo para levar o sinal para a frequência de operação desejada. O FPGA é responsável pelo processamento em altas taxas (o processamento mais lento ocorre no computador ao qual o sistema está conectado e no qual a plataforma de programação está rodando).

As placas filhas (*Daughter Board*) são placas de expansão que permitem a flexibilidade do sistema em relação à faixa de frequências de operação e aumentam sua capacidade de processamento (como a frequência de amostragem).

Todo o design da USRP é aberto aos pesquisadores interessados e quando utilizado em conjunto com sua plataforma de programação GNU Radio é uma ferramenta poderosa na criação de aplicações em RDS e que é totalmente de código aberto. Para maiores informações sobre o sistema e suas versões disponíveis no mercado, é recomendada uma visita ao site da *Ettus* (ETTUS).

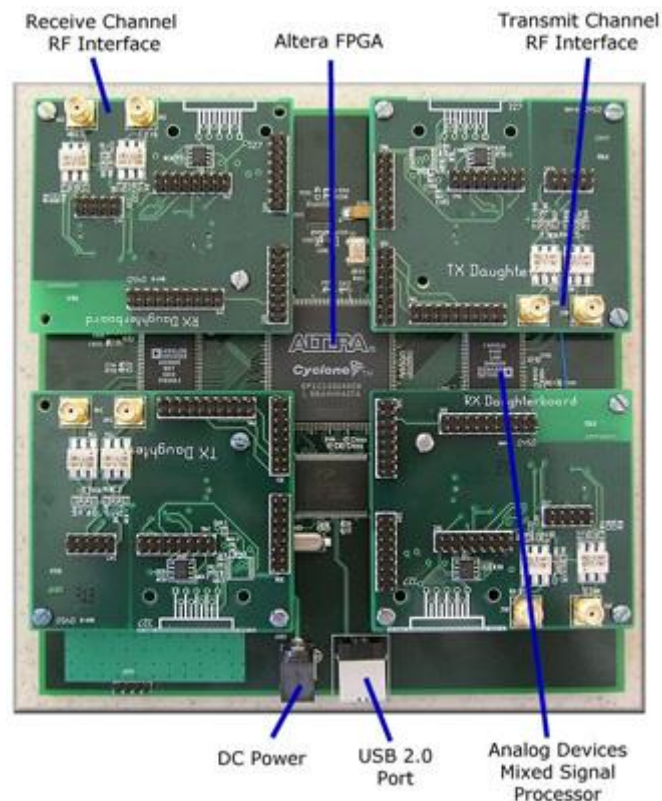


Figura 21. Placa USRP (Modelo 1.0) com placas filhas Conectadas. (ETTUS)

Para a interface entre o usuário e as funções da plataforma USRP existe um ambiente de programação desenvolvido especificamente tal, o GNU Radio que é amplamente utilizado por pesquisadores da área (ele não é único, a USRP é flexível o suficiente para acomodar outras opções, como sistemas desenvolvidos pelo próprio usuário).

O GNU Radio é um *toolkit* para desenvolvimento de aplicações em RDS livre e gratuito que fornece blocos de processamento de sinais prontos, bem como a possibilidade de desenvolvimento de blocos específicos (GNU Radio).

Essa plataforma é desenvolvida para o ambiente Linux e as aplicações são escritas na linguagem Python. Porém, o processamento de sinais em si é realizado em C++ e existe uma ferramenta específica para realizar a conexão entre as duas linguagens de programação. De maneira bem simples, podemos imaginar as funções do GNU Radio como blocos de processamento. Enquanto utilizamos a linguagem Python para realizar a conexão entre esses blocos e o encaminhamento dos dados de entrada e saída, tudo que acontece dentro dos blocos é feito em C++.

Existe também um ambiente gráfico no qual o usuário pode utilizar uma interface gráfica (algo semelhante com um diagrama de blocos) para implementar a

aplicação desejada. Esse ambiente, chamado GRC (*GNU Radio Companion*) lembra o ambiente do *Simulink*, existente na plataforma do *MatLAB*®.

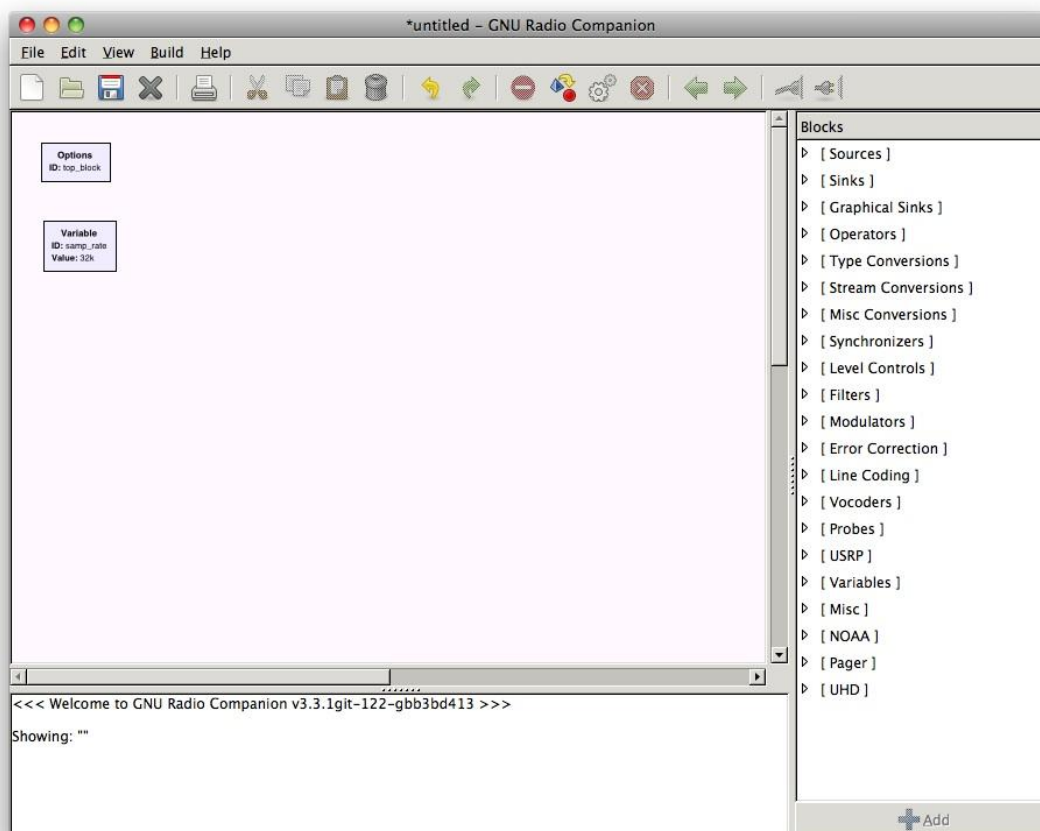


Figura 22. Tela do GRC. Nota-se a lista de blocos disponíveis a direita da imagem.

O GNU Radio pode ainda ser utilizado como ferramenta de simulação, sem exatamente necessitar da presença da plataforma USRP, já que o mesmo pode ter arquivos e/ou blocos da própria plataforma como fontes ou destinos de dados processados.

## 2.4 INTERFACE EM RF - ANTENAS

O projeto da antena para qualquer aplicação em RF é de extrema importância para o bom funcionamento do sistema. Independentemente da aplicação, se não tivermos uma antena com as características necessárias, dificilmente conseguiremos realizar a transmissão/recepção de informações desejadas.

Para os sistemas RFID não é diferente. As antenas de leitores e *tags* devem ser cuidadosamente projetadas e suas características devem ser compatíveis para garantir que o leitor conseguirá enxergar as *tags*.

Além disso, para o caso de um sistema RFID baseado em RDS, a preocupação com a antena deverá ser um dos pontos primordiais para se usufruir da flexibilidade desses sistemas, pois uma escolha errada resultará no insucesso da aplicação e uma conclusão errada de que o sistema desenvolvido apresenta algum erro, quando na verdade o defeito se encontra no *front end*.

A seguir, serão feitas algumas considerações importantes na teoria de antenas direcionadas para aplicações RFID, em especial as antenas dos leitores que operam em UHF<sup>3</sup>.

As principais características do projeto de uma antena que se relacionam com a sua utilidade em um sistema RFID são:

- Ganho;
- Padrão de irradiação;
- Polarização;
- Impedância;
- Largura de banda.

Todas as características citadas são sempre trabalhadas para que se possa atingir um bom funcionamento do sistema, balanceando tamanho e custo da antena.

Uma antena irradia diferentes quantidades de energia em diferentes direções quando devidamente excitadas. Esse padrão de irradiação depende da sua estrutura. A relação existente entre a densidade de potência em uma dada direção e a média da densidade em todas as direções é chamada de *Ganho Diretivo* da antena naquela direção. O Ganho diretivo na direção onde existe a maior densidade de potência é chamado de *Máximo Ganho Diretivo* ou *Diretividade*. Sendo  $U$  a densidade de potência em um dado local definido pelos ângulos  $\theta$  e  $\phi$  (em coordenadas esféricas), temos o Ganho Diretivo  $D$ :

---

<sup>3</sup> Será explicitado na próxima seção as características do sistema implementado, que obedece ao padrão EPCglobal Class 1 Generation 2. Padrão este que opera na faixa de UHF. A atenção maior foi dada as antenas dos leitores, já que as *tags* utilizadas para teste foram *tags* comerciais e o projeto destas é extremamente minucioso e mais detalhado, fugindo ao escopo deste trabalho.

$$D = \frac{U_{\theta, \phi}}{\int_{\theta, \phi} U \sin \theta \, d\theta d\phi};$$

A *Eficiência* diz respeito à porcentagem da potência fornecida à antena que foi irradiada em relação com aquela absorvida ou refletida. No caso de leitores RFID essa porcentagem se aproxima de 100%. Deste modo, se definirmos o *Ganho*  $G$  como o produto entre a Eficiência  $\varepsilon$  e a Diretividade  $D_{max}$ , teremos (DOBKIN, 2008):

$$G = \varepsilon D_{max} \approx D_{max}$$

O Ganho citado é geralmente medido em relação a uma antena ideal (inexistente na prática) chamada isotrópica e é referenciado em dBi para denotar a relação com a isotrópica. Na prática, o Ganho é medido através da comparação da potência recebida de uma antena em teste com uma antena de referência, esta última muitas vezes sendo uma antena dipolo.

Conhecendo-se o Ganho e o montante de potência transmitida pela antena, podemos calcular a quantidade de potência que teríamos que fornecer a uma antena isotrópica para obtermos os mesmos valores de pico que aqueles obtidos na direção de maior ganho da antena real. Essa potência é chamada de *EIRP* do inglês *Effective Isotropic Radiated Power*, e é maior que a potência de transmissão. Em dB:

$$EIRP = P_{TX}(dBm) + G_{TX}(dBi)$$

Essa medida é usualmente utilizada por órgãos reguladores para determinar o máximo de potência emitida em uma dada faixa de frequências.

O *Padrão de Irradiação* ou *Diagrama de Irradiação* de uma antena mostra a intensidade da potência recebida por a uma dada distância, em todos os ângulos, utilizando um plano como referência (plano -  $xy$ , por exemplo).

Para exemplificar melhor o conceito, pensemos em um dipolo ideal, uma antena retilínea formada por dois “braços” irradiadores de mesmo tamanho com um *gap* no ponto de alimentação.

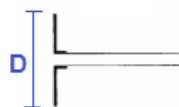


Figura 23 Dipolo ideal de tamanho  $D$ .



Uma antena deste tipo induz corrente em outra antena quando esta está localizada perpendicularmente ao seu eixo, mas não induz quando a antena receptora está no seu mesmo eixo (o eixo da antena dipolo é aquele ao longo de seus braços). Essas considerações valem para o plano que contém a antena, para o plano perpendicular a antena, observa-se que a potência de irradiação é constante (vide Figura 24).

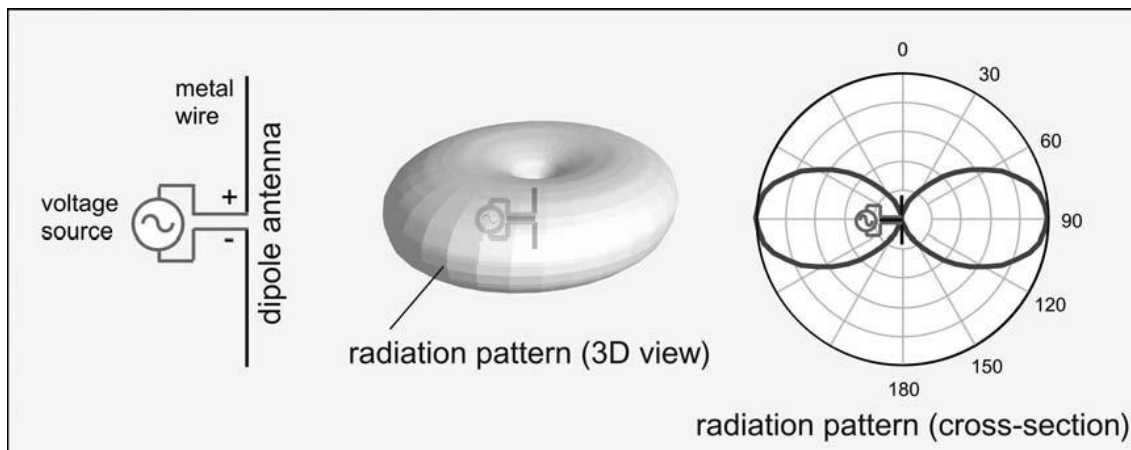


Figura 24. Padrão de Irradiação para o dipolo ideal. (DOBKIN, 2008)

A maneira mais fácil de levantar essa distribuição espacial do campo é realizar testes e plotar o Padrão de Irradiação de uma antena, gráfico bastante utilizado e que não somente identifica a distribuição do campo, como também outras informações acerca de Diretividade, Abertura do Feixe e Potência de 3dB.

A antena isotrópica não é um tipo de antena muito interessante para aplicações em RFID. Imaginemos a seguinte situação: uma área onde existem várias *tags*, mas somente aquelas localizadas em certa porção do espaço devem ser lidas em dado instante de tempo. Um leitor que irradia potência através de uma antena isotrópica provavelmente receberá informações de *tags* que não serão aproveitadas naquele momento e isso causará uma má performance do sistema.

Para resolver tal questão, o uso de antenas direcionais é aconselhado quando se trata de aplicações em RFID. E estas antenas são usualmente identificadas pelo já comentado Padrão de Irradiação ou Diagrama de Irradiação, que poderá ser especificado em 3D ou em um dos planos de irradiação da antena, como pôde ser visto na Figura 24. Vistos os conceitos básicos acerca de Ganho e Diretividade de uma antena (bem como a estreita relação entre eles), podemos definir que quanto maior o Ganho de uma antena

direcional mais estreito será a largura do feixe de energia irradiada a partir dela (DOBKIN, 2008).

Matematicamente, podemos descrever essa situação por meio de uma aproximação na qual toda a energia é uniformemente distribuída em um feixe com ângulo sólido  $\Omega_{beam}$ . Neste caso, a Diretividade deve ser igual à razão entre o ângulo sólido do feixe e a área de uma esfera unitária ( $4\pi$ ):

$$D_{max} = \frac{4\pi}{\Omega_{beam}} \approx \frac{4\pi}{G}$$

Deste modo, chegamos à conclusão de que o ângulo sólido (em radianos) é inversamente proporcional à Diretividade da antena. A aproximação em relação ao Ganho é feita levando-se em consideração o comentário já feito, onde antenas com alta diretividade (o que geralmente acontece com antenas para RFID) apresentam Eficiência próxima de 100%, justificando a aproximação.

Para a análise em um dos planos de simetria da antena, é importante também definirmos o ângulo do feixe  $\theta_{beam}$ , que será aproximado pela raiz quadrada do ângulo sólido:

$$\theta_{beam} \approx \sqrt{\Omega_{beam}}$$

De maneira prática, se tivermos o Diagrama de Irradiação em um plano definido, estimaremos o ângulo do feixe em 3 dB localizando o ponto no qual o Ganho é reduzido em 3 dB em relação ao seu valor máximo no centro do feixe.

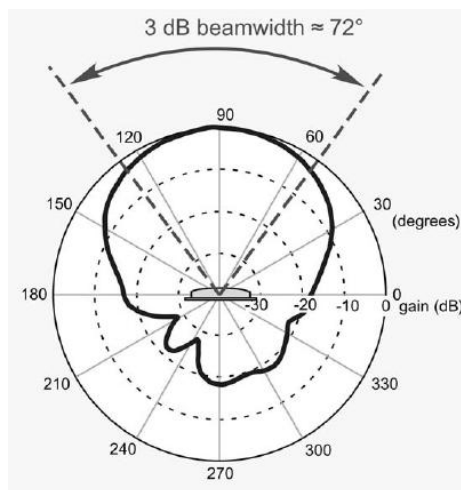


Figura 25. Exemplo de um Diagrama de Irradiação e ângulo de 3dB para uma Antena Comercial –Maxrad MP9026CPR. (DOBKIN, 2008)

Para a figura acima, percebemos que seu  $\theta_{beam} = 72^\circ \approx 1.25 \text{ rad}$ . Aproximando o ângulo sólido, temos  $\Omega_{beam} \approx \theta_{beam}^2 = 1.56 \text{ rad}$ . Como é conhecida a relação aproximada entre o ângulo sólido e o Ganho da antena, é possível fazer uma estimativa desta característica.

Discutidas algumas das características mais importantes em relação ao Ganho e Padrão de Irradiação, serão introduzidos agora os conceitos básicos relacionados à Polarização.

Antenas irradiam campos elétricos, que apontam em diferentes direções em locais diferentes no espaço a cada instante de tempo. O comportamento desta direção define a *Polarização* da onda irradiada. O campo elétrico de uma onda linearmente polarizada sempre aponta em uma direção (vertical, por exemplo) em todos os instantes de tempos e em qualquer local do espaço. O campo elétrico devido a uma polarização circular gira em torno do seu eixo a cada ciclo de propagação em RF. Existem ainda os casos intermediários (ondas elípticamente polarizadas).

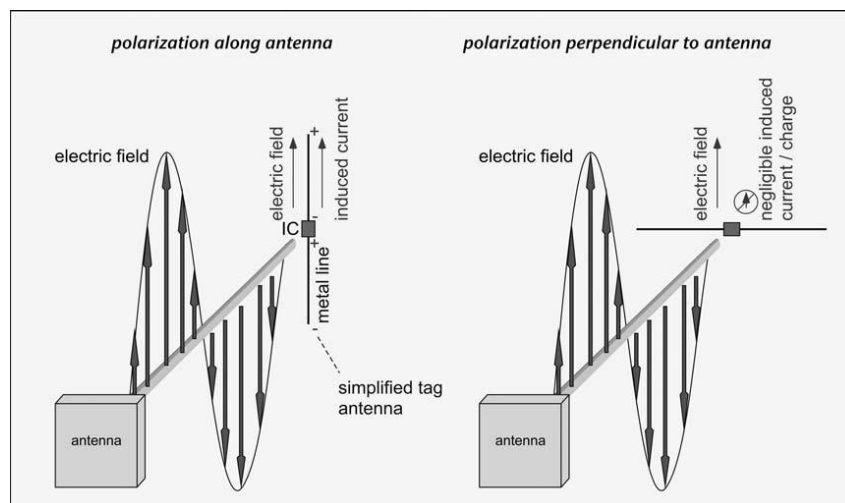


Figura 26. Polarização Linear e sua interação com a antena da *tag* de acordo com a orientação desta. (DOBKIN, 2008)

A importância da polarização em RFID é bastante óbvia dada uma observação mais detalhada: as antenas de *tags* muitas vezes consistem apenas em filetes de metal em uma única direção. Se o campo elétrico recebido for direcionado ao longo dessa direção, ele poderá excitar os elétrons induzindo uma tensão que é utilizada para alimentar o circuito, permitindo que a *tag* se comunique com o leitor. Se o campo elétrico recebido for perpendicular ao eixo da antena da *tag*, ele não será capaz de induzir corrente suficiente para alimentar o circuito, não havendo comunicação *tag* –

leitor. Observando a Figura 26 e a Figura 27 a seguir, torna-se mais fácil a compreensão dos conceitos acerca de Polarização.

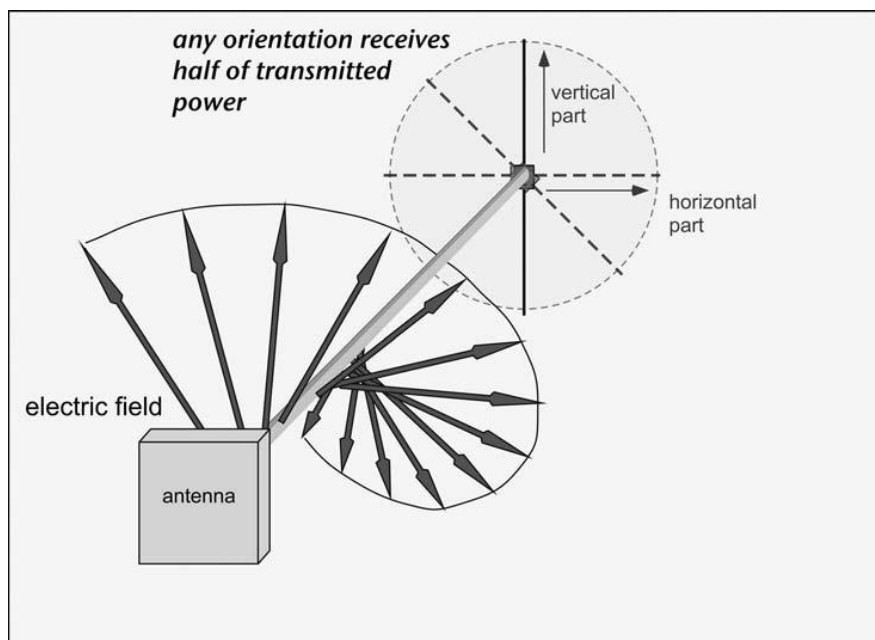


Figura 27. Polarização Circular e seu padrão de propagação. (DOBKIN, 2008)

Apesar da vantagem da não preocupação com a orientação das antenas receptoras no caso da utilização da Polarização Circular, é necessário também fazer considerações sobre as desvantagens, que implicam sobretudo na potência entregue pela antena. Com a utilização da Polarização Circular, essa potência irá diminuir pra cerca da metade em qualquer orientação escolhida.

Esse tipo de consideração deverá ser levada em conta na hora do projeto RFID. Um compromisso entre vários fatores, como distância máxima de leitura e disposição das *tags* no espaço, deverá guiar o projeto.

Como já foi exaustivamente comentado neste tópico sobre antenas, é de extrema importância para o sucesso da aplicação que se tenha o máximo de cuidado na hora do projeto. Algumas considerações básicas foram feitas, somente para situar a problemática dentro da implementação proposta. A intenção do tópico não era cobrir toda a teoria sobre antenas para aplicações em RFID e, como é facilmente notado, alguns pontos como Impedância e Largura de banda não foram abordados. Essa escolha foi feita para não tornar o texto demasiado longo e exaustivo, fugindo do principal foco do trabalho. As referências bibliográficas apresentam informações mais aprofundadas para aqueles que desejarem uma teoria mais completa e específica.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Como pôde ser visto de maneira superficial na Revisão Teórica apresentada previamente, um dos problemas de sistemas RFID tradicionais é sua falta de flexibilidade. Principalmente em relação a faixa de frequência de operação, para não citarmos restrições de potência, esquemas de modulação e codificação, dentre outros.

O trabalho realizado visou diminuir essa limitação, buscando a implementação de um sistema que operasse em toda a faixa UHF para aplicações de identificação por rádio frequência. Já que, ao redor do mundo, cada país tem sua própria atribuição de frequências UHF para aplicações RFID. Por exemplo, 840.5 – 844.5 e 920.5 – 924.5 MHz na China, 866 – 869 MHz na Europa, 902 – 928 MHz banda no Norte e Sul da América, 866 – 869 e 920 – 925 MHz em Cingapura e 952 – 955 MHz no Japão. De modo que a frequência de UHF RFID varia de 840.5 a 955 MHz (CHEN, QING e CHUNG, 2009).

Desta maneira, apesar das diferentes normas e alocação de diferentes faixas de frequências que países e regiões adotam, teremos um sistema capaz de ser ajustado as necessidades específicas através de *software*.

Outro ponto importante a ser destacado do sistema RFID baseado em RDS é a sua utilização para fins de testes e calibração, bem como desenvolvimento de outras áreas de aplicação da tecnologia (Por exemplo, a utilização dos elementos RFID como sistemas de sensoriamento, área com uma grande atividade em pesquisa nos últimos tempos).

#### 3.1 SISTEMA RFID BASEADO NA USRP

Primeiramente, vamos descrever a aplicação responsável por emular o leitor RFID. Como já foi dito, utilizou-se um computador pessoal juntamente com a USRP e a plataforma de programação e interface GNU Radio.

Pela natureza de códigos livres dos projetos para USRP, foram analisados alguns projetos já implementados para serem utilizados como ponto de partida para o projeto proposto. Foram eles: *Gen 2 RFID Tools*”, contribuição de Michael Buettner

(BUETTNER e WETHERALL, 2011); “*Gen2 RFID Listener*” contribuição de Danilo De Donno (DE DONNO, RICCIATO, *et al.*, 2010).

Ambos os projetos pode ser encontrados no site do projeto *The Comprehensive GNU Radio Archive Network* (CGRAN), que reúne um grande número de projetos para USRP desenvolvidos com o GNU Radio, totalmente de código aberto e disponível para *downloads* (The Comprehensive GNU Radio Archive Network (CGRAN), 2011).

Após a leitura dos projetos e uma série de testes e análises dos códigos, optou-se por utilizar o projeto “*Gen2 RFID Listener*”, pois o mesmo apresenta uma proposta diferenciada acerca das tarefas do leitor no sistema RFID.

Neste projeto, é proposta a separação das tarefas de transmissão e recepção normalmente operadas por um mesmo aparelho em sistemas RFID. O que se tem é um transmissor, que irradia a onda contínua (*Continuous Wave – CW*) utilizada para energizar as *tags* e também envia os comandos do protocolo de comunicação; e, separadamente, um ouvinte (do inglês *listener*), responsável por receber as informações provenientes das etiquetas.

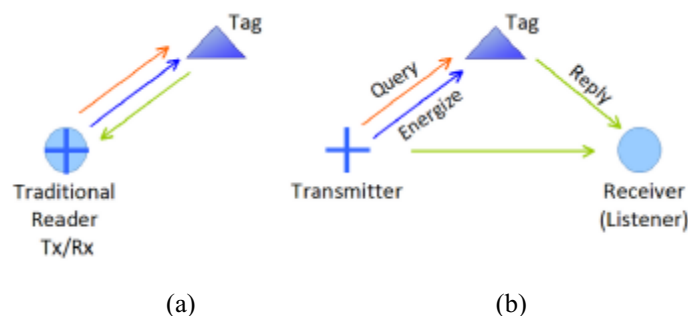


Figura 28. (a) Esquema tradicional RFID, com leitor transmitindo e recebendo; (b) Esquema proposto, com as tarefas de transmissão e recepção desmembradas. (DE DONNO, RICCIATO, *et al.*, 2010)

Para maiores informações sobre o projeto desenvolvido, as referências bibliográficas, bem como o site do CGRAN são os locais indicados para o aprofundamento do tema.

Dentro o escopo deste trabalho, as informações pertinentes são aquelas referentes ao modelo escolhido e os materiais e métodos utilizados.

Deste modo, a parte do projeto desenvolvida no GNU Radio consistiu num sistema Leitor mais Ouvinte, que pode ser caracterizado pela presença de três antenas: antena TX do leitor, antena RX do leitor e antena RX do ouvinte.

As razões para a adoção desta configuração são baseadas no fato de que um sistema deste tipo é ideal para o desenvolvimento de pesquisas posteriores. Por

exemplo, pode-se utilizar o Ouvinte como um sistema de monitoramento de qualidade e de segurança; pode-se desenvolver a emulação de uma *tag* também em RDS para realização de testes em relação à criptografia dos dados na comunicação *tag*/leitor.

### 3.2 ANTENA PARA FAIXA DE UHF

Após a definição do sistema a ser implementado, outro ponto importantíssimo seria definir as características da antena que atendesse as necessidades do sistema. Basicamente: operação em toda banda UHF para RFID (840 – 960 MHz), alto Ganho e polarização circular (para que não houvesse preocupação com a orientação das *tags*).

A bibliografia acerca do tema é bem vasta e notou-se que as geometrias e projetos são os mais variados possíveis. Como se buscou um projeto simples, que pudesse ser colocado em prática sem maiores complicações, optou-se pela construção de uma antena tipo *patch* fabricada com elementos simples (folhas de cobre, separadores de plástico e cabo coaxial). O detalhamento do projeto pode ser encontrado no artigo “*A Universal UHF RFID Reader Antenna*” (CHEN, QING e CHUNG, 2009).

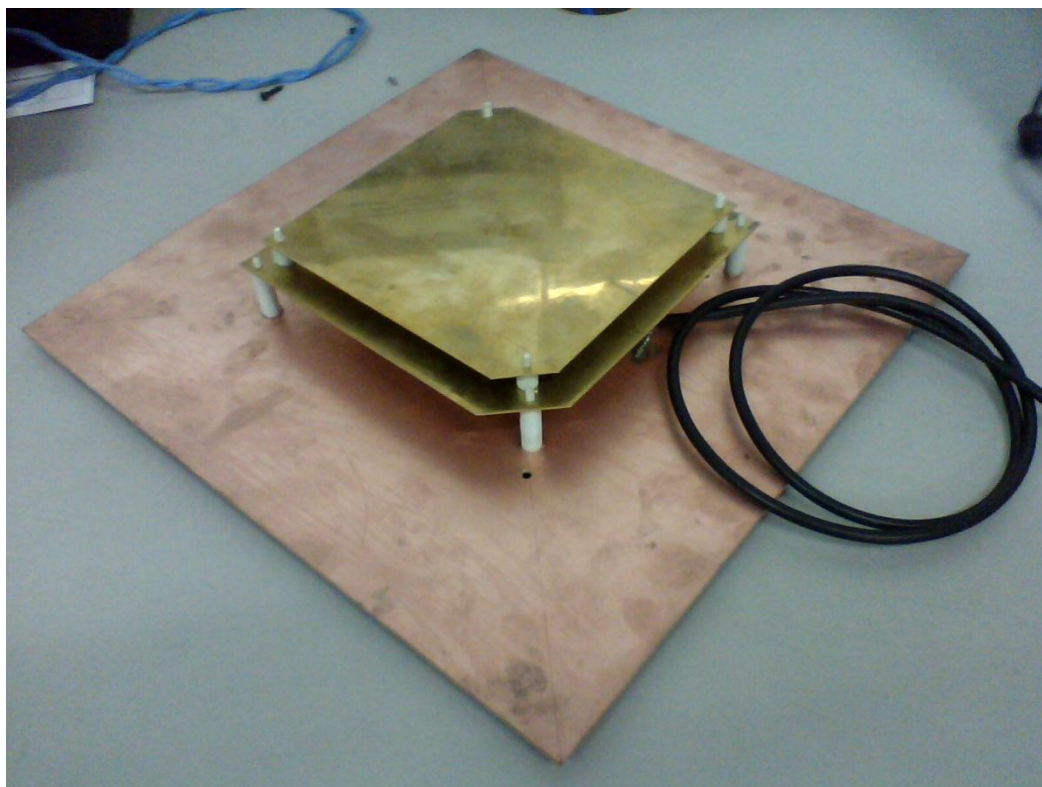


Figura 29. Foto da antena construída para a aplicação específica de RFID na faixa UHF.

### 3.3 SISTEMA COMPLETO

As principais características do sistema implementado são:

- Faixa de operação: toda banda UHF para RFID (840 – 960 MHz). Os resultados apresentados foram obtidos para uma frequência de 915 MHz. Esta é a frequência mais comum de operação da faixa UHF para o continente americano como um todo;
- Concordância com o padrão de comunicação RFID “*EPC Global Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol Standard*”;
- Esquema de modulação ASK;
- *Pulse Interval Encoding* no link Leitor/tag e *Miller Encoding* no link tag/Leitor;
- Protocolo MAC (*Media Access Control*) baseado em *Framed Slotted Aloha*.

Uma imagem do sistema em operação pode ser encontrada na próxima seção (4). A configuração física do sistema consistiu no uso de um computador pessoal, com sistema operacional *Linux (Ubuntu 11.04)*, no qual foi conectado via USB a USRP 1.0. Foram utilizadas duas placas de expansão RFX900 (transceptor na faixa de 750 – 1050 MHz) acopladas à placa mãe da USRP.

Cada uma das placas RFX900 possui uma conexão TX/RX e uma conexão RX2. Em umas das placas, foram conectadas as duas antenas do Leitor (transmissão – TX/RX e recepção – RX2) e na outra placa, conectada a antena do Ouvinte (recepção – RX2).

A antena construída (Vide seção 3.2) foi utilizada como antena TX do leitor, pela melhor irradiação de potência observada. O papel da recepção, tanto no Leitor como no Ouvinte, foi feito por duas antenas log-periódicas.

Os ajustes aos parâmetros da comunicação entre sistema Leitor e tags podem ser feitos diretamente no código da aplicação em Python desenvolvida para realizar a conexão entre os blocos.



## 4 RESULTADOS

Os testes realizados utilizaram o sistema citado na seção anterior juntamente com *tags* comerciais desenvolvidas para a faixa UHF e o padrão EPC Global Class 1 Gen 2.

Foram utilizadas três *tags*: duas do fabricante *UPM Raflatac*® dos tipos *UPM DogBone* e *UPM ShortDipole*; e uma *tag* da *Alien Technology*® do tipo 9640 “*Squiggle*”.

O esquema de montagem é ilustrado na figura a seguir. Para facilitar as mudanças, ao invés de colocar a *tag* na parede, foi adicionado um pedaço de papelão rígido para servir de apoio.

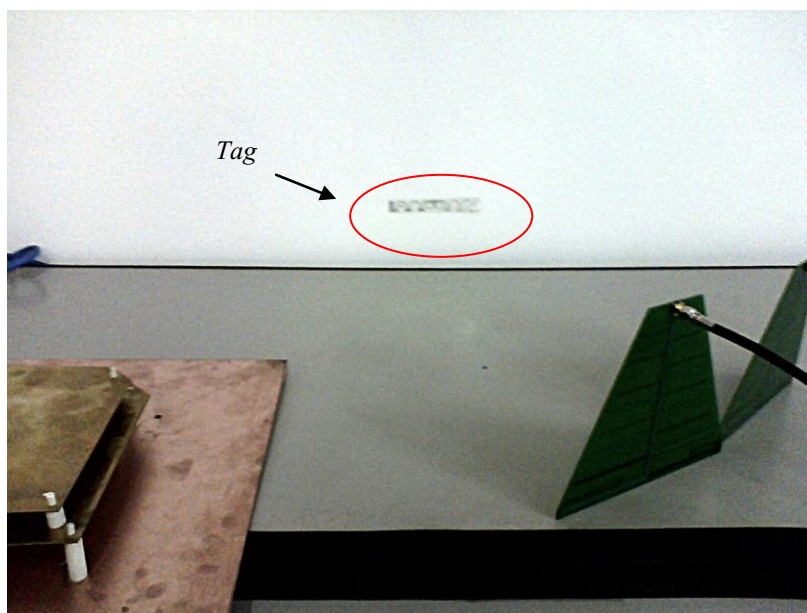


Figura 30. Esquema de montagem básico para leitura das *tags*.

O principal objetivo do projeto era obter o número EPC das *tags*. Basicamente, a comunicação entre leitor e *tag* pode ser descrita pelo diagrama abaixo:

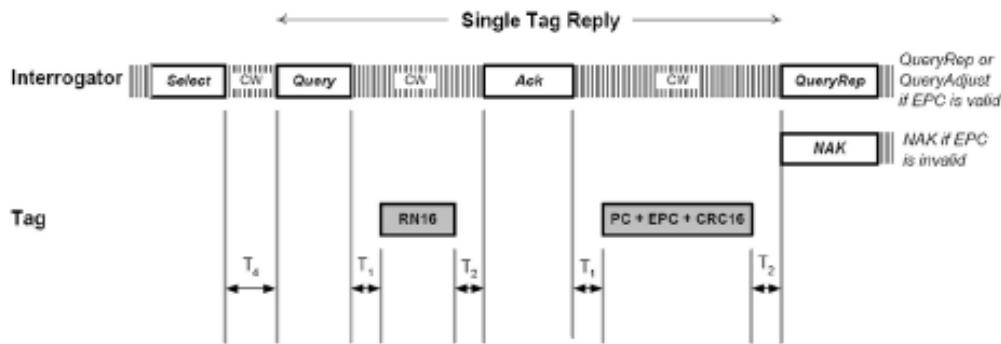


Figura 31. Diagrama mostrando a comunicação Leitor – tag. Protocolo MAC para o padrão Gen2. (DE DONNO, RICCIATO, *et al.*, 2010)

A figura acima mostra o que é chamado de *Inventory Round* (algo como Rodada de Interrogação). Quando uma *tag* recebe uma requisição – *Query*, ela escolhe um número aleatório de 16 bits, chamado *RN16*, pertencente ao intervalo  $[0, 2Q - 1]$  com  $Q$  sendo um parâmetro configurável do padrão e  $0 \leq Q \leq 15$ . Esse número é armazenado e é decrementado a cada *Inventory Round*. Quando chega em zero, a *tag* transmite o *RN16*. Para confirmação de conexão, o leitor envia o comando de reconhecimento – *ACK* que contém o *RN16*. Se a *tag* recebe o *RN16* corretamente, ela irá finalmente enviar o seu *ID* de 128 bits chamado *EPC* (o padrão EPC Global Class 1 Gen 2 prevê *ID* de outros tamanhos também).

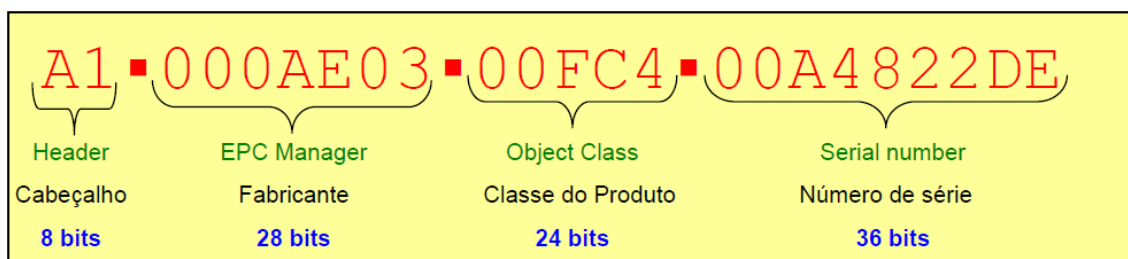


Figura 32. Estrutura típica de um número EPC. (FONTE: <http://www.techtraining.eng.br/>)

No caso do sistema descrito, ambos os sinais de Leitor e *tag* são recebidos pelo componente passivo do sistema, o Ouvinte. A partir das mensagens do leitor, o Ouvinte é capaz de decodificar os parâmetros do link de comunicação prestes a ser estabelecido (frequência do *uplink*, parâmetros de tempo para sincronia, dentre outros). Essas informações são enviadas pelo leitor no chamado *Preamble*, antes de qualquer um dos comandos especificados no parágrafo anterior. Após a decodificação destes valores, o Ouvinte é capaz de compreender as informações trocadas entre Leitor e *tag*, identificando sucessos e falhas.

Primeiramente, colocamos somente uma *tag* de maneira equidistante às três antenas (cerca de 40 centímetros), fixadas em um pedaço de papelão a cerca de 20 centímetros de altura (considerando o plano da bancada onde as antenas estavam localizadas).

Observou-se o comportamento e dentre os dados de saída, pôde-se obter os números EPC das *tags* (são mostrados os resultados obtidos mais de uma vez para constatar a eficiência do sistema):

- *Tag UPM DogBone:*

CRC_OK <sup>4</sup>	EPC: 3005FB63AC1F3841EC880467	RSSI <sup>5</sup> : 757.120667
CRC_OK	EPC: 3005FB63AC1F3841EC880467	RSSI: 757.066711
CRC_OK	EPC: 3005FB63AC1F3841EC880467	RSSI: 761.569824
CRC_OK	EPC: 3005FB63AC1F3841EC880467	RSSI: 763.027832

- *Tag UPM ShortDipole:*

CRC_OK	EPC: 300833B2DDD906C000000000	RSSI: 1533.753052
CRC_OK	EPC: 300833B2DDD906C000000000	RSSI: 1534.153442
CRC_OK	EPC: 300833B2DDD906C000000000	RSSI: 1284.077393
CRC_OK	EPC: 300833B2DDD906C000000000	RSSI: 1361.415527

- *Tag Alien 9640 “Squiggle”:*

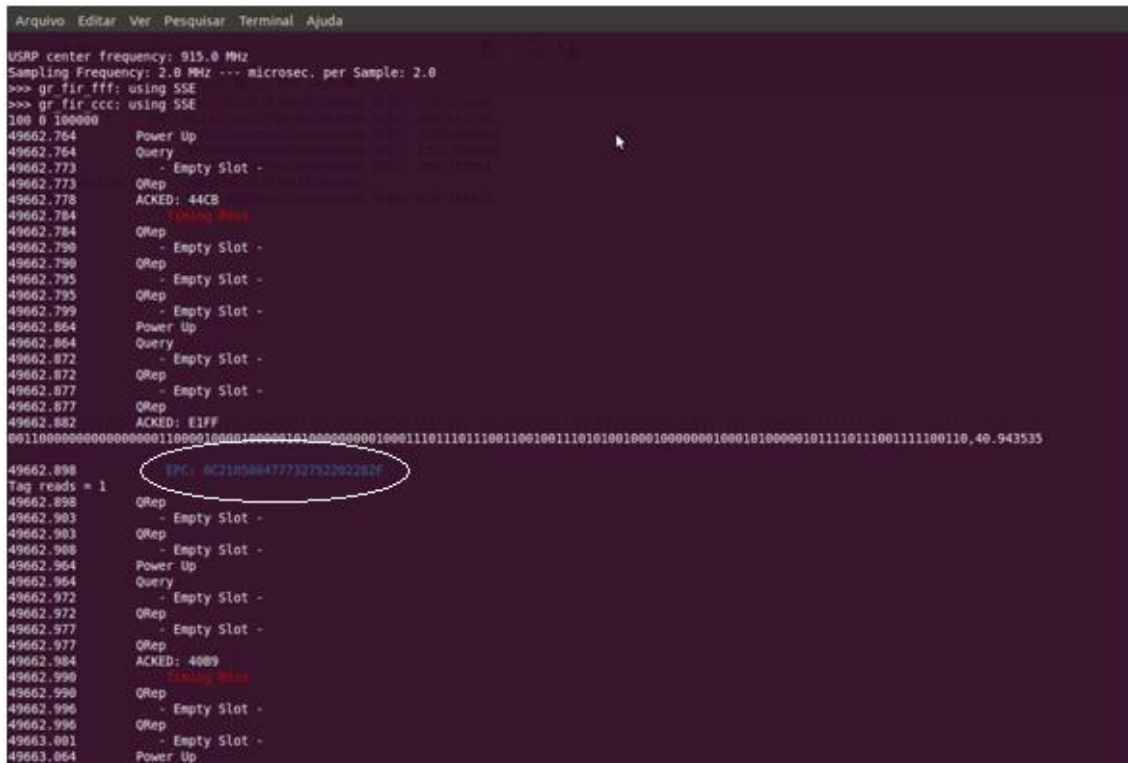
CRC_OK	EPC: 0C210500477732752202282F	RSSI: 1343.200073
CRC_OK	EPC: 0C210500477732752202282F	RSSI: 1347.389038
CRC_OK	EPC: 0C210500477732752202282F	RSSI: 1349.144775
CRC_OK	EPC: 0C210500477732752202282F	RSSI: 1338.353882

---

<sup>4</sup> CRC do inglês Cyclic Redundancy Check. É mais um parâmetro do protocolo utilizado.

<sup>5</sup> RSSI do inglês Received Signal Strength Indication. Em telecomunicações essa medida indica a potência de um sinal recebido.

Pode-se acompanhar o andamento da execução do programa do próprio Terminal, no *Linux*. Na Figura 33, um exemplo da saída obtida a cada vez que se executa o programa:

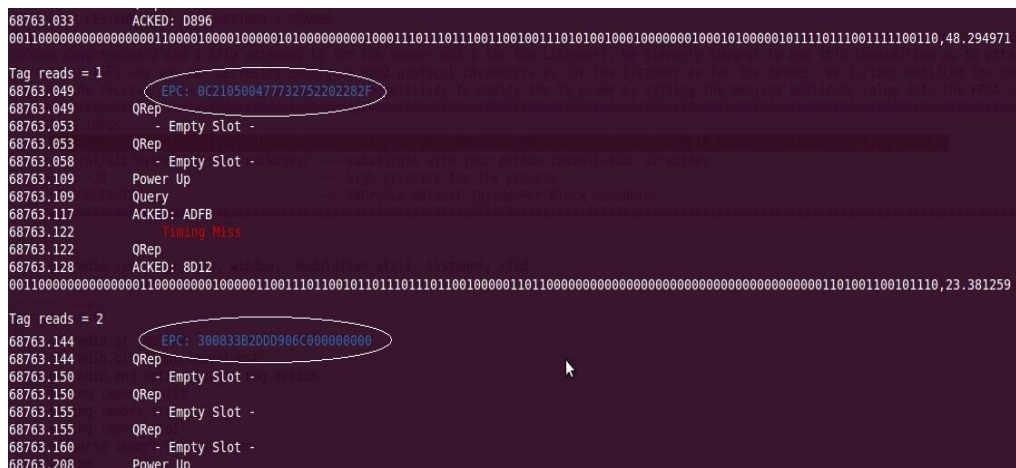


```

Arquivo Editar Ver Pesquisar Terminal Ajuda
USRP center frequency: 915.0 MHz
Sampling Frequency: 2.0 MHz --- microsec. per Sample: 2.0
>>> gr_fir_fff: using SSE
>>> gr_fir_ccc: using SSE
100 0 1000000
49662.764 Power Up
49662.764 Query
49662.773 - Empty Slot -
49662.773 QRep
49662.778 ACKED: 44CB
49662.784 Timing Miss
49662.784 QRep
49662.790 - Empty Slot -
49662.790 QRep
49662.795 - Empty Slot -
49662.795 QRep
49662.799 - Empty Slot -
49662.864 Power Up
49662.864 Query
49662.872 - Empty Slot -
49662.872 QRep
49662.877 - Empty Slot -
49662.877 QRep
49662.882 ACKED: E1FF
001100000000000000000000110000100001000000010001101110111001100100111010100100010000000100010100000101111011100111100110,40.943535
49662.898 EPC: 0C210500477732752202282F
Tag reads = 1
49662.898 QRep
49662.903 - Empty Slot -
49662.903 QRep
49662.908 - Empty Slot -
49662.964 Power Up
49662.964 Query
49662.972 - Empty Slot -
49662.972 QRep
49662.977 - Empty Slot -
49662.977 QRep
49662.984 ACKED: 46B9
49662.990 Timing Miss
49662.990 QRep
49662.996 - Empty Slot -
49662.996 QRep
49663.001 - Empty Slot -
49663.064 Power Up
  
```

Figura 33. Terminal no *Linux* com o programa em execução.

O próximo passo foi aumentar o número de *tags* para leitura. Notou-se que o sistema de leitura foi capaz de reconhecer as duas etiquetas quando estas foram colocadas no mesmo local já citado, na mesma altura, separadas por uma distância de aproximadamente 5 centímetros. A saída do sistema para o caso é mostrada na figura abaixo.



```

68763.033 ACKED: D896
001100000000000000000000110000100001000000010001101110111001100100111010100100010000000100010100000101111011100111100110,48.294971
68763.049 EPC: 0C210500477732752202282F
Tag reads = 1
68763.049 QRep
68763.053 - Empty Slot -
68763.053 QRep
68763.058 - Empty Slot -
68763.109 Power Up
68763.109 Query
68763.117 ACKED: ADFB
68763.122 Timing Miss
68763.122 QRep
68763.128 ACKED: 8D12
0011000000000000001100000001000011011101101101110111011001000011011000000000000000000000000000000001101001100101110,23.381259
68763.144 EPC: 300833B2DD906C00000000
Tag reads = 2
68763.144 QRep
68763.150 - Empty Slot -
68763.150 QRep
68763.155 - Empty Slot -
68763.155 QRep
68763.160 - Empty Slot -
68763.208 Power Up
  
```

Figura 34. Tela do programa em execução sinalizando duas *tags* lidas em um mesmo *Round*.

Para melhor compreender os resultados dos testes, foi obtido o gráfico com o sinal de comunicação enviado pelo Leitor. A partir dos próprios dados e utilizando algumas ferramentas do próprio GNU Radio, como a opção de escrever os dados em arquivos (*file sink*), foi possível realizar tal tarefa.

Foram também utilizadas algumas ferramentas conhecidas para os usuários do *Linux*. Como os blocos de *File Sink* do GNU Radio geram arquivos em hexadecimal, é necessário realizar a conversão destes dados para arquivos tipo texto (txt). Utilizou-se então, a ferramenta *conv* (comando *./conv* no terminal) para tal tarefa. Tendo em mãos o arquivo .txt, foi possível fazer uso do conhecido utilitário para gráficos Gnuplot e, deste modo, obter o padrão de comportamento do Leitor.

Na Figura 35, podemos visualizar os sinais enviados pelo Leitor. Os instantes onde se identificam um valor aproximadamente contínuo são os momentos de envio da *CW*, quando as *tags* estão sendo energizadas. Aqueles locais onde o gráfico apresenta uma alta densidade de informações, são os momentos onde o Leitor envia os comandos para *tag* e deste modo é feita a comunicação.

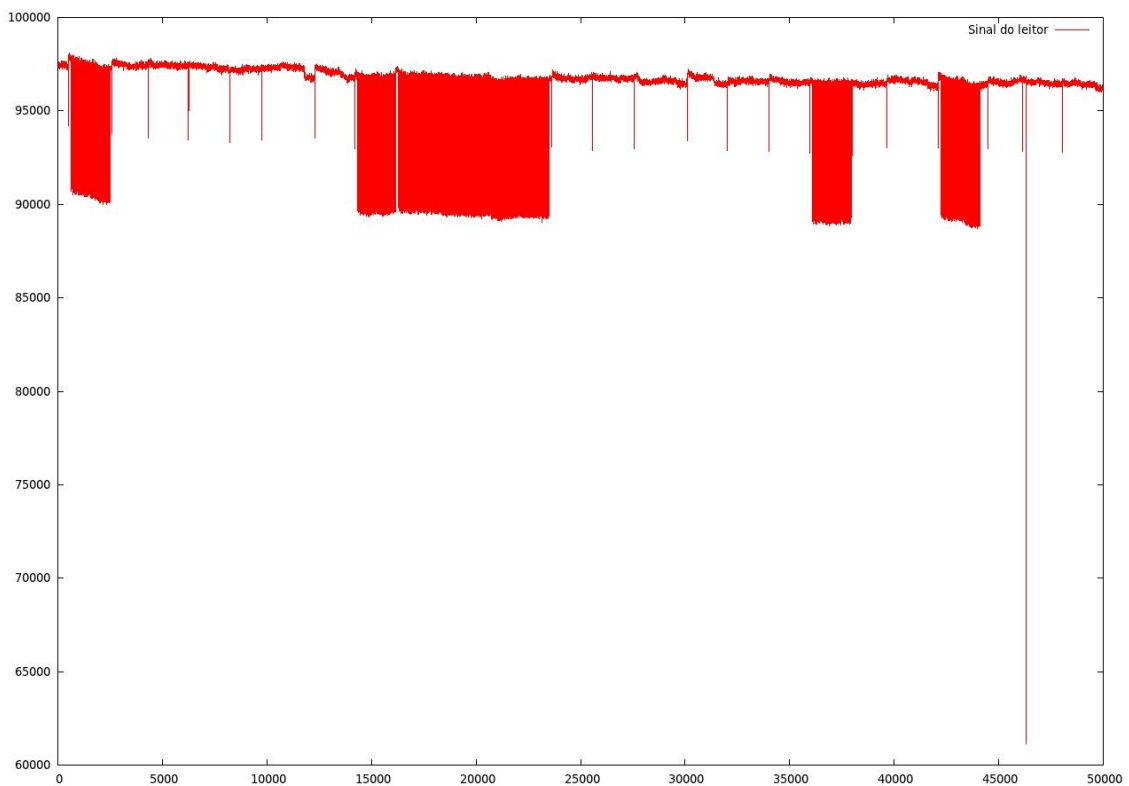


Figura 35. Padrão de comunicação do Leitor. Pode-se diferenciar os períodos de envio da *CW* dos períodos de envio de dados.

## 5 CONCLUSÃO

Apesar do volume de dados de pesquisa ser bastante impressionante, bem como a quantidade de aplicações, a tecnologia RFID ainda busca uma maturidade em certos pontos, como por exemplo: a segurança na transmissão de dados, criptografia e leitura simultânea de *tags*.

Quanto mais os sistemas RFID evoluem, mais se torna possível que em um futuro próximo, esta a tecnologia de identificação possa competir com concorrentes bem mais difundidos pela sua simplicidade como a identificação por Código de Barras. Porém, é sempre importante lembrar que essa tecnologia ainda traz mais custos do que aquelas mais tradicionais quando se trata de sistemas de identificação.

Com toda essa correria para o desenvolvimento de sistemas cada vez mais eficazes e baratos, é preciso ter cautela na hora de avaliar as promessas das pesquisas. Devemos lembrar sempre que com o aumento da complexidade do sistema, aumentamos o volume de dados, taxa de transferência, mudança em esquemas de codificação e modulação, aumento no número de leituras e vários outros parâmetros. Ou seja, o RFID não pode ser simplesmente apontado como solução em todas as situações sem que haja um cuidado na implementação do sistema.

Outra questão que chama atenção pelas pesquisas em andamento é a utilização dos princípios e dispositivos RFID em outras aplicações que não a identificação. Por exemplo, redes de sensores utilizando *tags* como instrumentos sensíveis a variações das grandezas a serem medidas são tema de vários grupos de pesquisas que vêm se mostrando promissoras.

Por motivos explicitados ao longo deste trabalho, o projeto implementado mostra-se útil para a pesquisa no ramo das aplicações RFID. A utilização de sistemas baseados na tecnologia de rádio definido por *software* traz a flexibilidade como seu principal triunfo e a junção destas duas tecnologias potencializa a capacidade dos sistemas RFID no que diz respeito à adaptação dinâmica da faixa de operação, melhora nos algoritmos (de decodificação conjunta, segurança, detecção de potência irradiada/recebida, dentre outros). Tudo isso sem contar a maior facilidade de simulações para obtenção de produtos finais.

Desta maneira, destaca-se o êxito do trabalho, pois a proposta de obtenção de um sistema básico RFID baseado em rádio definido por *software* foi alcançada com sucesso ao se conciliar conhecimentos e pesquisas prévias na própria área de RDS e de desenvolvimento de antenas específicas para cobertura da faixa UHF utilizada pela tecnologia RFID. O sistema operou dentro daquilo que se espera das funcionalidades básicas de um sistema RFID, contando com a flexibilidade de funcionamento em toda a faixa de frequências da banda 840 – 960 MHz, bastando para isso a calibração dos parâmetros diretamente nas linhas de código da aplicação, sem maiores preocupações com o *hardware*.

É importante ressaltar também que o trabalho pode ser tomado como ponto de partida para pesquisas mais aprofundadas no assunto, pois graças à versatilidade do sistema, o mesmo poderá ser tomado como instrumento de testes e medições.

## BIBLIOGRAFIA

AHSON, S.; ILYAS, M. (Eds.). **RFID Handbook: Applications, Technology, Security and Privacy**. [S.l.]: CRS Press, 2008.

ALIEN Technology. **Alien Technology**, 2011. Disponível em: <<http://www.alientechnology.com/>>. Acesso em: 29 Novembro 2011.

BOLIC, M.; SIMPLOT-RYL, D.; STOJMENOVIC, I. **RFID SYSTEMS: Research, trends and challenges**. 1a Edição. ed. [S.l.]: Wiley, 2010.

BUETTNER, M.; WETHERALL, D. A Software Radio-based UHF RFID Reader for PHY/MAC Experimentation. **5th Annual IEEE International Conference on RFID**, Orlando, 12-14 Abril 2011.

CHEN, Z. N.; QING, X.; CHUNG, H. L. A Universal UHF RFID Reader Antenna. **IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES**, Maio 2009.

CHIU, S. Design of Passive Tag RFID Readers. In: BOLIC, M.; SIMPLOT-RYL, D.; STOJMENOVIC, I. **RFID SYSTEMS: Research Trends and Challenges**. 1a Edição. ed. [S.l.]: Wiley, 2010. Cap. 5, p. 129-151.

DE DONNO, D. et al. Challenge: Towards Distributed RFID Sensing with Software-Defined Radio. **MobiCom 2010**, Chicago, 20 - 24 Setembro 2010.

DOBKIN, D. M. **The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice**. 1a Edição. ed. [S.l.]: Elsevier, 2008.

EPCGLOBAL , 2011. Disponível em: <<http://www.gs1.org/epcglobal>>. Acesso em: 24 Setembro 2011.

ETTUS. **http://www.ettus.com/**. Disponível em: <<http://www.ettus.com/>>. Acesso em: 22 Setembro 2011.

FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**. 2a Edição. ed. [S.l.]: Wiley, 2003.

GLOVER, B.; BHAAT, H. **Fundamentos de RFID: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2007.

GNU Radio. **http://gnuradio.org/**. Disponível em: <<http://gnuradio.org/>>. Acesso em: 22 Setembro 2011.

[HTTP://SPQR.CS.UMASS.EDU/COURSES/CS291E/](http://spqr.cs.umass.edu/courses/cs291e/) , 2011. Disponível em: <<http://spqr.cs.umass.edu/courses/cs291e/>>. Acesso em: 22 Setembro 2011.

[HTTP://WIKI.SJ.CEFETSC.EDU.BR/WIKI/INDEX.PHP/RFID](http://wiki.sj.cefetsc.edu.br/wiki/index.php/RFID) , 2011. Disponível em: <<http://wiki.sj.cefetsc.edu.br/wiki/index.php/RFID>>. Acesso em: 24 Setembro 2011.

HUNT, V. D.; PUGLIA, A.; PUGLIA, M. **RFID: A Guide to Radio Frequency Identification**. Hoboken: Wiley, 2007.

RFID Journal, 2011. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/>>. Acesso em: 22 Setembro 2011.



SANTINI, A. G. **RFID (Radio Frequency Identification) – Conceitos Aplicabilidade e Impactos**. 1a Edição. ed. [S.l.]: Ciência Moderna, 2008.

SHEN, D.; AL, E. Separation of multiple passive RFID signals using Software Defined Radio. **2009 IEEE International Conference on RFID**, Orlando, 27-28 Abril 2009.

THE Comprehensive GNU Radio Archive Network (CGRAN). **CGRAN**, 2011. Disponível em: <<https://www.cgran.org/>>. Acesso em: 22 Novembro 2011.

UPM Raflatac. **UPM Raflatac**, 2011. Disponível em: <<http://www.upmrfid.com/>>. Acesso em: 29 Novembro 2011.