



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PROJETO DE SETUP DE MEDIÇÕES PARA SISTEMAS RFID

PATRICK MACÊDO AIRES

Campina Grande - PB

2016

PATRICK MACÊDO AIRES

PROJETO DE SETUP DE MEDIÇÕES PARA SISTEMAS RFID

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.

Orientador:
Prof. M. Rômulo R. M. do Valle

Campina Grande - PB

2016

PATRICK MACÊDO AIRES

PROJETO DE SETUP DE MEDIÇÕES PARA SISTEMAS RFID

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 30 / 03 / 2016.

Prof. Dr. Glauco Fontgalland, UFCG

Avaliador

Prof. M. Rômulo R. M. do Valle, M., UFCG

Orientador

Campina Grande - PB

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por permitir que mais um passo à frente seja dado em minha vida, e por estar sempre presente, me guiando e protegendo a mim e minha família.

Aos meus pais Everaldo e Jussara, que sempre me apoiaram, incentivaram e deram direção na minha vida.

Ao meu orientador Rômulo R. M. do Valle, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube.

Aos meus amigos que estiveram comigo em momentos muito importantes da minha vida.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A tecnologia de *Radio-Frequency Identification* (RFID) facilita a identificação automática de itens usando ondas de rádio. Foi uma tecnologia introduzida no século XX, e sofreu um aumento considerável na quantidade de aplicações e implementações nos últimos anos. Suas aplicações abrangem várias faixas de frequências, desde as baixas frequências até a banda de micro-ondas. Considerando a crescente utilização de sistemas que utilizam o RFID, buscou-se desenvolver um setup no qual é possível realizar, minimamente, a leitura do identificador das etiquetas. A análise da montagem sugerida e das potencialidades desta indicam que o setup é básico, e pode ter suas capacidades e funções expandidas para melhor aproveitamento.

Palavras-chave: *reader, transponder, tag, etiqueta, RFID.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arquitetura de um sistema RFID

Figura 2 – Estrutura da tag

Figura 3 – Modelo geométrico utilizado para equacionar os valores de raios para uma distância determinada

Figura 4 – Circuito para medição do coeficiente de acoplamento k

Figura 5 - Circuito de um amplificador não inversor

Figura 6 – Esquema genérico da montagem

Figura 7 – Diagrama elétrico

Figura 8 – Arduíno Uno R3

Figura 9 – Módulo RFID RDM6300 e antena circular

Figura 10 – Módulo RFID RC522

Figura 11 – (a) Cottonwood (b) Antena UHF

Figura 12 – Fluxograma

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre as faixas de frequências e os critérios de diferenciação.

Tabela 2 – Estrutura de dados de um código EPC de 96 bits.

Tabela 3 – Frequências e padrões associados.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 História do RFID	9
1.2 Objetivos	9
2 O RFID	10
2.1 Componentes	10
2.1.1 Transmissão de dados.....	11
2.2 Classificação do RFID	12
2.2.1 Frequência.....	14
2.2.2 Alcance e acoplamento.....	15
2.2.3 Coeficiente de acoplamento.....	15
2.3 Padronização	20
2.3.1 O EPC	20
2.3.2 ISO/IEC	22
3 SETUP DE MEDIÇÕES	23
3.1 Arduíno	24
3.2 Módulo RFID RMD6300 e antena circular	25
3.3 Módulo RFID RC522	25
3.4 Módulo RFID UHF Cottonwood e antena UHF	26
4 PROCEDIMENTOS	27
5 CONCLUSÕES	29
6 BIBLIOGRAFIA	30
Anexos	31

1 INTRODUÇÃO

1.1 História do RFID

A *Radio-Frequency Identification* (RFID) não é uma tecnologia que possa ser considerada nova. Embora as aplicações comerciais desta remontem à década de 60 do século XX, apenas no início do século XXI foi percebido que a RFID se apresentava como uma promessa para o futuro com possibilidades de utilização nas mais diversificadas indústrias (ZHU et al., 2011).

Historicamente, a RFID teve origem a partir das pesquisas desenvolvidas por Faraday em meados do século XIX, e descobertas de tecnologias em rádio e radares, entre 1900 e 1940 (ASHON, S.; ILYAS, M, 2008).

Nesse contexto, a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) foi palco de grande evolução tecnológica voltada exclusivamente para uso militar e, posteriormente, disponibilizada para uso civil. Como exemplo, a criação do primeiro identificador ativo de amigo ou inimigo - *Identify Friend or Foe* (IFF), o qual serviu como princípio básico para os RFIDs conhecidos atualmente (LOZANO-NIETO, 2011).

Desde então o sistema RFID vêm sendo aprimorado, se tornando popular em indústrias, lojas, hospitais, supermercados, bibliotecas, bancos, entre outros. Seu procedimento de verificação automática tornou-se um atrativo para o mercado, chamando também a atenção dos não usuários pelo seu custo benefício, sua facilidade de implementação e tantas outras funcionalidades (FINKENZELLER, 2010).

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo principal projetar um sistema para efetuar a leitura de *tags* em três diferentes faixas de frequência, voltado para utilização em laboratório em nível de graduação, constituindo-se assim como uma fonte para maior aprendizado aos discentes do curso de Engenharia Elétrica da UFCG, por fornecer contato com uma tecnologia bastante utilizada atualmente. Por fim, as possíveis potencialidades do sistema são analisadas.

2 O RFID

2.1 Componentes

De acordo com Finkenzeller (2010), um sistema RFID é tipicamente constituído por dois componentes:

- *transponder* (ou *tag*) - dispositivo de comunicação sem fio;
- interrogador (ou *reader*) – aparelho de aquisição de dados.

A este sistema deve ser associado um *software* que fornece a interface e o protocolo. Ou seja, um sistema de gerência de dados no qual as informações das etiquetas estão armazenadas, conforme a Figura 1.

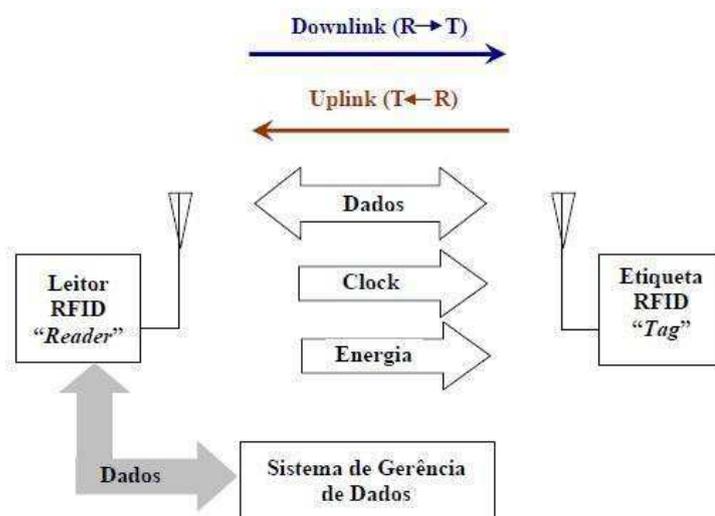


Figura 1 – Arquitetura de um sistema RFID

Fonte: LEME (2009)

O *reader* emite ondas de rádio em determinada frequência para ativar a *tag*. Além disso, é também responsável pela captura e decodificação dos dados recebidos da *tag*. Os dados podem fornecer informação sobre identificação, ou localização, ou informações específicas de um produto, como cor, preço, data de compra, entre outras. Tipicamente os leitores contém uma ou mais antenas responsáveis pela emissão e recepção de sinais, e normalmente possuem uma interface de comunicação, como ethernet, RS-485, serial, entre outras.

O *transponder* é geralmente formado por uma antena, e pode conter ou não um *microchip*. Sua estrutura básica é formada por: circuito integrado, antena e encapsulamento, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

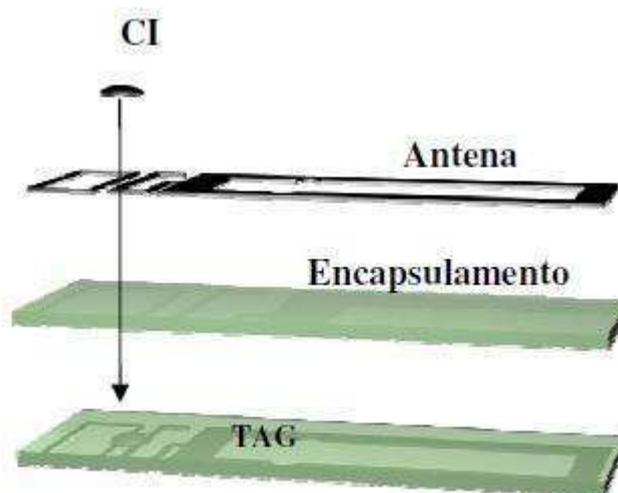


Figura 2 – Estrutura da *tag*

Fonte: JUNIOR (2006)

As *tags* mais simples recebem o sinal do leitor e emitem automaticamente uma resposta, que pode conter desde um único dígito ou conjunto de letras e números, ou seja, um código. As *tags* mais avançadas podem realizar cálculos e enviar sinais encriptados.

O sistema de gerência de dados é responsável pelo fluxo de dados existente entre a *tag* e o sistema computacional, no qual estão armazenado os dados referente à etiqueta. Ou seja, é nesse sistema que é feita a interligação entre os dados fornecidos pelo leitor e as informações armazenadas no banco de dados.

2.1.1 Transmissão de dados

De modo geral, o princípio de funcionamento de um sistema RFID consiste no envio de um sinal pelo *reader*, onde, caso o *transponder* esteja na área de alcance do interrogador, e opere na mesma frequência do leitor, a *tag* reflete parte da energia desse sinal para o mesmo, contendo informações, as quais dependem da aplicação.

Já no caso do *transponder* não se encontrar no alcance do *reader*, nenhum sinal será retransmitido pelo *transponder*. O mecanismo de transferência de energia entre *reader* e *tag* é chamado de acoplamento.

O funcionamento da transmissão de dados pode ser melhor entendido por meio de conceitos físicos. Um campo eletromagnético alternado é gerado pelo leitor, e a antena da *tag* é submetida a tal campo, de modo que uma tensão é induzida na sua antena, conforme prevê a Lei de Indução de Faraday. Esta tensão é retificada e armazenada por um capacitor para, posteriormente, ser utilizada como fonte de energia para o envio do sinal de resposta da *tag*. O processo de transferência de energia descrito é conhecido como acoplamento tipo transformador (ou acoplamento indutivo), e ocorre quando a distância entre as antenas não excede $(\lambda/2\pi)$, ou seja, que a etiqueta esteja no campo próximo da antena do leitor.

Em sistemas que operam na banda de baixa frequência, como o comprimento de onda é várias vezes maior que a distância entre o leitor e a etiqueta, este campo eletromagnético pode ser visto simplesmente como um campo magnético alternado com relação à distância entre *transponder* e leitor (FINKENZELLER, 2010).

Quando a *tag* se localiza no campo distante do leitor, o acoplamento indutivo não é mais possível. Neste caso, os efeitos das perdas de espaço livre devem ser considerados, e componentes de maior eficiência devem ser utilizados para que alcances maiores sejam obtidos.

2.2 Classificação de RFID

Podemos classificar os RFID por meio de várias diferentes características, como presença ou não de *chip*, se são reprogramáveis ou não, fonte de energia, entre outras.

De acordo com a capacidade da *tag* em ser ou não reprogramada, ou seja, alteração da informação contida no seu interior, existem tags: *Read Only Memory* (ROM), *Write Once Read Many* (WORM) e *Read Write/Random Access Memory* (RW-RA) (PRERADOVIC e KARMARKAR, 2006).

A ROM é utilizada principalmente para o armazenamento temporário de dados que existem apenas durante o funcionamento na zona de interrogação de um leitor. São exclusivamente de leitura e podem ser programadas uma única vez, sendo esta programação feita normalmente no momento da sua produção, não podendo ser posteriormente apagada ou modificada (FINKENZELLER, 2010).

As WORMs, como o próprio nome indica, tendem a ser programadas apenas uma vez. Contudo, algumas permitem que seja efetuada a reprogramação até uma determinada quantidade.

Por fim, as RW-RA permitem ser reprogramadas inúmeras vezes, de modo que a informação contida na *tag* pode ser atualizada em tempo real.

Relativo à fonte de energia, as *tags* classificam-se como:

- Passivas: são aquelas que não possuem fonte de energia própria, de modo que toda a energia necessária para operação da *tag* é obtida do campo eletromagnético do leitor. Por esse motivo têm curto alcance, entretanto são de baixo custo. Este tipo de *tag* transmite dados por reflexão da potência para leitor, também chamada de *modulação backscatter* em sistemas que operam em campo distante, e *modulação em carga* em sistemas que operam em campo próximo. Além disso, somente transmite sinal se estiver dentro do campo de visibilidade de um leitor.
- Semipassivas: têm sua própria fonte de energia, que pode ser na forma de uma bateria ou uma célula solar, por exemplo. Porém, essa energia é utilizada apenas para manter os dados contidos no *chip* por mais tempo, não sendo utilizada para a transmissão dos dados. Portanto, funcionam de maneira análoga às passivas. Devido à presença da fonte de energia, estes tipos de *transponders* têm alcance maior comparado com as passivas.
- Ativas: também têm sua própria fonte de energia, porém é utilizada tanto para alimentar o *chip* quanto para enviar um sinal de volta para o leitor. Conseqüentemente, este tipo de *tag* tem alcance maior que as anteriores. Adicionalmente, podem enviar informações ao leitor mesmo antes de solicitadas pelo ele.

Com relação a presença ou não de um *chip* na *tag*, estas podem ser classificadas em duas categorias: *chipless tags*, que são aquelas que não apresentam o circuito integrado, e *chip tags*, que apresentam tal circuito integrado. É importante salientar que todas as *chipless tags* são passivas, enquanto que as *chip tags* podem ser passivas ou ativas.

Evidentemente, a presença de um *chip* é sinônimo de capacidades extras às *tags*, como por exemplo: maior capacidade de armazenamento quantidade de informações, processamento de dados, etc. Características não presentes nas *chipless tags*.

Entretanto, segundo Finkenzeller (2010), os mais importantes critérios de diferenciação são: frequência do leitor, alcance e o método de acoplamento, pois são as características mais importantes dos sistemas RFID. A frequência de operação de um sistema RFID é a frequência com que o leitor transmite. Na maioria dos casos, a frequência do leitor é a mesma que a frequência de transmissão do leitor, portanto é desconsiderada.

2.2.1 Frequência

Os sistemas RFID comumente encontrados no mercado operam em três faixas de frequências:

- Em baixa frequência (LF): 125 a 134 kHz. São muito utilizados para identificação de animais.
- Em alta frequência (HF): 13,56 MHz. Normalmente utilizados no transporte público, com bilhetes únicos, assim como em lojas nos sistemas antifurto.
- Em ultra alta frequência (UHF): 860 a 930 MHz. Bastante utilizado para rastreamento de cargas em caminhões, navios, etc.

Adicionalmente, existem sistemas que operam na faixa de micro-ondas, de 2,45 GHz e 5,8 GHz. No Brasil, a maior aplicação de *tags* na faixa de micro-ondas está na identificação veicular em pedágios.

2.2.2 Alcance e acoplamento

Sistemas com alcance curto, de alguns centímetros, são conhecidos como sistemas de acoplamento próximo. Neste caso, a *tag* deve ser inserida no leitor, e o acoplamento é feito via campo magnético. Estes tipos de sistemas tem a vantagem de que devido à proximidade entre a *tag* e o leitor, pouca potência é necessária para que haja troca de informações entre eles (Tabela 1).

Nos casos em que o alcance chega até um metro, estes sistemas são denominados de sistemas de acoplamento remoto. Majoritariamente, sistemas RFID nessa categoria são baseados em acoplamento indutivo, ou magnético, entre a *tag* e o leitor. Sistemas com alcance maior que um metro são denominados de sistemas de longo alcance (FINKENZELLER, 2010) (Tabela 1).

	LF	HF	UHF	Micro-ondas
Faixa de freq.	125-134 kHz	13,56 MHz	860-930 MHz	2,45-6,8 GHz
Alcance*	~ 10 cm	~1 m	~ 2 - 7 m	~ 10 m
Acoplamento	Magnético	Magnético	Eletromagnético	Eletromagnético

Tabela 1 – Relação entre as faixas de frequências e os critérios de diferenciação

Fonte: O autor.

* Valores médios.

2.2.3 Coeficiente de acoplamento

Segundo Finkenzeller (2010), o coeficiente de acoplamento k é um dos parâmetros mais importantes no projeto de antenas em sistemas RFID. Este coeficiente é introduzido para que se possa fazer uma previsão qualitativa sobre o acoplamento das espiras, e pode ser descrito em função apenas da indutância mútua (M) e das indutâncias das bobinas do leitor e da etiqueta, L_{reader} e L_{tag} , respectivamente, da seguinte forma:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_{reader}L_{tag}}} \quad (1)$$

O valor de k varia entre dois extremos $0 \leq k \leq 1$, indicando quanto do fluxo magnético de uma bobina está sendo enlaçado pela outra. Se k é menor ou igual a 0.5, as bobinas estão fracamente acopladas. Caso contrário, os indutores estão fortemente acoplados. Portanto, a indutância mútua está restrita ao intervalo:

$$0 \leq M \leq \sqrt{L_{reader}L_{tag}} \quad (2)$$

que, de acordo com a equação 2, determina seu limite inferior em zero e superior na média geométrica das indutâncias L_{reader} e L_{tag} .

Entretanto, é possível obter uma equação que possa determinar o coeficiente de acoplamento em função de outros parâmetros, como o raio das bobinas do leitor e da etiqueta. Para isso, é necessário fazer uso de equações como:

I. Indução magnética

$$B = \frac{\mu_0 N_{reader} I_{reader}}{2\pi} \cdot \frac{r_{reader}^2}{\left(\sqrt{d^2 + r_{reader}^2}\right)^3} \quad (3)$$

onde B é a indução magnética, N_{reader} é número enrolamentos da espira do leitor, I_{reader} é a corrente nesta bobina em ampère, μ_0 é a permeabilidade no vácuo, cujo valor é de $4\pi \times 10^{-7}$ H/m, r_{reader} é o raio da bobina do leitor, em metros, e d é a distância entre as antenas, em metros.

II. Lei de Lenz

$$V_{tag} = N_{tag} S_{tag} \cos \theta \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

A equação é válida para a situação de contorno $I_{tag} = 0$. O número de voltas da bobina e a área da superfície da bobina da tag são N_{tag} e S_{tag} , respectivamente. O ângulo θ entre as bobinas é determinado a partir do eixo central das bobinas, conforme pode ser visto na Figura 3.

Associando as equações 3 e 4 à equação 1, obtemos:

$$k = \frac{r_{reader}^2 r_{tag}^2 \cos \theta}{\sqrt{r_{reader} r_{tag}} \cdot \left(\sqrt{d^2 + r_{reader}^2} \right)^3} \quad (5)$$

onde r_{tag} é o raio da bobina da etiqueta. Esta equação é válida para a condição $r_{tag} \leq r_{reader}$. Caso $r_{tag} \geq r_{reader}$, reescrevemos a equação 5 da seguinte forma:

$$k = \frac{r_{reader}^2 r_{tag}^2 \cos \theta}{\sqrt{r_{reader} r_{tag}} \cdot \left(\sqrt{d^2 + r_{tag}^2} \right)^3} \quad (6)$$

Na Figura 3 é possível observar o esquema da montagem utilizada para determinação do coeficiente de acoplamento. Neste caso, as duas bobinas estão dispostas paralelamente sobre eixo central das mesmas, formando portanto um ângulo de 0° entre elas, o que resulta em $\cos \theta = 1$.

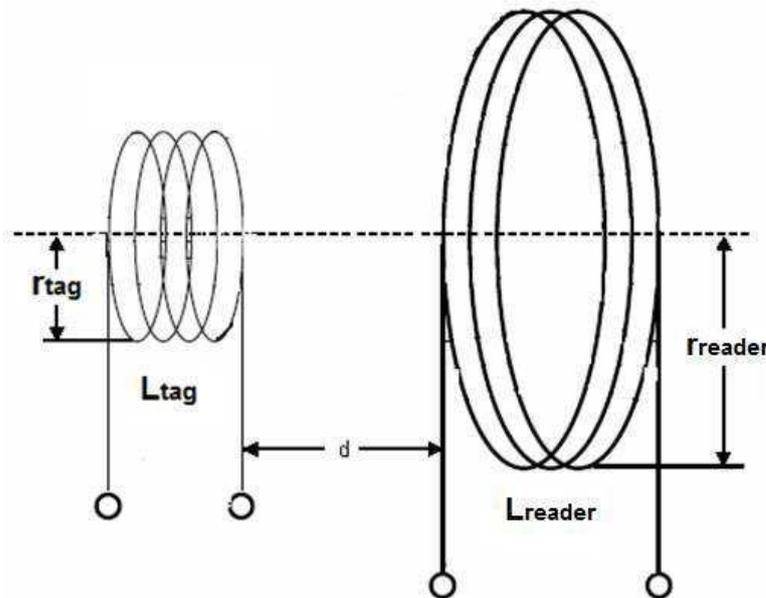


Figura 3 - Modelo geométrico utilizado para equacionar os valores de raios para uma distância determinada.

Fonte: Adaptado KO, et al (1977).

As equações 5 e 6 são válidas apenas para simples configurações de antenas.

É importante salientar que a eficiência máxima também é afetada pelo fator de acoplamento, assim como pelo fator de qualidade da *tag* (Q_{tag}) e do leitor (Q_{reader}), pois:

$$\eta_{m\acute{a}ximo} = \frac{k \cdot Q_{reader} Q_{tag}}{\left(1 + \sqrt{1 + k^2 Q_{reader} Q_{tag}}\right)^2} \quad (7)$$

Existem inúmeras equações empíricas para o cálculo da indutância dos diversos arranjos de bobinas. Segundo Roz e Fuentes (2004) a indutância L (em μH) de um solenoide com núcleo de ar de largura l , raio r , altura do enrolamento e e n espiras, pode ser calculada por:

$$L = \frac{0,32r^2n^2}{6r + 9l + 10e} \quad (8)$$

onde r , l , e e devem ser dados em centímetros.

Adicionalmente, Finkenzeller (2010) sugere um circuito no qual é possível realizar a determinação do coeficiente de acoplamento k , conforme Figura 4. Para isto, é necessária uma bobina de teste representando a *tag*, com características elétricas e mecânicas correspondentes à bobina da *tag* “real”. Portanto, o coeficiente seria obtido simplesmente a partir da medição das tensões V_R e V_T nas bobinas do leitor e da etiqueta, sendo estes valores introduzidos na equação 9:

$$k = A_k \frac{V_T}{V_R} \sqrt{L_{reader}/L_{tag}} \quad (9)$$

onde L_{reader} e L_{tag} são as indutâncias das bobinas do leitor e da *tag*, respectivamente, e A_k é um fator de correção ($A_k \sim 0.99-0.80$), dado por:

$$A_k = 2 - \frac{1}{1 - (\omega^2 \cdot C_{TOT} \cdot L_{tag})} \quad (10)$$

onde $C_{TOT} = C_{para} + C_{cable} + C_{probe}$, representando as capacitâncias parasitas, a do cabo e a da ponta de prova, respectivamente, e ω é a frequência (em rad/s).

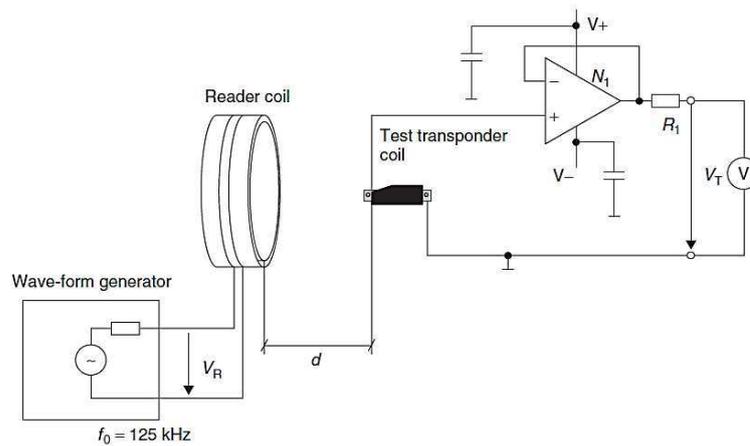


Figura 4 - Circuito para medição do coeficiente de acoplamento k

Fonte: FINKENZELLER (2010).

O funcionamento deste circuito é bastante simples, visto que a forma como o amplificador operacional está sendo usado indica que o circuito é do tipo “seguidor de tensão” (ou *buffer*). Ou seja, a tensão induzida na bobina de teste será apresentada na saída do amplificador operacional, mais precisamente nos terminais do resistor R_1 . Pode-se provar isto da seguinte forma: considere o circuito na Figura 5, que representa um amplificador não inversor.

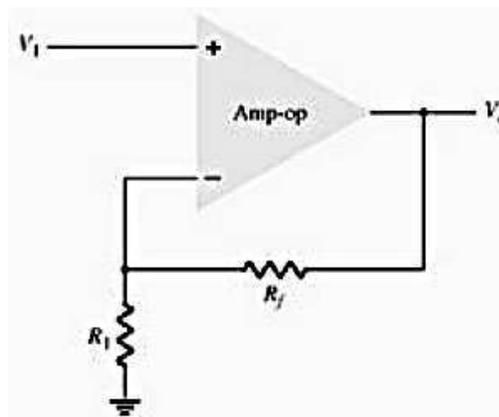


Figura 5 - Circuito de um amplificador não inversor.

Fonte: BOYLESTAD (2005).

Considerando que a tensão sobre R_1 seja V_1 , ao analisarmos este circuito, obtemos:

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_f} V_0 \quad (11)$$

O que resulta em:

$$\frac{V_0}{V_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (12)$$

A equação 12 é a mesma para o circuito na Figura 4, porém $R_f = 0$. Resultando em $V_0 = V_1$, e, como V_1 é igual à V_i , onde V_i é a tensão sobre a bobina de teste no circuito da Figura 4, obtemos o seguinte resultado:

$$V_0 = V_i \quad (13)$$

Deste modo, é possível determinar a tensão na bobina de teste.

2.3 Padronização

A necessidade de se estabelecer regras e normas para que houvesse interoperabilidade entre os sistemas RFID fez surgir dois padrões: o ISO e o EPC.

2.3.1 O EPC

A EPCglobal é uma iniciativa da GS1 de inovar e desenvolver padrões determinados pela indústria para o *Electronic Product Code* - Código Eletrônico de Produto (EPC), para apoiar o uso de RFID e permitir visibilidade global de itens em rápido movimento de hoje, informação rica, redes comerciais. Conjuntamente com fabricantes e empresas, ela desenvolveu padrões mundiais para o RFID.

O padrão EPC, publicado em 2004 pela EPCglobal, é o padrão atualmente mais utilizado e define os requisitos de *hardware* e *software* das *tags* e dos leitores na faixa de ultra alta frequência (UHF), entre 860 MHz a 960 MHz. Hoje, o padrão dominante do mercado é o EPC Classe 1 Geração 2, ou GEN2, definido em 2005.

A criação da EPCglobal objetivou não simplesmente definir um padrão de comunicação entre leitores e tags, mas sim criar uma nova rede de comunicação que agregasse valor a cadeia logística criando assim um evento que irá revolucionar a troca de informações dentro da cadeia assim como ocorreu com o código de barras e os *Electronic Data Interchange* (EDI) (JUNIOR, 2006).

O EPC é usado para identificar unicamente qualquer item de uma cadeia de suprimentos. Este código pode assumir vários tamanhos diferentes: 32, 64, 96, 128 e

256 bits, sendo o mais comum o de 96 bits. Este código classifica as etiquetas eletrônicas em 5 classes, de modo que quanto maior o número da classe significa maior o nível de sofisticação da etiqueta (Tabela 2).

Código EPC			
01.	0000A89SFR.	3300016666F.	000169DC0RFTF
Cabeçalho (0 - 7 bits)	Número Gerenciador EPC (8 - 35 bits)	Classe do objeto (36 – 59 bits)	Número de série (60 – 95 bits)

Tabela 2 – Estrutura de dados de um código EPC de 96 bits

Fonte: GS1 (2016).

Os campos do código EPC, conforme a Tabela 2, e sua respectiva indicação, são:

- Cabeçalho: identifica o comprimento, tipo, estrutura, versão e geração do EPC;
- Número Gerenciador: identifica a empresa ou o fabricante do item;
- Classe do objeto: refere-se ao tipo exato do produto etiquetado, a que classe de produto ele pertence;
- Número de série: é a instância específica da Classe de Objeto sendo etiquetado.

Classes foram criadas para que houvesse distinção entre *tags* com diferentes funcionalidades e características de funcionamento. As classes, segundo Finkenzeller (2010), são:

- Classe 0: *transponders* passivos com 64 ou 96 bits (apenas na frequência de 900 MHz). Contém apenas um número de série, sendo programado na fábrica e é possível apenas realizar leitura;
- Classe 0+: *tags* passivas, programáveis uma única vez, com protocolo Classe 0;
- Classe 1: *tags* passivas, programáveis uma única vez, com 64 ou 96 bits, especificamente nas faixas de frequência 869 a 930 MHz e 13,56 MHz;
- Classe 2: *transponders* passivos, programáveis uma única vez, com função adicional de encriptação;

- Classe 3: *transponders* ativos, reprogramáveis;
- Classe 4: *tags* que podem se comunicar entre si e são reprogramáveis;
- Classe 5: similar à Classe 4, porém podem comunicar-se com *transponders* passivos e ativos das classes 1, 2 e 3;
- Gen2: *tags* passivas, programáveis uma única vez, com memória de no mínimo 224 bits, sendo 96 bits para o EPC, 32 bits para correção de dados, e espaço para dados do usuário. A longo prazo, substituirá as *tags* das classes 0 e 1.

2.3.2 ISO/IEC

A *International Organisation for Standardization* - Organização Internacional para Padronização (ISO) é uma união mundial de instituições de normalização nacionais, tais como DIN (Alemanha) e ANSI (EUA), e contribui com inúmeras comissões e grupos de trabalho para o desenvolvimento de padrões de RFID (FINKENZELLER, 2010).

Os padrões aplicados à cada faixa de frequências pode ser visualizado na Tabela 3.

Faixa de frequência	Padrões
< 135 kHz	ISO 11784/11785 ISO/IEC 18000-2 ISO 14223-1
13,56 MHz	ISO/IEC 18000-3 EPC C-1 ISO 15693 ISO 14443
860 a 960 MHz	ISO/IEC 18000-6 EPC C-0,1, C1G2
2,45 GHz	ISO/IEC 18000-4

Tabela 3 – Frequências e padrões associados

Fonte: FINKENZELLER (2010).

Como pode ser visto na Tabela 3, a ISO definiu padrões técnicos de comunicação RFID, via série de normas 18000, em todas as faixas de operação, assim como definiu protocolos anti-colisão e de codificação.

3 SETUP DE MEDIÇÕES

Nesta seção, é proposta uma montagem com três leitores RFID, tornando possível a leitura do identificador das *tags*, que operam cada uma em sua respectiva faixa de frequência, LF, HF e UHF. Na Figura 6 é possível observar um esquema genérico da montagem sugerida.

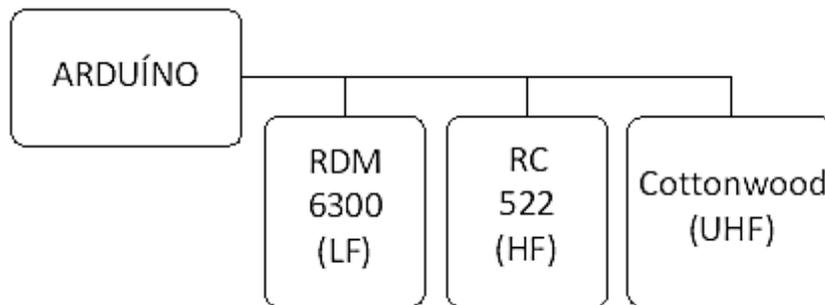


Figura 6 – Esquema genérico da montagem

Fonte: O autor.

Para realizar esta montagem são necessários os seguintes itens:

- Arduíno Uno R3 (com cabo USB)
- Módulo RFID RDM6300 e antena circular
- Módulo RFID RC522
- Módulo RFID UHF Cottonwood e antena UHF
- *Tags*
- Jumpers
- Computador

Na Figura 7 está apresentado o diagrama elétrico da montagem sugerida.

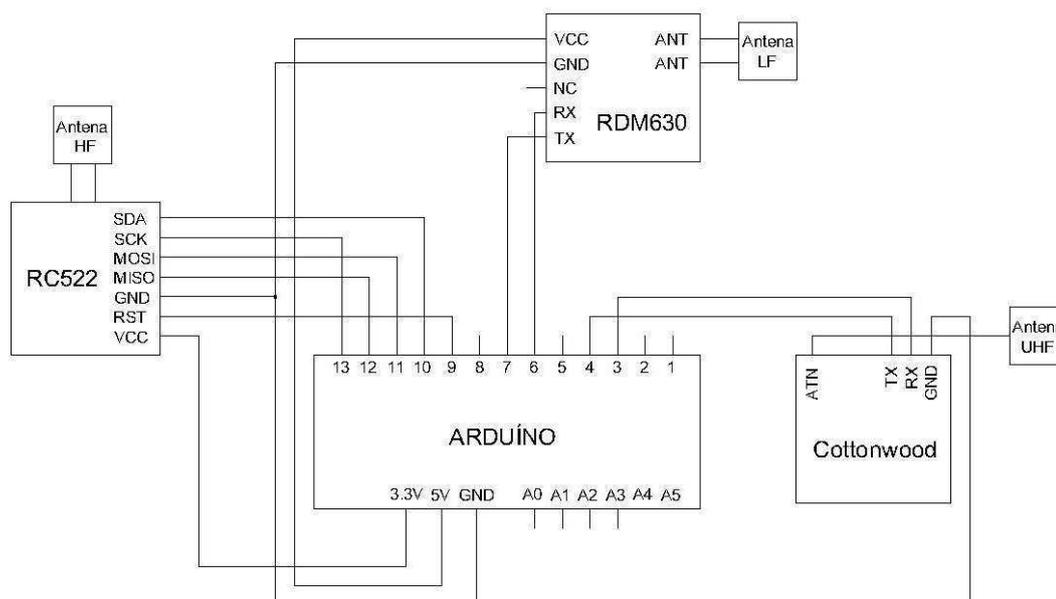


Figura 7 – Diagrama elétrico

Fonte: O autor.

3.1 Arduino

A implementação da montagem está condicionada a utilização de um Arduino, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica baseada em *hardware* e *software*. Este dispositivo controlará os componentes a ele ligados, executando os comandos determinados no código. Na Figura 8 está representado o Arduino sugerido para esta montagem, denominado Arduino Uno R3.

Para realizar as leituras das *tags* foi desenvolvido um código, presente no Anexo A deste trabalho.

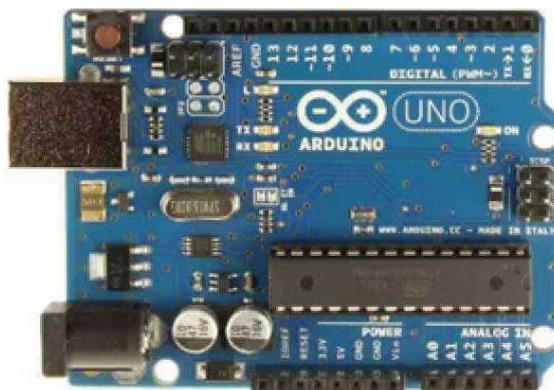


Figura 8 – Arduíno Uno R3

Fonte: Disponível em: <http://api.ning.com/files/ogRQRDkJ4jAJiKKQTdgenvEv2AAIA2G1J6MIMIdNuJ3JLt2U*eCWIHTEuKB8FJsvPo3xAz2IRAVjZ4014GBlfy11Oa1YL3Pc/ArduinoUno_R3_Front.jpg>.

Acesso em: 10/02/2016

3.2 Módulo RFID RDM6300 e antena circular

Para a leitura em baixa frequência, sugeriu-se a utilização do módulo RFID RDM6300. A ele é conectada uma antena circular, conforme pode ser visto na Figura 9.

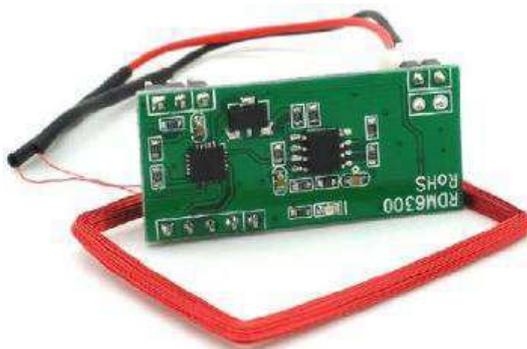


Figura 9 – Módulo RFID RDM6300 e antena circular

Fonte: Disponível em: <http://s1068.photobucket.com/user/Gustasari/media/51Ewuvcbv5L._SX466__zpscudzyt8m.jpg>. Acesso em: 10/02/2016.

3.3 Módulo RFID RC522

Fabricado pela empresa NPX, este módulo é utilizado para comunicações na frequência de 13,56 MHz. A antena faz parte do módulo, conforme pode ser visto na Figura 10.



Figura 10 – Módulo RFID RC522

Fonte: Disponível em: <http://www.msseletronica.com/imagens/956_494.jpg>. Acesso em: 10/02/2016.

3.4 Módulo RFID UHF Cottonwood e antena UHF

Para realizar leitura na faixa UHF pode-se utilizar os módulo RFID UHF Cottonwood associado a uma antena UHF, conforme pode ser visto na Figura 11.

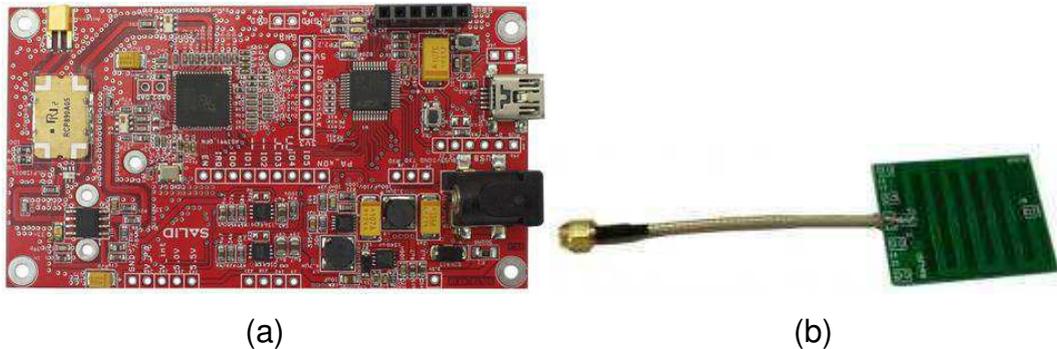


Figura 11 – (a) Cottonwood (b) Antena UHF

Fonte: Disponível em: <<http://linksprite.com/wiki/images/a/a0/Cottonwood.jpg>> / <http://www.soliddepot.com/images//201211/13523672260.jpg>>. Acesso em: 10/02/2016.

4 PROCEDIMENTOS

No sentido de tornar mais claro como se dá o funcionamento do código desenvolvido, em linguagem C, elaborou-se um fluxograma no qual está descrito o procedimento para efetuar a leitura da identificação (ID) das *tags* no sistema sugerido na Figura 6.

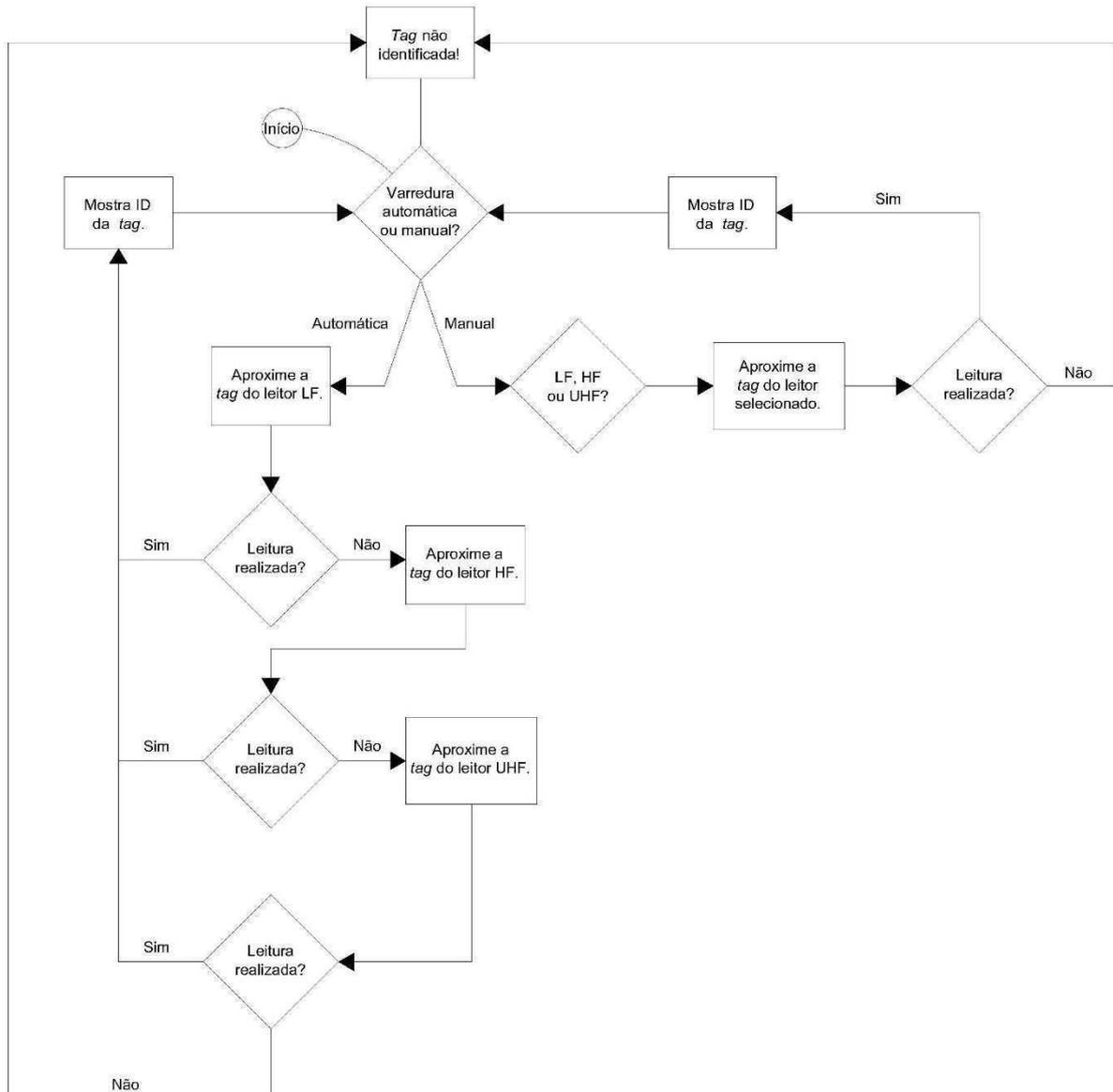


Figura 12 – Fluxograma

Fonte: O autor.

Nesse sistema, é possível determinar se a leitura da ID das etiquetas é de forma automática ou manual. No modo automático, o programa buscará por etiquetas nas

três faixas de frequência, de forma sequencial, começando pela LF até a UHF. No modo manual, o usuário determina em qual faixa de frequência se deseja buscar a *tag*.

Inicialmente, deve-se conectar o Arduíno ao computador via cabo USB. Em seguida, compilar o código no programa fornecido juntamente com a plataforma Arduíno, ou baixá-lo no site do fabricante.

Uma janela de comunicação é exibida, e é nela que são mostradas todas as informações retornadas pelo programa, assim como as solicitações de informações do usuário.

No Anexo B está descrito um guia para experimento que pode ser implementado em laboratórios da graduação. Nele, estão descritos como realizar a montagem do sistema sugerido, como realizar as leituras, e também os possíveis questionamentos que podem levantados no ato do experimento.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho de conclusão de curso buscou criar um *setup* para realizar leituras dos identificadores das etiquetas RFID em três distintas faixas de frequência, bem como desenvolver um código para efetuar tais leituras.

Após levantamento dos custos necessários para implementação da configuração sugerida, esta não se tornou viável devido, principalmente, ao valor do módulo RFID UHF, que em valores de reais corresponde a R\$750,00, sem considerar possíveis impostos de importação e frete. Deste modo, o circuito passou a ser apenas uma opção para implementação posterior.

Relativamente ao código, a leitura da ID das etiquetas não é a única operação que pode ser realizada, de modo que modificações adicionais podem ser efetuadas neste código com objetivo de ampliar as operações realizadas, como por exemplo realizar escrita na memória das etiquetas. Outro incremento que pode ser realizado é o *checksum*, que é usado para verificar a integridade de dados transmitidos, determinando se os dados foram corrompidos ou se algum foi perdido. Além disso, também é possível acrescentar novos módulos neste sistema no intuito de aumentar as capacidades do mesmo.

Com relação às potencialidades do sistema, percebeu-se que a partir do sistema sugerido é possível fazer testes em antenas projetadas para saber se o número de enrolamentos da antena da *tag* é suficiente para fornecer a indutância de ressonância necessária para o microcircuito da etiqueta.

Adicionalmente, este circuito pode ser usado para demonstrar, praticamente, o limiar entre as regiões de campo próximo e distante, assim como relacionar com as Leis de Faraday, Gauss e Ampère, e com as equações de Maxwell.

Portanto, a partir do uso da plataforma Arduino é possível realizar diversas implementações voltadas para uso didático em nível de graduação. Do mesmo modo, o código desenvolvido é flexível, permitindo que novas funcionalidades sejam acrescentadas, assim como as já existentes podem ser expandidas.

6 BIBLIOGRAFIA

ASHON, S.; ILYAS, M. **RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy**. CRC Press, 2008.

FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication**. 3a Ed. John Wiley & Sons, 2010.

JUNIOR, L. F. L. **A tecnologia de RFID no padrão EPC e soluções para implementação desta tecnologia em empilhadeiras**. 2006. Dissertação (Pós-graduação em *Master Business Information Systems*), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo. 2006.

KO, W. H.; LIANG, S. P.; FUNG, C. D. F. Design of Radio-frequency Powered Coils for Implant Instruments. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 15, p. 634-640, 1977.

LEME, C. B. M. P. **Utilização da Tecnologia RFID aplicada no Espectro Óptico para Avaliação dos Recursos Disponíveis em Anéis Metropolitanos e seu Impacto Econômico**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

LOZANO-NIETO, A. **RFID Design Fundamentals and Applications**. CRC Press, 2011.

PRERADOVIC, S.; KARMARKAR, N. **RFID Transponders - A Review**. 4th International Conference on Electrical and Computer Engineering, 2006.

ROZ, T.; FUENTES, V. **Using low power transponders and tags for RFID applications**. Microelectronic Marin SA, Suíça: 2004.

ZHU, X.; MUKHOPADHYAY, S.; KURATA, H. A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. **Journal of Engineering and Technology Management**, 2011.

Anexos

Anexo A – Código implementado para leitura das tags

```
#include <SPI.h>                // Biblioteca da Interface Periférica Serial
#include <MFRC522.h>            // Para controlar o RC522
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial cartaoLF(7, 6);  // Instancia o RDM630 (pinos RX,TX) (125 kHz)
MFRC522 cartaoHF(10, 9);       // Instancia o MFRC522 (13.56 MHz)
SoftwareSerial cartaoUHF(3, 4); // Instancia o Cottonwood (pinos RX,TX)
                                (840~960MHz)

char flag = 0;
int j = 0;
int opcao = 0;
int opcao_manual = 0;
int leitura[12];              // Buffer para leitura

void setup()
{

    Serial.begin(9600);        // Inicia a comunic. serial com o PC
    SPI.begin();               // Inicia o SPI bus
    mfrc522.PCD_Init();        // Inicia o MFRC522
    cartaoLF.begin(9600);      // Inicia a comunic. serial com o leitor RFID (125 kHz)
    cartaoUHF.begin(9600);     // Inicia a comunic. com leitor UHF

}

void loop()
{
```

```

    menu();
}

void varredura_automatica()
{

    //--- Seção para LF ---
    flag = 1;
    mensagem();
    verificaelertag();

    //--- Seção para HF ---
    flag = 2;
    mensagem();
    verificaelertag();

    //--- Seção para UHF ---
    flag = 3;
    mensagem();
    verificaelertag();

}

void verificaelertag();
{

    switch(flag)
    {
        case 1:
            if(cartaoLF.available() > 0)
            {
                delay(100);
            }
        }
    }
}

```

```

cartaoLF.getData(data,length);
Serial.println("ID da tag: ");

for(int i = 0; i < length; i++)
    Serial.print(data[i],HEX);

Serial.println("");
}

else
{
    Serial.print("Tag não encontrada!");
    Serial.println("");
    delay(500);
}
break;

case 2:
    //Verifica se há tag no leitor
    if (!cartaoHF.PICC_IsNewCardPresent())
    {
        return;
    }

    if (!cartaoHF.PICC_ReadCardSerial())
    {
        return;
    }

    //Leitura e impressão do ID
    delay(100);
    Serial.print("ID da tag: ");

```

```
for (byte i = 0; i < cartaoHF.uid.size; i++)
{
    Serial.print(cartaoHF.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
    Serial.print(cartaoHF.uid.uidByte[i], HEX);
}
delay(500);
break;
```

case 3:

```
if(cartaoUHF.available() > 0)
{
    delay(100);
    j = 0;
    while (cartaoUHF.available())
    {
        leitura[j] = cartaoUHF.read();
        j++;
    }
    Serial.println("ID da tag: ");
```

```
for (j = 5 ; j < 9 ; j++)
    Serial.print(leitura[j],HEX);
```

```
//Zerando o buffer
```

```
for (j = 0 ; j < 12 ; j++)
    leitura[j] = 0;
```

```
delay(500);
```

```
}
```

```
else
```

```

    {
        Serial.print("Tag não encontrada!");
        delay(500);
    }
    break;

    default:
        break;
}
}

void varredura_manual()
{
    flag = 1;
    while(flag == 1)
    {
        Serial.print("Digite o número da opção desejada:");
        Serial.print("1 – Leitura em LF");
        Serial.print("2 – Leitura em HF");
        Serial.print("3 – Leitura em UHF");

        opcao_manual = Serial.read();

        if((opção_manual < 1) || (opção_manual > 3))
        {
            Serial.print("Opção inválida! Tente novamente.");
            delay(5000);
        }
        else
            flag = 0;
    }
}

```

```

switch(opcao_manual)
{
  case 1:
    //--- Seção para LF ---
    flag = 1;
    mensagem();
    verificaelertag();

  case 2:
    //--- Seção para HF ---
    flag = 2;
    mensagem();
    verificaelertag();

  case 3:
    //--- Seção para UHF ---
    flag = 3;
    mensagem();
    verificaelertag();
}
}

```

```

void mensagem()
{
  switch(flag)
  {
    case 1:
      Serial.print("Aproxime a tag do Leitor 1 (LF)");
      delay(1000);
      break;

    case 2:

```

```

    Serial.print("Aproxime a tag do Leitor 2 (HF)");
    delay(1000);
    break;

    case 3:
        Serial.print("Aproxime a tag do Leitor 3 (UHF)");
        delay(1000);
        break;

    default:
        break;
}
}

void menu()
{
    flag = 1;
    while(flag == 1)
    {
        Serial.print("Digite o número da opção desejada:");
        Serial.print("1 – Varredura automática de tags");
        Serial.print("2 – Varredura manual de tags");

        opcao = Serial.read();

        if((opcao < 1) || (opcao > 2))
        {
            Serial.print("Opção inválida! Tente novamente.");
            delay(5000);
        }
        else
            flag = 0;
    }
}

```

```
}  
  
switch(opcao)  
  case 1:  
    varredura_automatica();  
    break;  
  
  case 2:  
    varredura_manual();  
    break;  
  
  default:  
    break;  
}
```

Experimento com sistema RFID

1. Introdução

Objetiva-se estudar..

2. Teoria

De acordo com Finkenzeller (2010), um sistema RFID é tipicamente constituído por dois componentes:

- *transponder* (ou *tag*) - dispositivo de comunicação sem fio;
- interrogador (ou *reader*) – aparelho de aquisição de dados.

2.1 Interrogador

O *reader* emite ondas de rádio em determinada frequência para ativar a *tag*. Além disso, é também responsável pela captura e decodificação dos dados recebidos da *tag*. Os dados podem fornecer informação sobre identificação, ou localização, ou informações específicas de um produto, como cor, preço, data de compra, entre outras.

2.2 Transponder

O *transponder* é geralmente formado por uma antena, e pode conter ou não um microchip. Sua estrutura básica é formada por: circuito integrado, antena e encapsulamento.

2.2 Funcionamento

O princípio de funcionamento para a transmissão de dados pode ser melhor entendida da seguinte forma: um campo eletromagnético alternado é gerado pelo leitor, e a antena da *tag* é submetida a tal campo, de modo que uma tensão é induzida na sua antena, conforme prevê a Lei de Indução de Faraday.

Conforme a lei supracitada, a indução de tensão na antena da etiqueta se dá em decorrência da variação do número de linhas de campo magnético que atravessam a espira.

Esta tensão induzida é retificada e armazenada por um capacitor para, posteriormente, ser utilizada como fonte de energia para o envio do sinal de resposta da *tag*. Este processo de transferência de energia descrito é conhecido como acoplamento tipo transformador (ou acoplamento indutivo), e ocorre quando a distância entre as antenas não excede $(\lambda/2\pi)$, ou seja, que a etiqueta esteja no campo próximo da antena do leitor.

Quando a *tag* se localiza no campo distante do leitor, o acoplamento indutivo não é mais possível. Neste caso, os efeitos das perdas de espaço livre devem ser consideradas, e componentes de maior eficiência devem ser utilizados para que alcances maiores sejam obtidos.

3. Parte experimental

3.1 Montagem

Um sistema RFID pode envolver vários elementos. Entretanto, para simplificação, nesta montagem serão utilizados poucos componentes, de fácil manuseio e implementação.

Serão necessários os seguintes componentes:

- Arduíno Uno R3 (com cabo USB e fonte)
- Módulo RFID RDM6300 e antena circular
- Módulo RFID RC522
- Módulo RFID UHF Cottonwood e antena UHF
- Etiquetas RFID (LF, HF e UHF)
- Jumpers
- Computador

Na Figura 1 é possível verificar o diagrama elétrico da montagem.

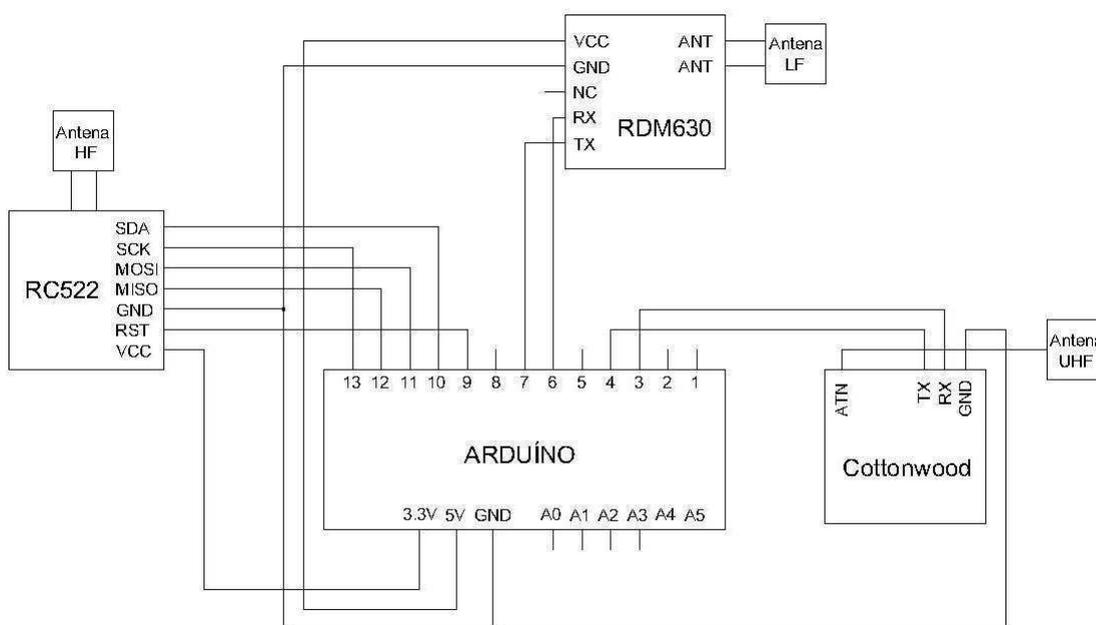
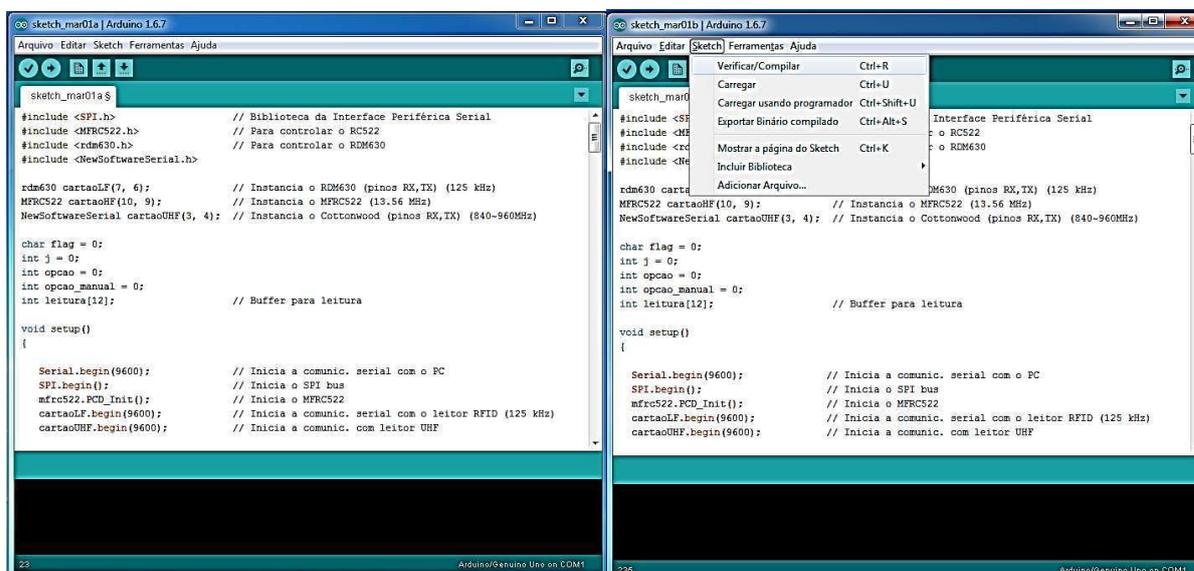


Figura 1 – Diagrama elétrico

3.2 Leitura das tags

A conexão entre a plataforma Arduino e o computador é feita via cabo USB. Para iniciar a leitura das tags é necessário compilar o código na plataforma, que é feito via programa, conforme pode ser visto na Figura 2 (a).



(a)

(b)

Figura 2 – (a) Janela do programa (b) Comando compilar

Para compilar, primeiramente salve o arquivo do código. Em seguida, mande compilar o código, conforme a Figura 2 (b). Depois, na guia “Ferramentas”, clique em “Monitor serial”. Será aberta uma nova janela, na qual o usuário fornecerá informações solicitadas pelo programa, assim como visualizará informações fornecidas pelo programa, como ID das *tags*, mensagens de erro, etc.

As leituras podem ser realizadas de forma automática ou manual, efetuaremos as leituras nos dois modos, separadamente, seguindo os passos descritos a seguir.

Modo Automático

- A. Tendo uma etiqueta RFID em mãos, posicione-se a 3 metros do Leitor LF.
- B. Compile o código. Em seguida, vá na janela do “Monitor serial” e escolha a opção “1 - Varredura automática de *tags*”.
- C. Espere o programa informar se a leitura foi realizada, imprimindo o ID da *tag*, ou informar se a etiqueta não foi detectada.
- D. Caso a *tag* não tenha sido detectada, passa para o próximo leitor, neste caso o Leitor HF, mantendo a mesma distância. Repita o procedimento para o próximo leitor caso ainda não seja detectada.
- E. Se a etiqueta não foi detectada por nenhum leitor, diminua a distância, em um metro, por exemplo, e repita os passos acima. Continue diminuindo a distância e repetindo os passos de A a D até que a etiqueta seja detectada.

Anote as distâncias e as correspondentes frequências nas quais as *tags* foram detectadas.

Modo Manual

- A. Tendo uma etiqueta RFID em mãos, e com o código já compilado, vá na janela do “Monitor serial” e escolha a opção “2 - Varredura manual de *tags*”.
- B. Em seguida, posicione-se a 3 metros do Leitor LF e selecione a opção “1 – Leitura em LF” na janela do “Monitor serial”.
- C. Espere o programa informar se a leitura foi realizada, imprimindo o ID da *tag*, ou informar se a etiqueta não foi detectada.
- D. Caso a *tag* não tenha sido detectada, selecione novamente a mesma opção no item B, porém diminua a distância. Continue diminuindo a distância até que a etiqueta fique praticamente colada à antena do Leitor LF, caso a etiqueta continue sem ser encontrada.

- E. Se a *tag* não foi detectada pelo Leitor LF, repita novamente os passos de A a D, porém selecionando a opção “2 – Leitura em HF”.
- F. Se a *tag* não foi detectada pelo Leitor HF, repita novamente os passos de A a D, porém selecionando a opção “3 – Leitura em UHF”.

Anote as distâncias e as correspondentes frequências nas quais as *tags* foram detectadas.

4. Questões

- 1) Quais são as faixas de frequência correspondentes à LF, HF e UHF? E quais são as frequências comercialmente utilizadas para os produtos RFID?
- 2) Segundo a teoria de antenas, como delimitar a região de campo próximo e campo distante?
- 3) Considerando os valores obtidos das distâncias no experimento, como classificaríamos o campo em cada situação?
- 4) Quais são os fatores determinantes do alcance de um leitor?

Respostas

1.

	LF	HF	UHF
Faixa de frequência	30 a 300 kHz	3 - 30 MHz	400 MHz - 950 MHz
Produtos RFID	125 kHz	13,56 MHz	866 MHz (Europa) 915 MHz (EUA)

2. Considera-se que a região de campo próximo existe a uma distância:

$$0,62 \sqrt{D^3/\lambda} \leq R < 2 D^2/\lambda$$

onde R é a distância à superfície da antena, λ é o comprimento de onda e D é a maior dimensão da antena.

Considera-se que a região de campo distante existe a uma distância:

$$R \geq 2 D^2/\lambda$$

3. Para a LF e HF, temos o campo próximo, visto que o acoplamento nestas situações é indutivo, que é característica do campo próximo. Para a UHF seria campo distante.

4. O alcance de leitura é função do correto dimensionamento da potência no leitor, o correto ganho da antena e a sensibilidade da *tag*.