

RELATORIO DE ESTÁGIO UFCG /ESISAR- 2006/2007

Concepção de antenas RFID para identificação de objetos metálicos

Laboratoire de Conception et Intégration des Systèmes
LCIS - ESISAR
50, rue Barthélémy de Laffemas
BP 54, 26902 Valence, Cedex 9 - France

STENIO FREIRE CANTALICE	
Data do estágio	01/02/2007 – 01/07/2007
Modulo de especialização	ESE/ESISAR
Orientador UFCG	Glauco Fontgalland
Orientador ESISAR	Anthony Ghiotto



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Agradecimentos

Agradeço inicialmente Anthony Ghiotto por ter sido meu orientador durante este estágio por conta que ele me acompanhou desde o início e me fez aprender muito sobre a pesquisa com seus conselhos técnicos e suas idéias. Eu o agradeço principalmente pela paciência que ele teve comigo.

Agradeço também a Laurent Guilloton por sua ajuda referente à realização das antenas e de suas medidas.

Agradeço igualmente a Frédéric Théron por seu apoio em informática referente à instalação dos *softwares* que foram necessários à realização do estágio.

Agradeço finalmente ao meu responsável de Universidade Federal de Campina Grande, Glauco Fontgalland, e ao meu responsável da ESISAR, Tan-Phu Vuong, por me terem dado tal oportunidade de realizar este estágio.

Sumário

Agradecimentos.....	2
1 Introdução	4
2 Apresentação.....	5
3 Especificações do estágio	6
4 Introdução à RFID.....	7
5 Apresentação da problemática imposta pela proximidade de metais sobre o desempenho das antenas.	12
6 Estruturas de antenas existentes para funcionamento em proximidade aos metais.	14
6.1 Antenas do tipo F-invertido.....	14
6.2 Antenas do tipo <i>patch</i> com plano de terra EBG.....	17
6.3 Utilização de materiais absorventes.....	20
7 Estudo dos efeitos do metal sobre as antenas do tipo dipolo.....	22
7.1 Resultados obtidos com a variação da espessura do substrato.....	23
7.2 Resultados obtidos com a variação da distância da antena com relação ao plano condutor	27
8 Realizações	31
8.1 Antena microstrip circular.....	32
8.2 Medida da impedância de entrada do <i>chip</i> RFID	36
8.3 Antenas RFID.....	38
8.4 Antenas do tipo dipolo dobrado	48
9 Conclusões e perspectivas.....	61
10 Referências.....	62

1 Introdução

O desenvolvimento de sistemas de identificação por Radio Frequência (RFID) se tornam cada vez mais importantes nestes últimos anos. A RFID pode ser utilizada para a identificação de objetos nas lojas, serviços logísticos, controle de acesso e outros processos de automatização.

Atualmente, a dificuldade de implementação desta tecnologia é de aplicá-la à identificação de objetos metálicos. A maioria das antenas RFID não funciona sobre tais objetos. É neste contexto que novas estruturas de antenas diferentes das estruturas convencionais devem ser projetadas.

Inicialmente neste relatório será apresentada uma breve introdução sobre a RFID, em seguida o problema referente à identificação dos objetos metálicos, uma apresentação das soluções já existentes, um estudo realizado com antenas do tipo dipolo sobre diferentes substratos em proximidade ao metal, uma introdução sobre as antenas do tipo *microstrip* e as realizações que foram feitas para as antenas *patch* e as antenas RFID para a identificação de objetos metálicos são introduzidas.

2 Apresentação

As atividades de estágio descritas neste relatório foram realizadas no laboratório LCIS na ESISAR com colaboração do laboratório LEMA da UFCG.

Esta colaboração foi permitida através do programa CAPES BRAFITEC entre as instituições ESISAR e UFCG. O programa CAPES BRAFITEC é um acordo internacional entre a França e o Brasil que permite o intercâmbio dos estudantes de graduação e também de conhecimentos entre os dois países.

O estágio foi realizado no LCIS (*Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes*) na ESISAR (*Ecole Supérieure d'Ingénieurs en Systèmes Industriels Avancés Rhône-Alpes*), situado em Valence, França. O LCIS é um laboratório contituido por um grupo de pesquisadores da ESISAR. Este laboratório oi criado em 1996 e é atualmente dirigido por Chantal Robach. Os principais domínios de pesquisa do LCIS são ligados à formação proposta pela ESISAR em concepção, integração e validação de sistemas e aplicações na industria.

O acordo CAPES/BRAFITEC dá a possibilidade de aumentar os conhecimentos e a formação de profissionais mais competentes.

Todo o apoio financeiro para os estudantes brasileiros foi fornecido pela CAPES, instituição governamental brasileira destinada ao aperfeiçoamento dos quadros.

3 Especificações do estágio

Os objetivos deste estágio são:

- Estudo da tecnologia RFID, especialmente da concepção de antenas RFID;
- Pesquisa bibliográfica das soluções existentes para as antenas RFID para identificação de objetos metálicos;
- Estudo dos efeitos do metal sobre as antenas;
- Realização de protótipos de antenas *microstrip* para prever o valor da permissividade relativa do substrato que vai ser utilizado para a realização das antenas RFID.
- Medida das impedâncias dos chips RFID ;
- Realização e caracterização das antenas RFID para a identificação dos obletos metálicos.

Os resultados desejados ao fim deste estágio são de obter antenas RFID para identificação de objetos metálicos e uma boa compreensão dos efeitos do metal sobre estas antenas.

4 Introdução à RFID

Um sistema RFID é composto de um *transponder* que se comunica por radiofrequência e de um leitor comandado por uma aplicação (ver figura 1).

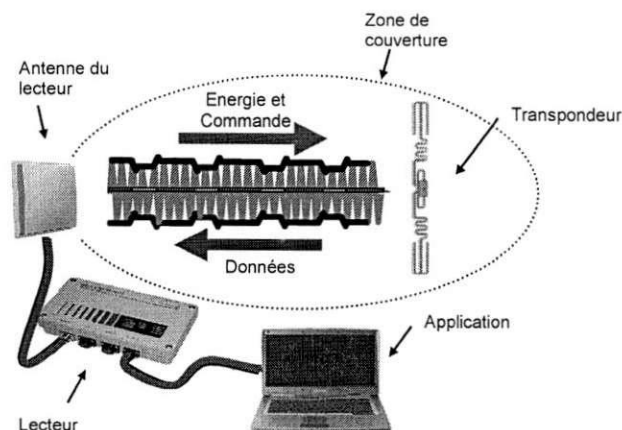


Figura 1. Apresentação de um sistema RFID..

Existem varias bandas de frequências utilizadas por esses sistemas e definidas por normas internacionais. (ver tabela 1) [1].

Frequências RFID	135 kHz	13,56 MHz	900 MHz	2,45 GHz	5,8 GHz
Distancia funcionamento (caso passivo)	< 1m	< 1,5m	< 10 m	1 à 4 m	0,5 à 2 m

Tabela 1. Frequências utilizadas pela RFID e as distâncias de funcionamento associadas.

Nós nos interessamos no caso de nosso estudo aos sistemas de frequência UHF (868 MHz e 900 MHz) que permitem de trabalhar em campo distante e de obter distancias de leitura razoáveis.

Distinguem-se três tipos de *transponder* RFID [1]. OS *transponders* ditos ativos, *transponders* ditos passivos e os *transponders* semi-ativos. Vamos introduzi-los:

Transponder ativo: este tipo de *transponder* possui uma bateria embarcada que permite a alimentação do circuito integrado de comando e a transmissão/recepção de um sinal. Este tipo de *transponder* permite de atingir distâncias de funcionamento da ordem de 100m. Porém, a concepção deste gênero de *transponder*, comportando um transmissor e receptor RF, gera custos unitários da ordem de centenas de euros.

Transponder passivo: este tipo de *transponder* possui um design mais simples e permite de obter custos unitários bem mais baixos (entre 2€ e 0,05 €). Ele não possui nem bateria, nem transmissor RF. Seu circuito se alimenta à partir da energia eletromagnética radiada que ele recebe do leitor RFID e que ele coleta por sua antena. Ele utiliza o princípio da modulação por retroreflexão (introduzida um pouco mais adiante) para transmitir seus dados aos leitores. A figura 2 ilustra as operações deste tipo de *transponder*. As modulações do tipo ASK e PSK são realizáveis utilizando este princípio de modulação por retroreflexão [1]. Entretanto as distâncias de leitura deste tipo de *tag* são bem mais curtas que no caso dos *transponders* ativos (ver tabela 1).

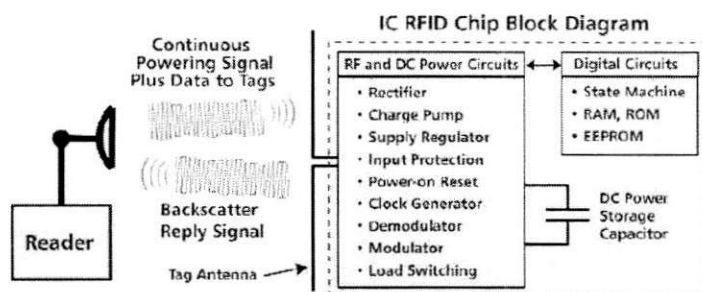


Figura 2. Operação de um tag RFID passivo.

Transponder semi-ativo: Este tipo de *transponder* possui as características entre os dois tipos anteriores. Ele possui uma bateria para alimentar seu circuito lógico mas não possui transmissor RF. Como no caso do *transponder* passivo, ele utiliza o princípio da modulação por retroreflexão. Seu custo e distância de leitura atingíveis se encontram entre esses dois tipos de *transponder* apresentados anteriormente. Tal tipo de *transponder* é às vezes um bom compromisso.

Para uma boa compreensão da RFID passiva e semi-ativa, é importante de compreender como estes dois tipos de *transponder* respondem ao leitor. Nenhuma fonte de onda de radiofrequência se encontra nesses tipos de *transponder*. Eles utilizam o princípio dito de modulação por retroreflexão: O leitor RFID envia uma onda de radiofrequência contínua ao *tag*. Uma parte da energia contida nesta onda é absorvida pela antena do *tag*. Porém uma outra parte desta energia é refletida e retorna ao nível do leitor. A modulação por retroreflexão consiste em fazer variar a proporção da energia que é refletida pela antena do *transponder*, fazendo variar a carga vista pela antena do *transponder*. A quantidade de energia absorvida e refletida pela antena são reciprocamente caracterizadas pela área efetiva A_E , e a área refletora A_S da antena. A figura 3 ilustra a variação normalizada destes parâmetros em função da relação da impedância da antena R_A e a impedância vista pela antena R_T (impedância do *tag*).

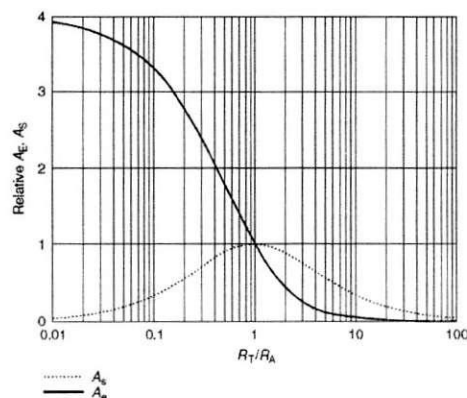


Figura 3. Variação normalizada de A_E e A_S em função da relação da impedância da antena R_A e da impedância vista pela antena R_T [1].

Assim, fazendo-se variar a área refletora A_S da antena (e assim a potência refletida pela antena) de um valor alto a um valor baixo fazendo variar a impedância do *transponder*, realiza-se uma modulação em amplitude do sinal refletido. É desta maneira que as *tags* passivas e ativas transmitem suas informações.

A fim de realizar a comunicação entre os *transponders* e um leitor RFID, normas internacionais definiram um protocolo de comunicação [1]. Estas normas definem protocolos de anticolisão para gerenciar a comunicação com vários *transponders* situados simultaneamente no campo de um leitor. Estes protocolos são gerenciados pela utilização de comando e trama definidos pelas normas ISO. A figura 4 ilustra a composição de uma destas tramas de comando. A troca de dados se efetua entre 40 kbps e 150 kbps.

SOF	RFU	Command Code	Parameters Or Flags	CRC-5	SUID (optional)	Data	Data (optional)	CRC-16	EOF
	1 bit	6 bits	4 bits	5 bits	40 bits	8 bits	8 to n	16 bits	

Figura 4. Trama de comando RFID.

Finalmente, existe também um quarto tipo de transponder RFID: os *transponders* ditos *chipless*. Este tipo de transponder não possui circuito eletrônico. De fato as aplicações deste transponder são mais limitadas. Não realiza-se um protocolo de comunicação com este tipo de transponder. Porém a vantagem é que seus custos são muito baixos.

A concepção destes *tranponders* comporta diversas propriedades físicas para realizar a codificação de um identificador. Um destes *tranponders* ditos *chipless* é o transponder do tipo SAW (*Surface Acoustique Wave*) apresentado na figura 5 [1]. O leitor envia um impulso RF. Tal impulso é recebido pelo transponder SAW via sua antena. Ele é transformado via um IDT (*Interdigital Transducer*) em ondas acústicas as quais são refletidas pelos refletores dispostos na superfície do *tranponder*. Estas ondas refletidas passam em seguida pelo IDT para serem retransmitidas em ondas de radiofrequência pela antena do *tag*. Assim obtém-se um trem de impulsos no qual o espaçamento depende da disposição dos refletores na superfície do transponder. Realiza-se assim um código de identificação. A onda na superfície se propaga lentamente permitindo receber o sinal após as múltiplas reflexões do ambiente. Este tipo de transponder funciona bem em torno de 2,45 GHz.

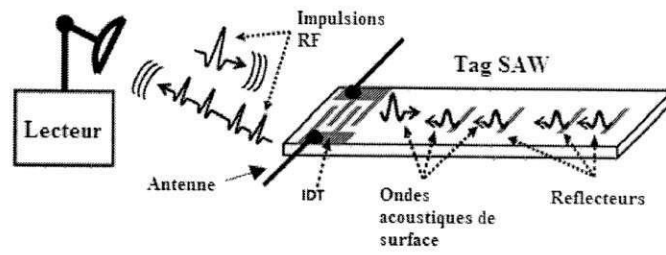


Figura 5. Transponder RFID do tipo SAW.

5 Apresentação da problemática imposta pela proximidade de metais sobre o desempenho das antenas.

Uma superfície condutora próxima à uma antena pode ser vantajosa ou desvantajosa. Em alguns casos, uma superfície metálica pode agir como um refletor e fazer com que a diretividade da antena aumente. Existem também alguns tipos de antenas que necessitam de um plano de terra para funcionar corretamente. Nestes casos uma superfície metálica pode ser utilizada para melhorar o desempenho.

Por outro lado, as ondas radiadas pela antena do leitor são quase totalmente refletidas pela superfície metálica.

Quando ondas eletromagnéticas são refletidas pelo metal, um deslocamento de fase de 180° se produz quando a antena está a uma distância de meio comprimento de onda do metal, anulando as ondas incidentes e assim diminuindo a diretividade da antena. Quando a antena está próxima ao metal, existe um acoplamento entre a antena e o plano metálico que modificam as propriedades de radiação da antena (S_{11} e ganho) [3]. O parâmetro S_{11} se modifica quando a antena está mais próxima do metal, assim sua impedância vai ser reduzida e o ganho aumenta por conta de que o metal aumenta a quantidade de ondas refletidas.

Estas conseqüências podem ser explicadas por conta de dois efeitos: baseado sobre a teoria da imagem (ver figura 6) [7], quando uma antena, por exemplo, do tipo dipolo está próxima à uma superfície condutora, suas ondas emitidas serão refletidas por tal superfície modificando o diagrama de radiação e o ganho da antena; e quando a antena está muito próxima à uma superfície condutora, a mesma vai induzir uma corrente na superfície criando capacitâncias parasitas curto-circuitando a antena (ver figura 7) e tendo como conseqüências a redução de sua impedância e o aumento do valor do parâmetro S_{11} .

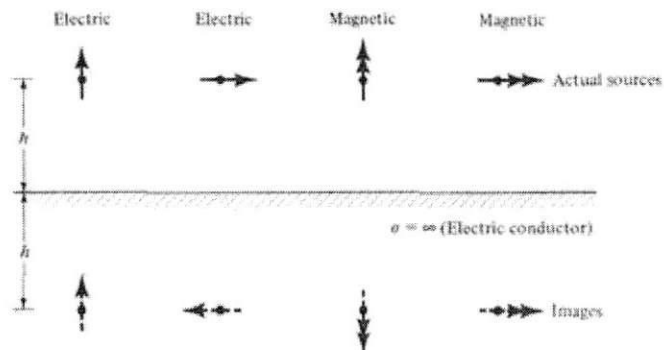


Figura 6. Fonte elétrica e fonte magnética e suas imagens em proximidade a um condutor elétrico [7].

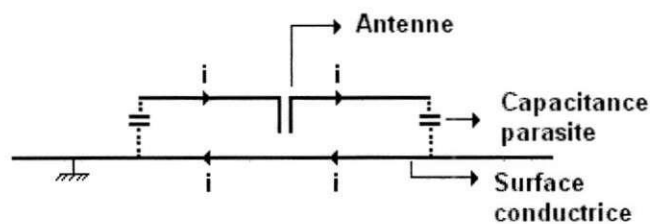


Figura 7. Efeito de uma superfície condutora sobre uma antena dipolo.

6 Estruturas de antenas existentes para funcionamento em proximidade aos metais.

Baseando-se em uma pesquisa bibliográfica realizada referente as antenas operando sobre superfícies metálicas condutoras, três principais formas de realização existem: as antenas do tipo F-invertido, antenas do tipo *patch microstrip* e as antenas que são colocadas sobre materiais absorventes.

6.1 Antenas do tipo F-invertido

A antena do tipo F-invertido é uma modificação de uma antena monopolo de quarto de onda. Na figura 8 é apresentada uma estrutura básica desta antena. O *microchip* RFID é colocado no ponto de alimentação entre o plano de terra e o elemento radiador.

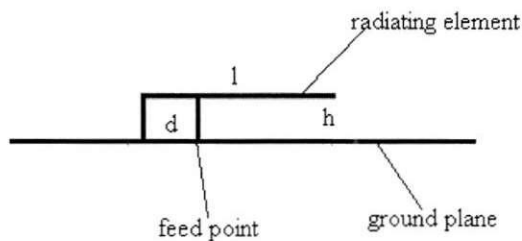


Figura 8. Estrutura básica de uma antena IFA[2]

As antenas IFA necessitam de um plano de terra para funcionar. Este tipo de antena é realizado para estar conectado a uma superfície metálica. Logo os objetos metálicos a serem identificados pouco modificarão seus desempenhos. Tal efeito é alcançado utilizando uma superfície metálica como plano de terra da antena.

De acordo com estudos recentes [5], os substratos com várias camadas podem ser utilizados para melhorar os parâmetros das antenas. A figura 9 mostra tal estrutura.

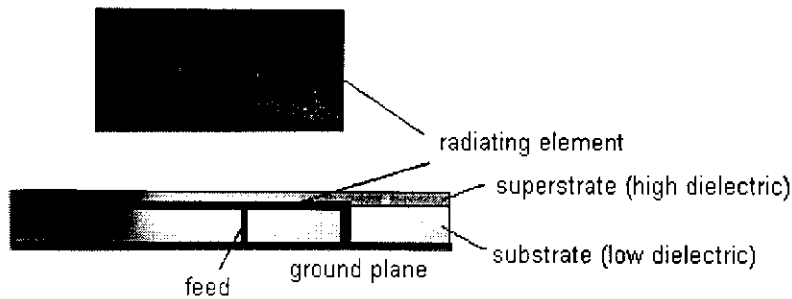


Figura 9. Antena com substrato e superstrato [2].

A constante dielétrica do superstrato é maior que a do substrato. Conforme à referência [2] o substrato utilizado é o Teflon ($\epsilon_r = 2,35$) com 10 mm de espessura e o superstrato é um substrato Roger TMM10i ($\epsilon_r = 9,8$) com 3,175 mm de espessura.

A tabela 2 mostra os resultados obtidos por simulação da IFA com diferentes substratos.

Substrate	S11 (dB)	-10 dB BW (MHz)	f_r (MHz)	Radiation eff. (%)	Directivity
Teflon	-12,43	8,51	910	91,14	2,110
2-Layer	-27,21	17,02	920	86,12	1,454
No substrate	-14,33	11,35	900	97,77	1,813

Tabela 2. Parâmetros de radiação simulados da IFA com diferentes configurações de substratos. [2]

Após a fabricação de protótipos, os mesmos foram testados no ar e sobre uma superfície de cobre de 160 x 200 mm. Os resultados são enumerados nas tabelas 3 e 4. et 4 s.

Substrate	Read range (m)	Reads per second
No substrate	0,9	40-80
Teflon	0,6	80-100
2-layer	0,3	50-80

Tabela 3. Distância máxima de leitura no ar [2].

Substrate	Read range (m)	Reads per second
No substrate	0,7	130-150
Teflon	1,0	140-160
2-layer	0,3	160-170

Tabela 4. Distância máxima de leitura sobre o metal [2]

Assim, foi observado que tal design fez com que quando a antena é colocada sobre o metal, a portadora de leituras não se reduz. A melhora da taxa de leituras por segundo também foi observada com a inserção do metal. Porém este tipo de design é complicado e o custo de uma tag é demasiadamente elevado.

6.2 Antenas do tipo *patch* com plano de terra EBG

Estruturas do tipo EBG (*Eletromagnetic Band Gap*) são objetos periódicos que impedem a propagação das ondas eletromagnéticas para certas frequências. Quando as estruturas do tipo EBG e substratos com propriedades dielétricas são utilizados com antenas do tipo microstrip patch, elas suprimem a excitação de ondas superficiais e oferecem uma solução para melhorar as propriedades de radiação em proximidade ao metal. Tais estruturas aperfeiçoam o ganho da antena, a eficiência e a largura de faixa. Com relação ao caso apresentado, a estrutura EBG está localizada no plano de terra da antena e duas camadas de substratos ($\epsilon_r = 9,8$) também são utilizadas.[3]

As figuras 10 e 11 mostram a representam da estrutura d antena patch com a estrutura EBG e as camadas de substrato.

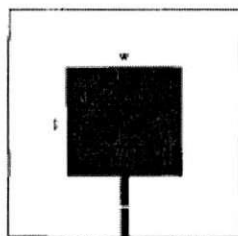


Figura 10. Estrutura da antena patch [3]

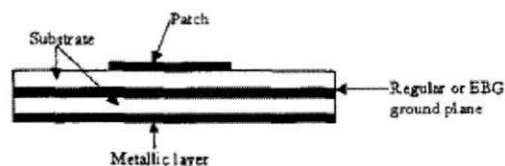


Figura 11. Estrutura em camadas [3]

A figura 12 representa o plano de terra EBG que é construído fazendo-se furos circulares no plano de terra da antena.

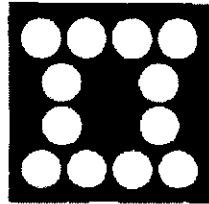


Figura 12. Plano de terra EBG [3]

As tabelas 5 e 6 apresentam os resultados (S11, largura de faixa, frequência de ressonância, eficiência de radiação e diretividade) após simulações nas quais as antenas utilizam o plano de terra EBG, ou utilizam o plano regular, em presença do ar e do metal. O metal utilizado neste caso foi uma superfície de cobre de 180 x 220 mm.

	S11 (dB)	-3 dB BW(MHz)	Frequência de ressonância (MHz)	Eficiência de radiação (%)	Diretividade
Plano de terra EBG	-13,76	21,75	900	80,69	2,519
Plano de terra regular	-10,72	29,78	920	78,14	2,643

Tabela 5. Parâmetros de radiação simulados no ar [3].

	S11 (dB)	-3 dB BW(MHz)	Frequência de ressonância (MHz)	Eficiência de radiação (%)	Diretividade
Plano de terra EBG	-17,94	19,85	900	71,47	4,888
Plano de terra regular	-4,00	20,19	920	75,09	4,215

Tabela 6. Parâmetros de radiação simulados com um plano metálico [3].

Quando a antena com o plano de terra regular é colocada sobre o metal, as perdas por adaptação diminuem consideravelmente. Porém quando o plano de terra EBG é utilizado, a adaptação de impedância pode ser melhorada.

Os protótipos das antenas foram fabricados com o plano de terra regular e com o EBG, o número de leituras por segundo e a taxa de leituras no ar e sobre o metal foram medidas.

O alcance máximo é de 1,1m com os dois protótipos tanto no ar quanto sobre o metal. Mudanças foram verificadas com relação à taxa de leituras por segundo a distancia de 1,1 m. Os resultados são apresentados na tabela 7.

Plano de terra	Leituras por segundo (ar)	Leituras por segundo (metal)
EBG	0-40	20-60
Regular	70-120	70-120

Tabela 7. Resultados experimentais da taxa de leitura [3].

A utilização do plano de terra EBG fez com que a adaptação de impedância fosse melhorada. A dimensão da antena pôde ser reduzida pois a frequência de ressonância da antena foi reduzida com relação à utilização do plano de terra regular. Também foi observado que os dois designs funcionaram sobre metais sem degradação de seus desempenhos.

6.3 Utilização de materiais absorventes

Isoladores como os propostos pela sociedade Emerson & Cuming Microwave sob a denominação “ECCOPAD” são utilizados a fim que as clássicas tags RFID funcionem melhor quando são colocadas sobre estruturas metálicas [4].

Tais isoladores utilizam materiais que possuem propriedades eletromagnéticas e espessuras específicas para ajustar as antenas quando elas são postas sobre metais. Um efeito como este pode ser atingido utilizando duas camadas de substrato em que a camada próxima ao metal consiste de um material com características eletromagnéticas elevadas e a camada próxima à antena consiste de um material dielétrico puro. A figura 13 mostra uma representação de uma antena com este tipo de material.

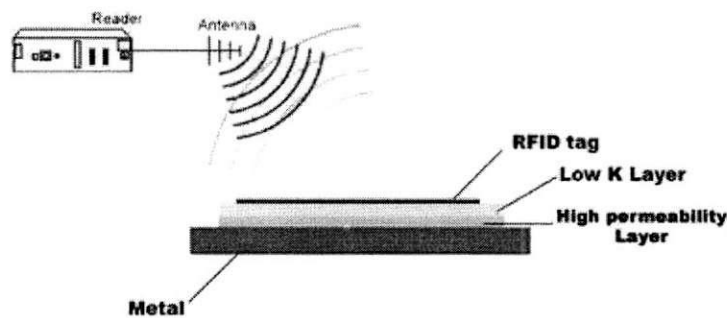


Figura 13 Representação de uma antena com material absorvente. [4]

Existem outros tipos de materiais absorventes propostos por outras sociedades mas que foram testadas com antenas RFID e superfícies metálicas sem obter resultados positivos como o produto GT 602 proposto pela sociedade GETELEC que é um material absorvente de alta frequência composto por esferas de ferro carbonila de pequeno diâmetro (5 μm aproximadamente) dispersas em uma resina apropriada com uma permeabilidade magnética de 1,85 e constante dielétrica de 9,50 em 2,0 GHz.

Durante este estágio não foi dada uma grande atenção às soluções que utilizam os materiais absorventes porem este tipo de solução pode ser estudada e aplicada à concepção de antenas RFID que são utilizadas para a identificação de objetos metálicos.

7 Estudo dos efeitos do metal sobre as antenas do tipo dipolo

Inicialmente um estudo dos efeitos de uma superfície metálica (condutor perfeito infinito) sobre as antenas do tipo dipolo foi realizado. Este tipo de antena foi escolhido, pois sua estrutura é simples com o ponto de vista da simulação e da implementação. O software utilizado foi o CST Microwave Studio® e todas as antenas foram construídas para funcionarem em torno da frequência de 868 MHz.

Algumas variáveis das antenas foram modificadas durante as simulações para as quais os parâmetros de radiação (coeficiente de reflexão, ganho) foram analisados com a presença de uma superfície metálica. Estas variáveis se relacionam com a distância da antena com relação à superfície, com o valor da permissividade relativa do substrato e sua espessura.

As simulações foram realizadas de tal sorte que a cada valor de permissividade relativa, a espessura do substrato variasse e a distância da superfície com relação à antena fosse nula; em seguida, a cada valor de permissividade relativa, variou-se a distância da antena com relação à superfície condutora com o substrato de 1,6 mm. Um resumo dos resultados é apresentado a seguir.

7.1 Resultados obtidos com a variação da espessura do substrato

Como citado anteriormente, a cada valor de permissividade relativa do substrato da antena, para o qual o valor utilizado variou de 2,2 a 10, a espessura (h) do substrato da antena foi modificada e a distancia entre a antena e o plano condutor é constante.

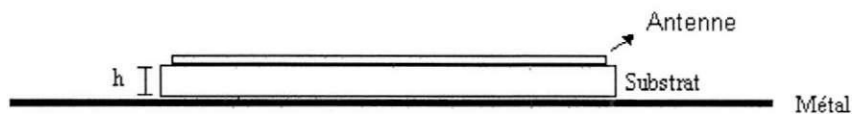


Figura 14. Representação da antena simulada.

Conforme os resultados obtidos através das simulações, observou-se que em todos os casos, para todas as antenas com substratos de permissividade variando de 2,2 a 10, apenas a partir da espessura de 50 mm ($h = 50$ mm) o módulo do coeficiente de reflexão (S_{11}) tornou-se inferior a -10 dB. A partir daí, o metal não possui influência na adaptação das antenas. Foi observado que quanto maior seja a permissividade, menor será o coeficiente S_{11} . Porém na prática, as antenas com esta espessura são muito volumosas e irrealizáveis.

A seguir são dados gráficos do coeficiente de reflexão para alguns materiais em função da espessura do substrato.

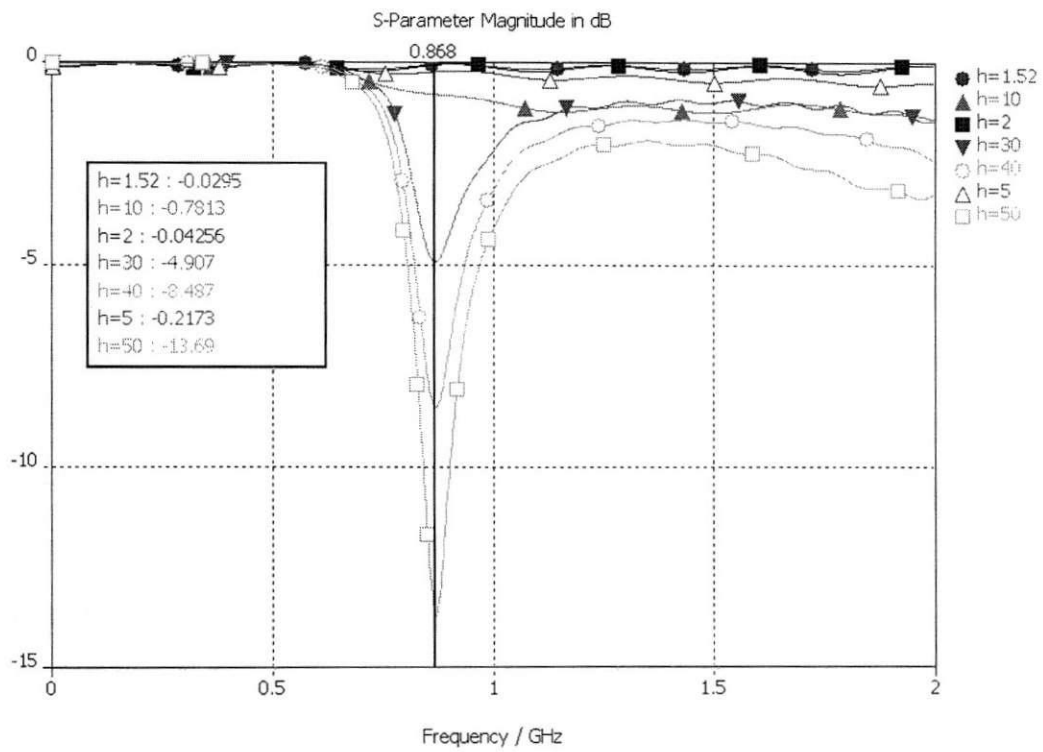


Figura 15. Parâmetro S_{11} ($\epsilon_r = 2,2$) em função da espessura h do substrato.

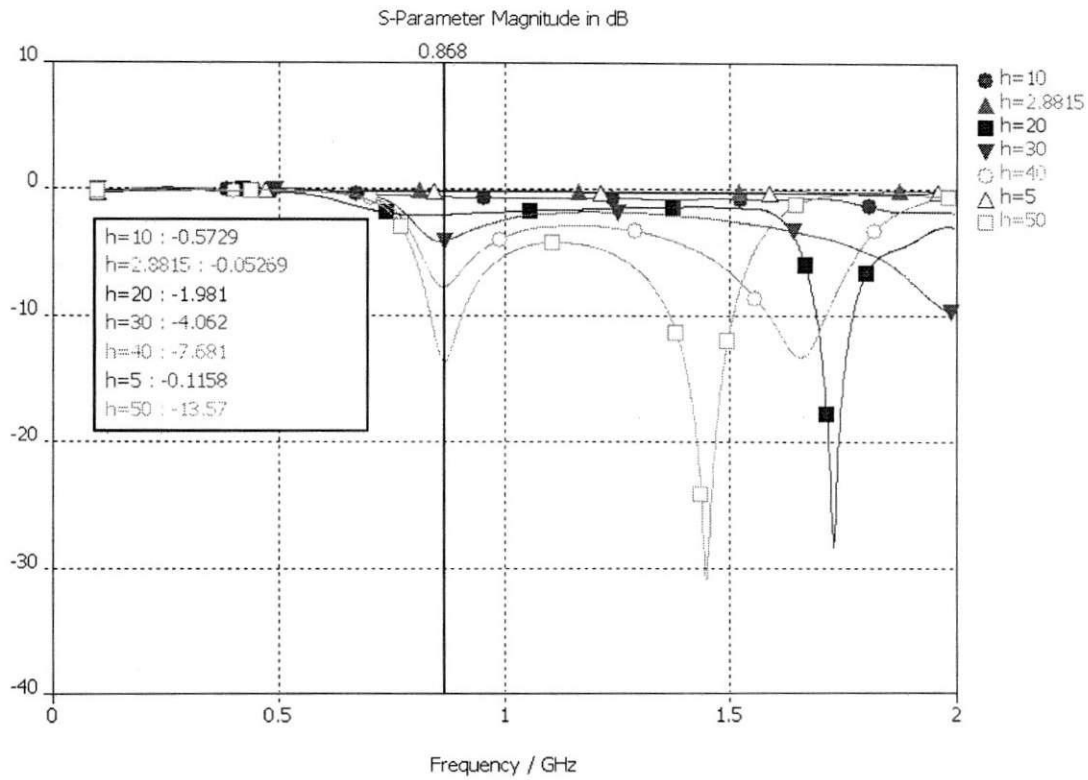


Figura 16. Parâmetro S_{11} ($\epsilon_r=5$) em função da espessura h do substrato.

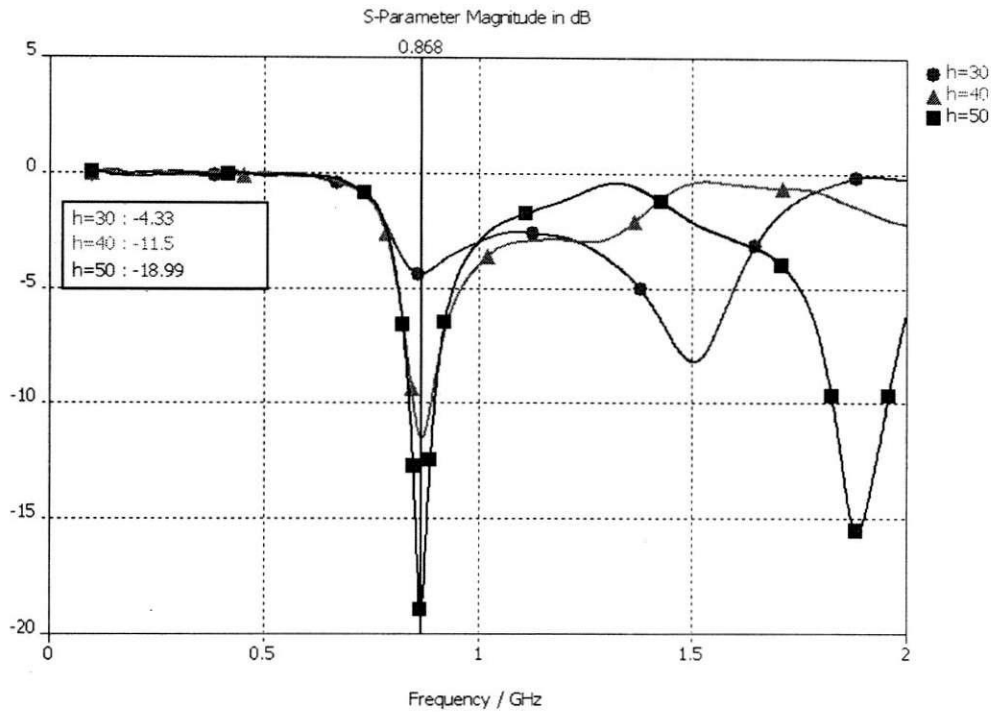


Figura 17. Parâmetro S_{11} ($\epsilon_r = 10$) em função da espessura h do substrato.

Com relação ao ganho, observou-se que quanto menor o valor da permissividade e menor a espessura do substrato, maiores serão o ganho e a diretividade da antena. Este efeito é observável pois o metal faz com que a quantidade de ondas refletidas seja maior, porque pode ser observado que sem a presença do metal, o ganho variou de 2 a 3 dBi e com sua presença, o ganho variou de 5 a 9 dBi.

Outro fato observado foi que quando a antena é colocada sobre o metal, sua frequência de ressonância é bastante reduzida pois sua impedância é reduzida a um valor menor. Assim, é necessário reduzir seu comprimento para que se alcance a mesma frequência de ressonância. Se tomarmos como exemplo a antena com um substrato de permissividade relativa de 4, após a inserção do metal, a frequência de ressonância foi deslocada de 868 MHz para 776 MHz.

7.2 Resultados obtidos com a variação da distância da antena com relação ao plano condutor

Nesta etapa, as simulações são feitas de tal forma que para cada antena com um substrato com valores de permissividade de 2,2 a 10 e espessura constante de $h=1,6$ mm, a distância entre a antena e o plano condutor (d) variasse, como representado na figura 18.

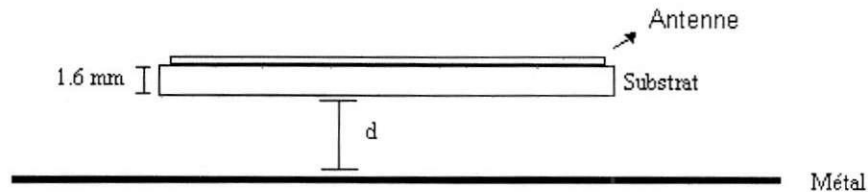


Figura 18. Representação da antena simulada.

Observando os resultados obtidos, pode-se constatar que o módulo do coeficiente de reflexão das antenas começou a tornar-se inferior a -10 dB a partir da distância de 50 mm ($d = 50$ mm) entre a antena e o plano condutor. Pode-se também observar que quanto menor o valor da permissividade, menor o coeficiente de reflexão. As figuras 19, 20 e 21 mostram alguns gráficos que ilustram estes comentários.

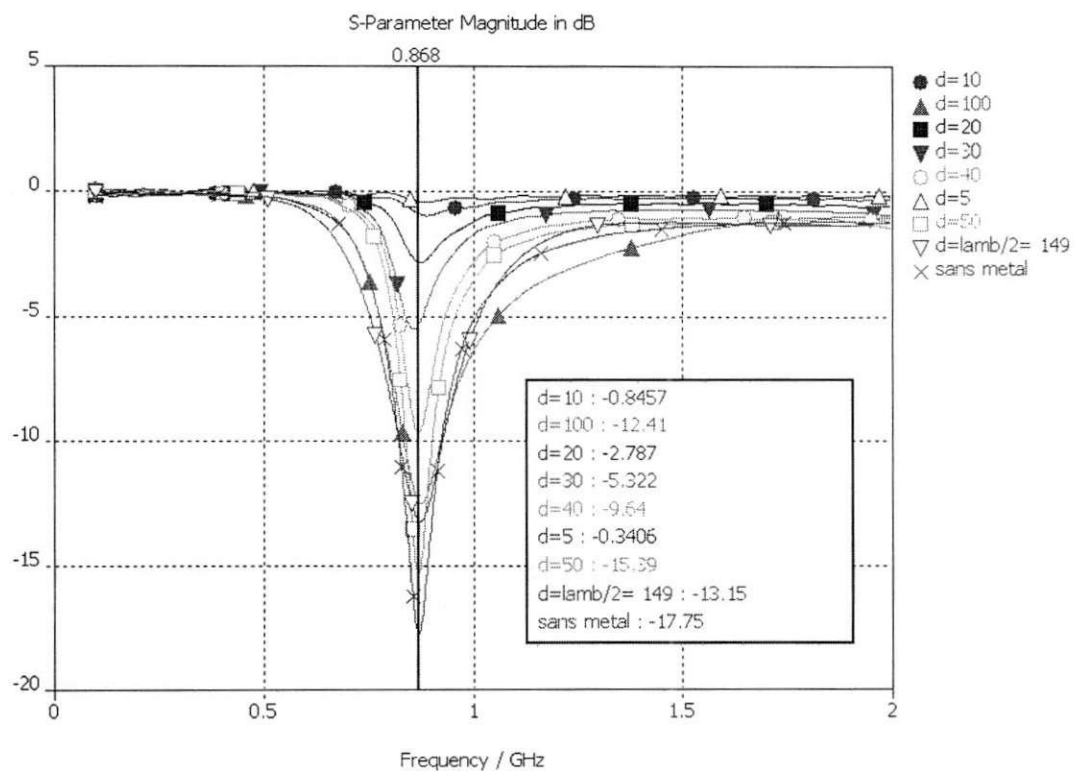


Figura 19. Parâmetro S_{11} ($\epsilon_r = 2$) em função da distância ao metal.

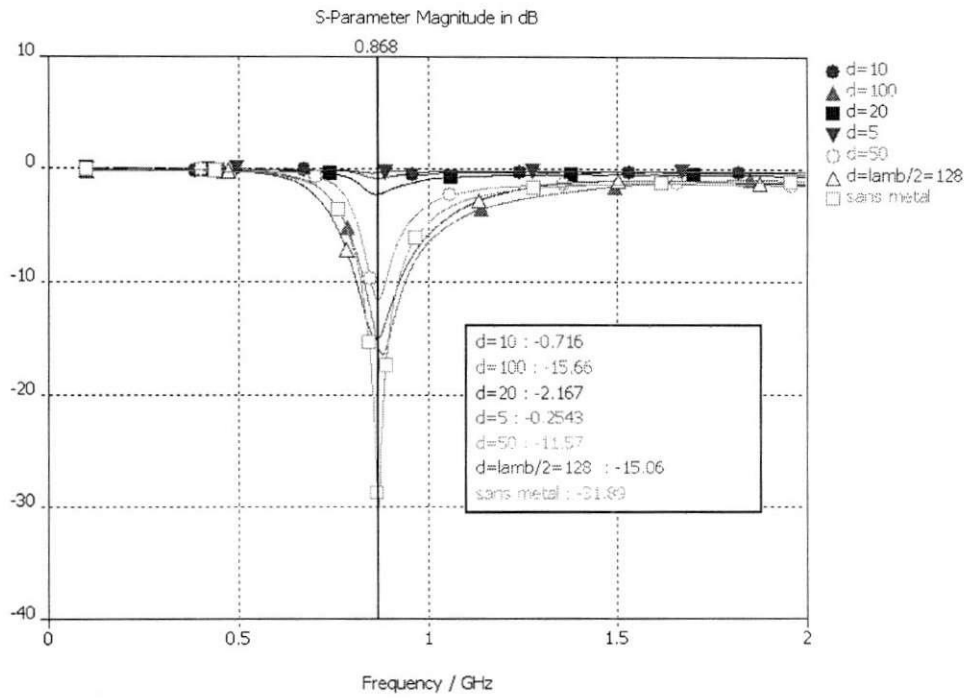


Figura 20. Parâmetro S_{11} ($\epsilon_r = 5$) em função da distância ao metal.

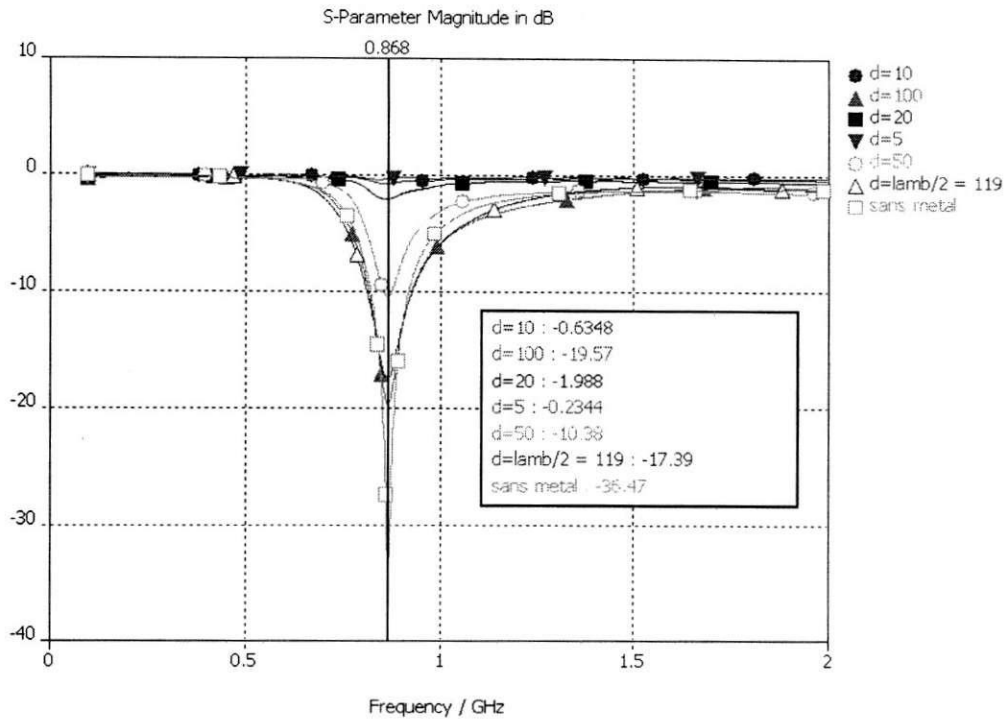


Figura 21. Parâmetro S_{11} ($\epsilon_r = 8$) em função da distância ao metal.

Com relação ao ganho, observa-se que independentemente das distâncias e das permissividades simuladas, a presença do metal fez com que o ganho aumentasse aproximadamente de um valor de 2 dB para valores entre 8 e 9 dB pois sua presença aumenta a quantidade de ondas refletidas.

No caso estudado, a presença do metal e a variação da distância, fizeram com que a frequência de ressonância da antena fosse deslocada, o ganho fosse aumentado e a impedância da antena fosse reduzida.

Assim, as antenas do tipo dipolo não são indicadas para serem utilizadas na identificação de objetos metálicos pois elas devem possuir um substrato espesso, sua distância em relação ao metal deve ser grande, fazendo com que elas sejam antenas pesadas e/ou grandes; indesejáveis à indústria.

8 Realizações

Após a análise teórica das antenas microstrip, a simulação de algumas antenas circulares foi realizada a fim de se estimar o valor da permissividade relativa do substrato FR4 utilizado. Na prática este valor varia de 4,2 a 4,6. Entretanto, como existem varios fabricantes de substrato e eles nao fornecem valores precisos das características dos substratos fabricados, pois, estes são de baixos custos e são principalmente implementados em frequências baixas. Apenas um fabricante foi escolhido para ser feita esta estimativa.

O valor da permissividade relativa do substrato estimado com as antenas circulares foi utiizado nas simulações e realizações das antenas microstrip RFID que são apresentadas em seguida neste documento. Suas características dependem bastante deste valor porque as antenas RFID devem ser concebidas de tal forma que suas impedâncias possuam o valor igual ao conjugado da impedância do chip RFID, o qual será colado ou soldado sobre a antena. Isto é necessário para se obter a máxima tranferência de potência possível para o chip a fim que ele seja ativado com um valor de energia a mais fraca possível recebida pela antena do leitor RFID.

8.1 Antena microstrip circular

As antenas mais populares do tipo microstrip são as antenas de forma retangular ou circular. A antena circular foi escolhida para fazer a estimativa do valor da permissividade relativa do substrato pois o único parâmetro necessário para ser calculado é o raio (a) da parte radiante da antena que é dado pela expressão [7]:

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{F\pi\epsilon_r} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (1)$$

onde :

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

f_r - frequência de ressonância desejada,

ϵ_r - permissividade relativa do substrato,

h - espessura do substrato (cm).

Como estimativa inicial nas simulações, uma frequência de ressonância de 868 MHz, um valor de permissividade relativa de 4,23 e espessura de 1,6 mm foram escolhidos. Assim:

$$f_r = 868 \text{ MHz}, \quad \epsilon_r = 4,23 \text{ e } h = 0,16 \text{ cm}$$

Resultando de (1):

$$a = 48,58 \text{ mm}$$

A simulação da antena foi feita utilizando o raio calculado, mas a frequência de 868 MHz não foi atingida pois a equação 1 considera que o substrato e o plano de terra são infinitos,

INPG-ESISAR-LCIS

UFCG-LEMA

BRAFITEC

mas nas simulações os planos de terra e os substratos utilizados foram considerados finitos, a fim de se aproximar do caso real. Assim, variando o valor do raio para que a frequência fosse alcançada, o valor de (a) encontrado foi:

$$a = 49,5 \text{ mm}$$

A foto da antena é apresentada na figura 22. Pode-se observar que ela possui dois *slots* ao longo da linha de transmissão para que seja alcançada uma adaptação de 50Ω .

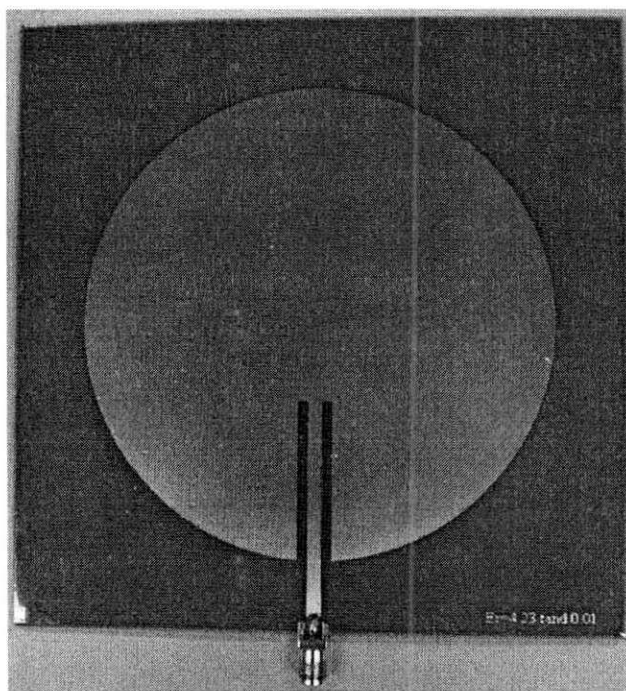
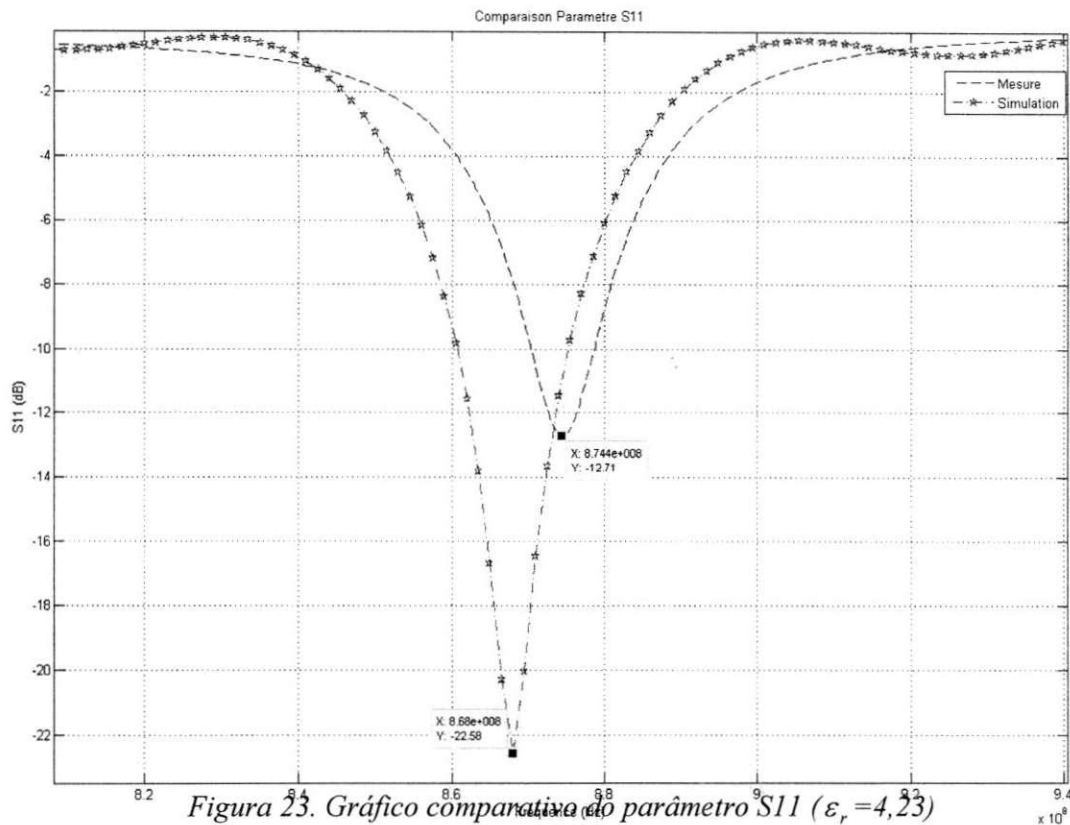


Figura 22. Foto de uma antena circular adaptada em 50Ω .

Após a simulação, a antena foi realizada e seu coeficiente de reflexão foi medido utilizando um analisador de rede HP 8720D. Obteve-se assim o gráfico da figura 23 no qual são comparados o coeficiente de reflexão simulado e medido.



Observando o gráfico, pode-se notar que a frequência de ressonância obtida foi de aproximadamente 875 MHz. A frequência está um pouco deslocada a direita da frequência de ressonância desejada.

Assim, estimou-se um novo valor de permissividade relativo de 4,15. Uma nova simulação e realização foram feitas obtendo o gráfico comparativo da figura 24.

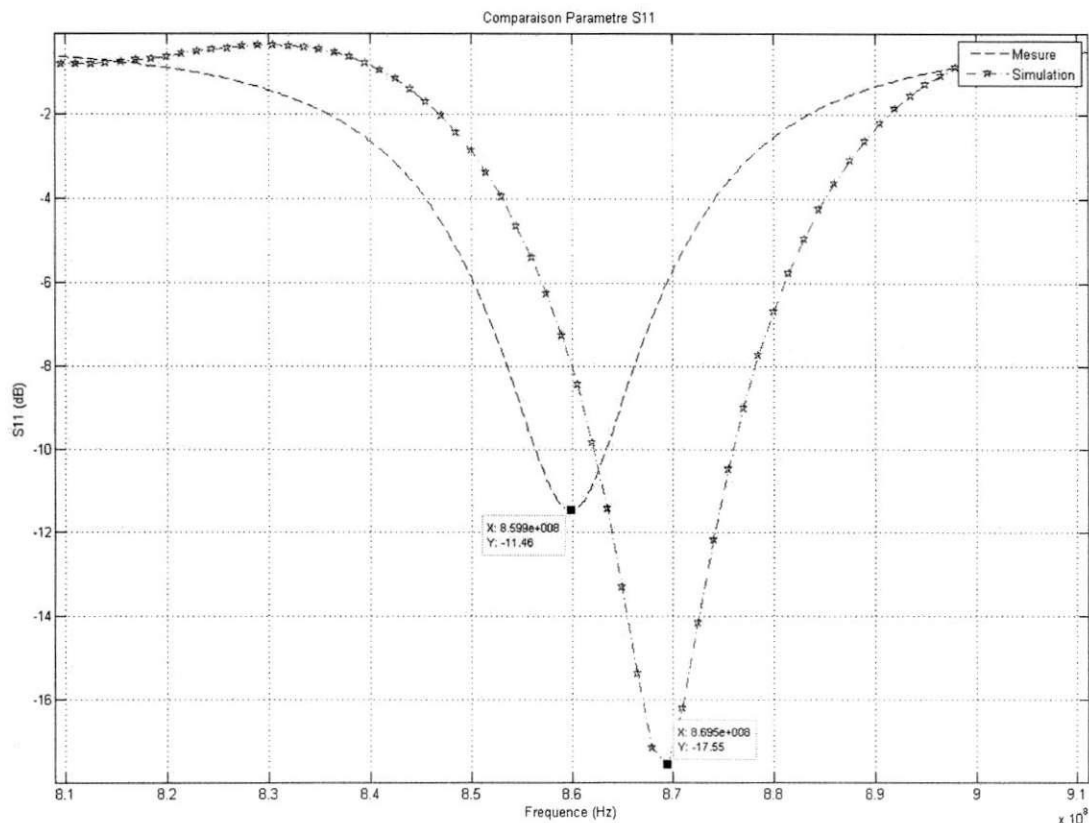


Figura 24. Gráfico comparativo do parâmetro S11 ($\epsilon_r=4,15$)

Como após esta realização observou-se que a frequência de ressonância da antena foi de aproximadamente de 860 MHz, que está a esquerda da frequência desejada de 868 MHz, estimou-se que o valor da permissividade relativa a ser utilizado seria de 4,20.

Com este valor estimado, pôde-se iniciar a realizar as antenas RFID.

8.2 Medida da impedância de entrada do *chip* RFID

Para realizar as antenas RFID, é necessário conhecer inicialmente o valor da impedância do chip que vai ser colocado sobre a antena, pois, como visto anteriormente, a antena RFID deve possuir um valor de impedância igual ao conjugado da impedância do chip para que se produza a máxima transferência de energia a fim de alimentar o chip RFID.

Em função do tipo de tecnologia utilizada, a impedância do chip varia e alguns valores de impedâncias normalizadas são dados a seguir [8].

EPC Class 1 Gen 1 a 915 MHz: $6,7 - j197,4 \Omega$.

EPC Class 1 Gen 1 a 868 MHz: $7,4 - j218 \Omega$.

EPC Class 1 Gen 2 a 915 MHz: $33 - j112 \Omega$.

EPC Class 1 Gen 2 a 868 MHz: $36 - j117 \Omega$.

Neste estágio utilizou-se dois diferentes tipos de chip:

Chip EM4222 a 915 MHz: $132 - j553 \Omega$

Chip EM4222 a 868 MHz: $128 - j577 \Omega$

Chip não-comercial (ST) a 915 e 868 MHz : $20 - j255,8 \Omega$

O método utilizado para acoplar o chip pode modificar sua impedância consideravelmente. Existem dois métodos para fazer o acoplamento do chip. Ele pode ser soldado diretamente sobre a antena ou pode ser colado sobre dois suportes de fixação sobre um substrato fino. Assim, o substrato e a cola mudam a impedância do chip.

Por conta disto, fez-se medidas de impedância do chip utilizando um analisador de rede e uma placa de teste que foi fabricada sobre o substrato FR4 com $\epsilon_r = 4,4$.

A figura 25 mostra uma foto da placa com o chip.



Figura 25. Placa de medida do chip

Medindo a impedância do chip não-comercial, que normalmente tem como valor de $20-j255,8 \Omega$, encontrou-se os valores:

$$Z_{\text{chip}} = 28 - j154 \Omega \text{ (868 MHz)}$$

$$Z_{\text{chip}} = 28 - j148 \Omega \text{ (915 MHz)}$$

O analisador de rede foi calibrado utilizando o método de três pontos, mas a calibração não foi feita com o método de curto circuito, circuito aberto e carga normalmente utilizados. A calibração foi feita com a placa de teste. A figura 26 mostra as fotos das placas utilizadas para a calibração do analisador.

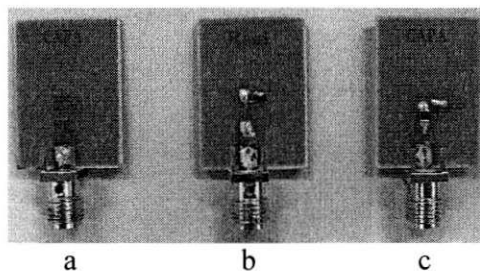


Figura 26. Placas de calibração (a circuito abertot, b curto-circuito e c carga)

A realização do circuito abeto foi feita com a placa sem a carga sobre o suporte de fixação. Um fil conectando os suportes realiza o curto circuito e uma resistência de 50Ω soldada sobre a placa é a carga normalizada. Para fazer a validação das medidas, utilizou-se uma resistência de 22Ω soldada sobre a placa.

Assim, após a realização das medidas de impedância do chip e conhecendo o valor da permissividade do substrato, pôde-se iniciar a realizar as antenas RFID.

8.3 Antenas RFID

Após a análise do valor da permissividade relativa do substrato e das medidas de impedância do chip, começou-se a fazer as antenas RFID.

No início, as antenas patch com alimentação diferencial foram realizadas, em seguida a miniaturização destas antenas foi feita e ao fim, simulou-se as antenas do tipo dipolo dobrado. Todas estas antenas foram projetadas para funcionarem sobre um plano condutor.

8.3.1 Antena com alimentação diferencial

Levando em conta a referência [8], escolheu-se de fazer as antenas patch com alimentação diferencial pois com este tipo de antena não é necessário utilizar o plano de terra como referência, assim elimina-se as estruturas do tipo *cross-layered* [8].

A figura 27 mostra a representação de uma antena com alimentação diferencial.

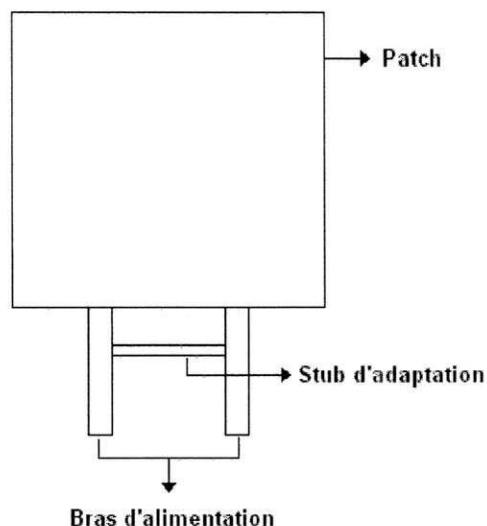


Figura 27. Antena com alimentação diferencial[8]

Nesta figura pode-se ver que a parte radiante da antena com os dois braços que realizam a alimentação diferencial e também um stub que vai ser utilizado para fazer a adaptação de impedância que vai corresponder a parte imaginária da impedância da antena, logo, sua posição entre os braços de alimentação e sua largura influenciam no valor da impedância.

De outro modo, o chip estaria antes conectado a antena entre um braço de alimentação único e o plano de terra, e agora ele vai ser conectado entre os dois braços de alimentação. Por conta disto, a simplicidade e o custo de fabricação podem ser reduzidos.

O primeiro protótipo de antena RFID com alimentação diferencial foi fabricado sobre o FR4 com uma adaptação de impedância para o chip, possuindo uma impedância de $20-j255,8 \Omega$.

Para obter este valor de impedância na frequência de ressonância de 868 MHz, várias simulações foram realizadas com o CST Microwave Studio®, pois o comprimento, espessura e a posição dos braços de alimentação e do *stub* influenciam bastante sobre o valor da impedância. O FR4 utilizado nas simulações tinha a permissividade relativa de 4,20. Mostra-se na figura 28 uma representação da antena simulada com suas dimensões.

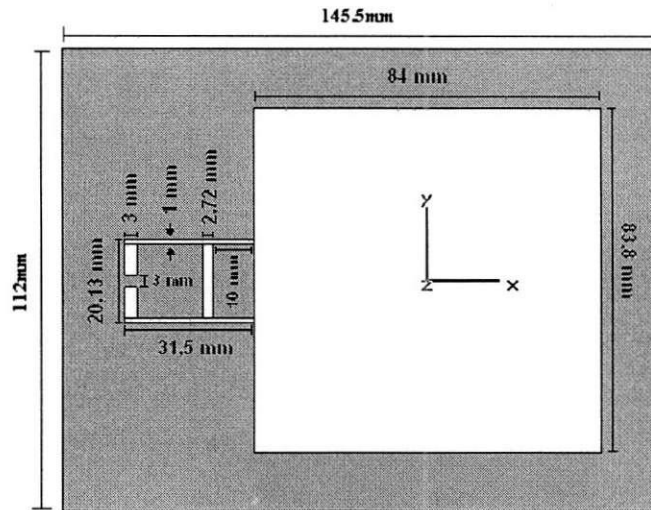


Figura 28. Representação do primeiro RFID

Como resultado da simulação, teve-se uma boa adaptação na frequência de ressonância, porém, tendo em vista que as antenas patch possuem uma largura de faixa estreita, este valor nas simulações também foi pequeno. A tabela 8 mostra os resultados obtidos por simulação considerando a antena no ar e sobre uma superfície metálica.

	S11 (dB)	-10 dB BW(%)	Frequência de ressonância (MHz)	Ganho (dBi)
Ar	-29,46	(1,27)	868	5,85
Metal	-30,23	(1,15)	868	6,3

Tabela 8. Resultados de simulação do primeiro protótipo

Como esperado, a frequência de ressonância não mudou quando a antena foi colocada sobre o metal, a adaptação é quase a mesma e o ganho aumentou por conta que o metal tem como efeito aumentar as reflexões de ondas.

Entretanto, como o valor da impedância do chip foi medido obtendo-se um valor de $28-j148\Omega$, uma outra antena foi simulada com o conjugado da impedância deste valor para que após pudesse realizá-las e fazer a comparação.

A nova antena foi também simulada sobre o FR4 de 4,20 de permissividade relativa e obteve-se a antena que está representada na figura 29, com suas dimensões.

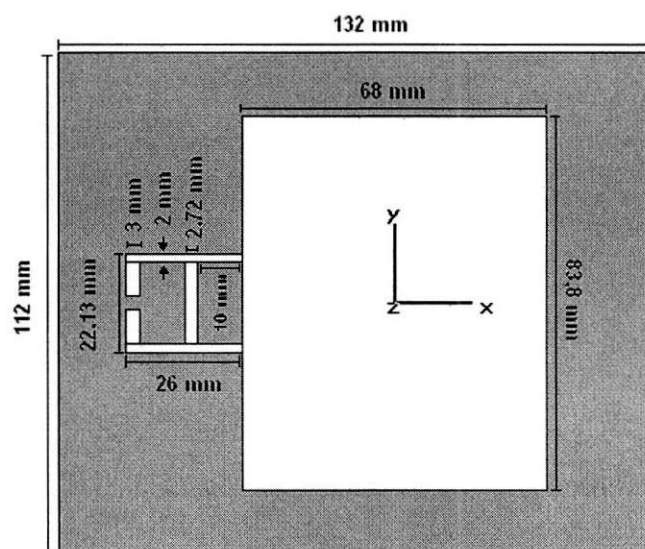


Figura 29. Representação do segundo protótipo RFID

Os resultados das simulações com a antena no ar e sobre o metal são dados na tabela 9.

	S11 (dB)	-10 dB BW(%)	Frequência de ressonância (MHz)	Ganho (dBi)
Ar	-11,69	0,56	868	5,80
Metal	-12,07	0,56	868	6,21

Tabela 9. Résultats de simulation du deuxième prototype

Observando os resultados obtidos por simulação, pode-se dizer que esta antena não possui uma boa adaptação de impedância e sua largura de faixa é mais estreita em comparação ao primeiro protótipo, de outro ponto de vista, ela é menor em dimensões e o metal não influenciou muito sobre seu desempenho. Constata-se igualmente que o ganho da antena aumentou com a presença do plano condutor.

Após as simulações serem feitas as antenas foram realizadas. As medidas de alcance máximo de leitura e quantidade de leituras por segundo não foram feitas pois o leitor disponível funciona apenas para a faixa de frequência de 902,75 MHz a 927,25 MHz com uma potência de saída de 4 W EIRP. Porém, para verificar se as antenas funcionavam, elas foram aproximadas do leitor a uma distância de 30 cm e assim, o leitor conseguiu detectá-las.

A figura 30 mostra uma foto dos dois protótipos.

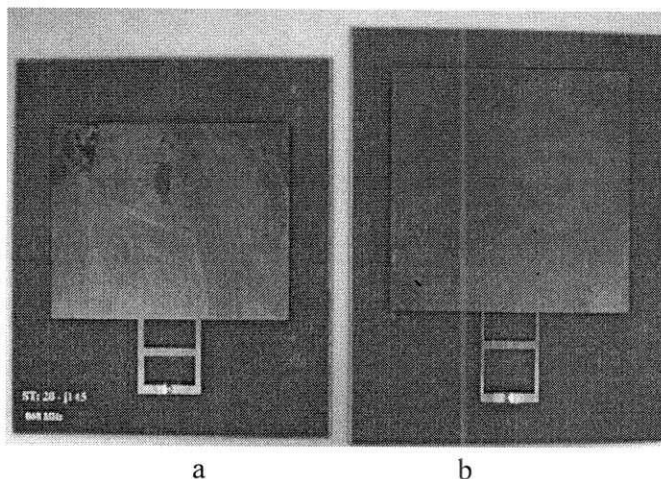


Figura 30. Protótipos RFID (*a* $Z_{in}=28-j145$., *b* $Z_{in}=20-j255,8$.)

Com este tipo de medida pode-se apenas concluir que é necessário possuir um leitor a 868 MHz para realizar as medidas de alcance máximo e taxa de leituras por segundo para poder fazer uma comparação entre os resultados obtidos.

Assim, para poder fazer comparações, realizou-se antenas miniaturas na frequência de ressonância de 915 MHz.

8.3.2 Antenas RFID patch miniaturizadas com alimentação diferencial

As últimas antenas são grandes em comparação às outras antenas comerciais RFID. Então uma pesquisa bibliográfica sobre miniaturização de antenas foi realizada para que em seguida as simulações e realizações de novas antenas fossem feitas.

De acordo com as referências [9, 10 e 11] uma das maneiras de obter uma boa miniaturização das antenas é a utilização de *slots* na parte radiante da antena.

Esses *slots* possuem como característica aumentar o caminho que a corrente deve percorrer na antena, assim a frequência de ressonância diminui, então para retornar à frequência desejada, o tamanho da antena deve ser reduzido. Com este tipo de técnica pode-se obter uma redução de até 50% do tamanho original.

Utilizando esta técnica, realizou-se a redução das antenas anteriormente realizadas, a antena com a adaptação à impedância de $20-j255,8 \Omega$ e à impedância de $28-j148 \Omega$. Porém, a frequência de ressonância visada era de 915 MHz pois se dispõe de um leitor que funciona nesta faixa de frequência.

A figura 31 mostra as representações e as fotos destas antenas reduzidas.

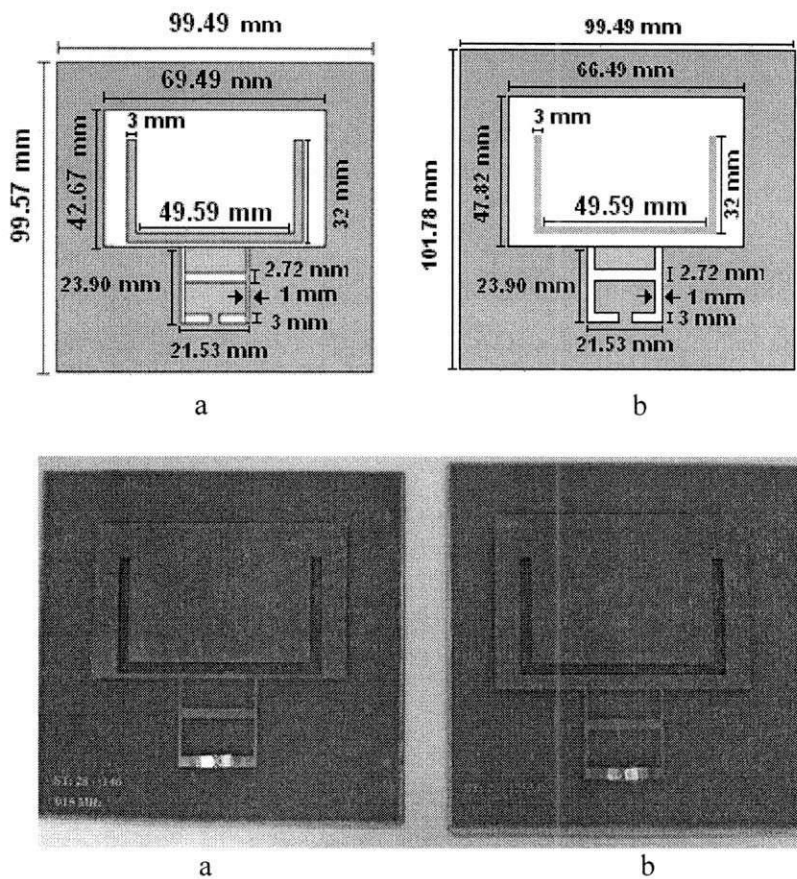


Figura 31. Antenas reduzidas (a $Z_{in}=28-j145.$, b $Z_{in}=20-j255,8.$)

Inicialmente estas antenas foram simuladas apenas com dois slots verticais, porém para alcançar uma boa adaptação estava impondo dificuldades, um novo slot vertical foi inserido. As antenas têm dimensões aproximativas de 100 x 100 mm. Com a inserção dos slots, reduções de 38,63% para a antena “a” e de 42,61% para a antena “b” foram obtidas comparando a área das duas primeiras antenas.

As tabelas 10 e 11 mostram os resultados de simulação para estas antenas.

	S11 (dB)	-10 dB BW(%)	Frequência de ressonância (MHz)	Ganho (dBi)
Ar	-22,91	(0,76)	915	4,87
Metal	-23,86	(0,76)	915	6,07

Tabela 10. Simulação da antena - impedância do chip : $20-j255,8 \Omega$

	S11 (dB)	-10 dB BW(%)	Frequência de ressonância (MHz)	Ganho (dBi)
Ar	-20,65	(0,76)	915	4,74
Metal	-21,57	(0,76)	915	6,08

Tabela 11. Simulação da antena - impedância do chip : $28-j148 \Omega$

Observando as tabelas, constata-se que as antenas possuem uma boa adaptação de impedância, assim um baixo coeficiente de reflexão; o plano condutor sempre aumenta o valor do ganho da antena, porém a largura de faixa permanece estreita.

A tabela 12 mostra os resultados obtidos das medidas das antenas realizadas. Estas medidas foram feitas em uma câmara anecóica, onde as antenas foram posicionadas a uma distância fixa de 50 cm da antena do leitor que mediu a taxa de leituras por segundo. A figura 32 mostra o esquema utilizado para medir a taxa de leituras por segundo e a figura 33 ilustra uma foto de uma antena na câmara anecóica.

Impedância do chip(Ω)	Leituras por segundo (ar)	Leituras por segundo (metal)	Distância de leitura ar (m)	Distância de leitura metal (m)
20-j255,8	200	200	0,48	0,48
28-j148	212	212	0,48	0,48

Tabela 12. Medidas dos parâmetros das antenas reduzidas

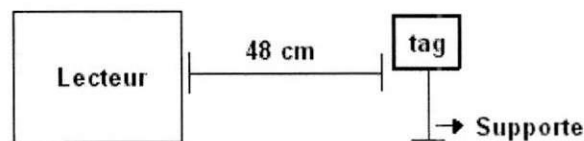


Figura 32. Esquema de medição da taxa de leituras por segundo das antenas

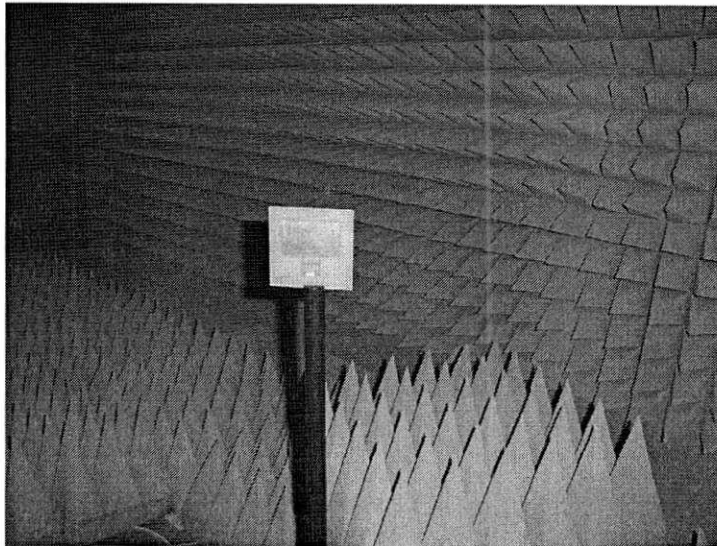


Figura 33. Medição das antenas na câmara anecóica

Pode-se concluir sobre essas antenas que não existe uma grande diferença entre elas, mas a antena com a adaptação para o chip medido, é um pouco melhor, pois a taxa de leituras por segundo é maior. Com relação à influência do metal, pode-se notar que quando as antenas são posicionadas sobre a placa metálica, elas não mudam suas propriedades, quer dizer que a taxa não modificou, o que faz com que os resultados estão em conformidade com as simulações.

8.4 Antenas do tipo dipolo dobrado

As antenas do tipo dipolo dobrado são antenas que não necessitam de um plano de terra metálico para funcionar assim, quando elas são colocadas sobre uma superfície metálica, os efeitos sobre seu funcionamento são maiores em comparação com as antenas patch que possuem o plano de terra.

Após a análise e realização das antenas do tipo patch, as antenas do tipo dipolo dobrado foram estudadas para a identificação de objetos metálicos.

De acordo com estudo realizado anteriormente sobre as antenas dipolo dispostas sobre uma placa metálica, foi visto que quando elas são colocadas diretamente sobre uma placa, os efeitos provocados são grandes. Então, tentou-se adaptar os dipolos quando eles são afastados de um plano condutor de 2,5 e 3,0 cm.

Para as simulações, um modelo de antena dipole RFID, que já tinha sido simulado e realizado no LCIS para funcionamento no ar, foi utilizado. A figura 34 mostra uma representação desta antena.

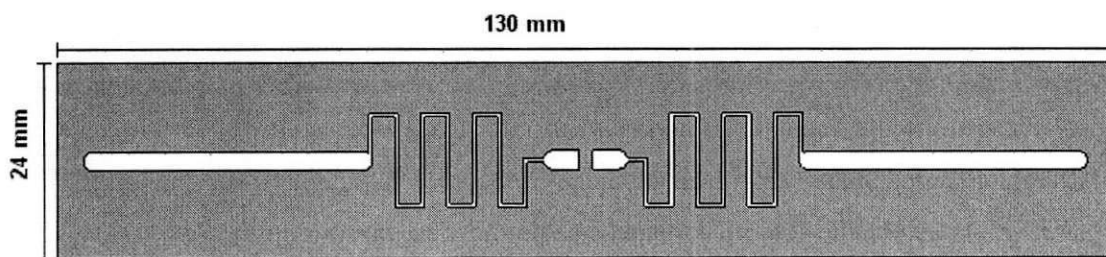


Figura 34. Modelo do dipolo utilizado para as simulações no ar

As simulações foram realizadas considerando que os dipolos estavam afastados de 2,5 e 3,0 cm de distância de uma superfície metálica. A adaptação de impedância foi feita para um chip com impedância de entrada de $128-j577 \Omega$ a 868 MHz. Este chip deve ser soldado diretamente sobre a antena, contrariamente ao outro chip que deve ser colado.

Dois dipolos diferentes foram simulados, um com duas “serpentes” e outro com três “serpentes”. A figura 35 mostra suas representações. As dimensões destes dipolos são de 148 x 24 mm e 138 x 30 mm respectivamente.

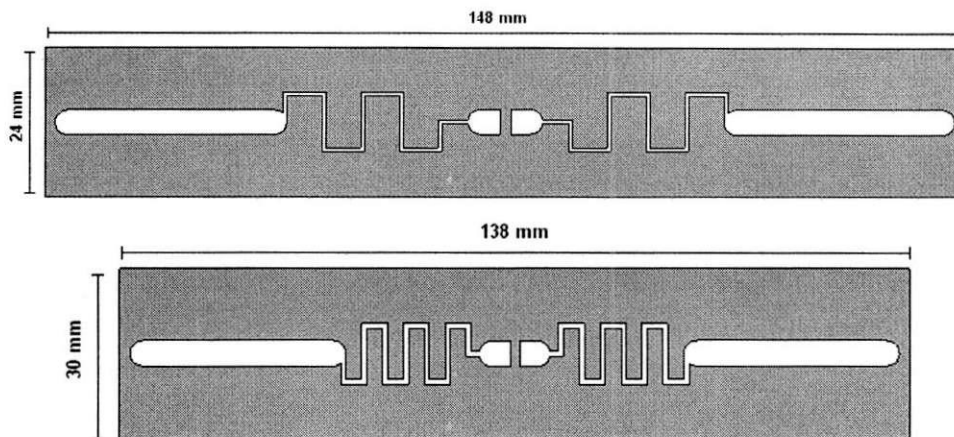


Figura 35. Dipolos com duas e três “serpentes”

As tabelas 13 e 14 mostram uma comparação dos resultados de simulação para os dois dipolos.

Distância ao metal (cm)	S11 (dB)	-10 dB BW(%)	Frequência de ressonância (MHz)
0	-8,12	-	880
2,5	-12,33	(1,62)	866
3	-17	(2,54)	866

Tabela 13. Resultados para o dipolo com duas serpentes

Distância ao metal (cm)	S11 (dB)	-10 dB BW(%)	Frequência de ressonância (MHz)
0	-9,01	-	885
2,5	-10,53	(0,69)	871
3	-15,22	(2,07)	869

Tabela 14. Resultados para o dipolo com três serpentes

Analisando os resultados de simulação, constata-se que quando a antena está mais afastada do metal, a adaptação é melhor, a frequência de ressonância se aproxima de 868 MHz e a largura de faixa é maior. Assim, espera-se que o alcance máximo de leitura destas antenas se dará quando elas estiverem afastadas de 3,0 cm do metal.

Quando as simulações foram feitas, as duas antenas foram realizadas sobre o substrato FR4 de 1,6 mm. A figura 36 mostra uma foto destes dois protótipos.

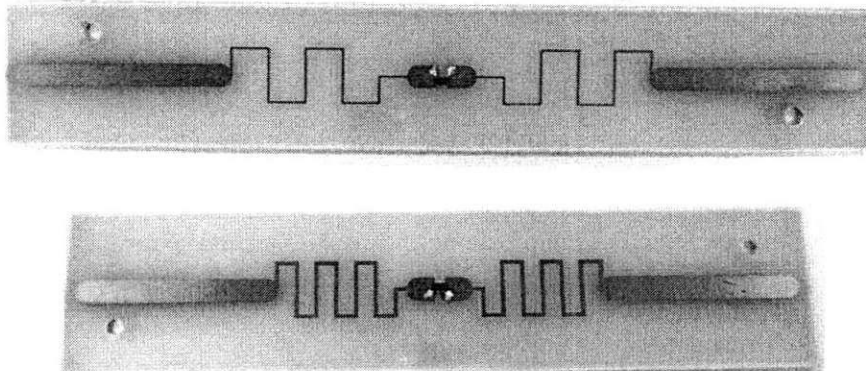


Figura 36. Protótipos dos dipolos realizados

Com esses protótipos, dois tipos de medição foram realizados: um foi da distância máxima de leituras e o outro foi da taxa de leitura por segundo afastando as antenas de

uma distância fixa de 50 cm, colocando-as sobre uma placa de alumínio medindo 250 x 250 mm. As antenas foram afastadas da placa condutora de 2,5 e 3,0 cm utilizando-se dois suportes plásticos. A figura 37 mostra uma foto do esquema utilizado para as medições.

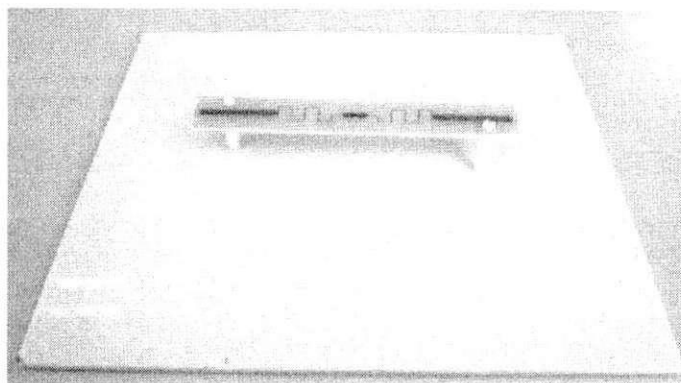


Figura 37. Esquema utilizado para as antenas sobre a placa de alumínio

As tabelas 15 e 16 mostram os resultados obtidos para os dois protótipos. O leitor utilizado foi um leitor RFID UHF do fabricante IPICO (modelo IP3384), porém uma modificação neste leitor foi realizada mudando sua antena por uma antena corneta. A frequência de ressonância foi de 869,4 MHz e todas as medições foram realizadas na câmara anecóica de 4x4 m² do LCIS.

Distância ao metal (cm)	Distância máxima de leitura (cm)	Leituras por segundo (50 cm)
2,5	70,5	130
3	92,0	130
Antena sem metal	65,5	130

Tabela 15. Resultados das medições para a antena com duas “serpentes”

Distância ao metal (cm)	Distância máxima de leitura (cm)	Leituras por segundo (50 cm)
2,5	84,0	128
3	88,0	128
Antena sem metal	66,0	128

Tabela 16. Resultados das medições para a antena com três “serpentes”

Constata-se que quando as antenas estão mais afastadas do metal, a distancia de ativação do chip se torna maior, como esperado para os resultados de simulação, e a taxa de leitura permanece constante quando as antenas são afastadas de 2,5 ou 3,0 cm do metal. Tendo em vista que as antenas foram projetadas para serem adaptadas sobre o metal, o alcance de leitura para elas sem a presença da placa metálica foi menor.

Também foram feitas medições de algumas antenas comerciais do fabricante IPICO para que uma comparação pudesse ser feita com as antenas fabricadas. A foto destas antenas é mostrada na figura 38.

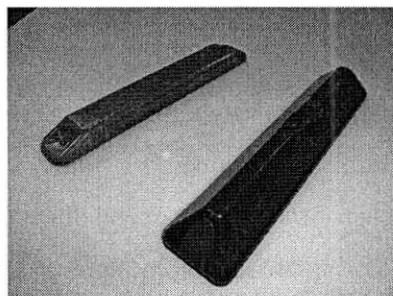


Figura 38. Antenas comerciais para a identificação de objetos metálicos - X4TTO UHF tag (à esquerda) e IP-X UHF tag (à direita)

As antenas são projetadas para funcionar sobre placas metálicas e possuem as referências X4TTO UHF tag (à esquerda) e IP-X UHF tag (à direita). A tabela 17 mostra os resultados das medições para essas antenas.

Antena	Distância máxima de leitura (cm)	Leituras por segundo (50 cm)
X4TTO (esquerda)	128,5	140
IP-X (direita)	132,0	140

Tabela 17. Resultados das medições das tags X4TTO e IP-X

Analisando os resultados, pode-se dizer que as antenas comerciais possuem uma adaptação de impedância melhor que as antenas fabricadas no laboratório pois a distância de leitura é maior, porém com relação à taxa de leitura, os resultados são semelhantes.

8.4.1 Medição do RCS (*Radar Cross Section*)

Após as medições e comparação dos resultados de alcance máximo de leitura e de taxa de leitura por segundo, medições do RCS (*Radar Cross Section*) foram feitas baseando-se na referência [12] que utiliza uma técnica específica para este tipo de medição com antenas RFID. Algumas antenas dipolo comerciais e duas outras antenas que foram fabricadas no LCIS foram medidas. Essa referência utiliza a equação 3 para calcular o RCS:

$$\sigma = |S_{11}|^2 \frac{(4\pi)^3 R^4}{G_T^2 \lambda^2} \quad (3)$$

onde,

R – distância entre a tag e a antena de transmissão,

G_T – ganho da antena de transmissão.

As medições foram realizadas na câmara anecóica (4x4 m²) do LCIS medindo-se inicialmente o S11 da câmara sem a tag e depois com, para que em seguida a subtração dos S11 fosse feita e o resultado obtido fosse utilizado na equação 3.

O esquema utilizado para as medições é mostrado na figura 39.

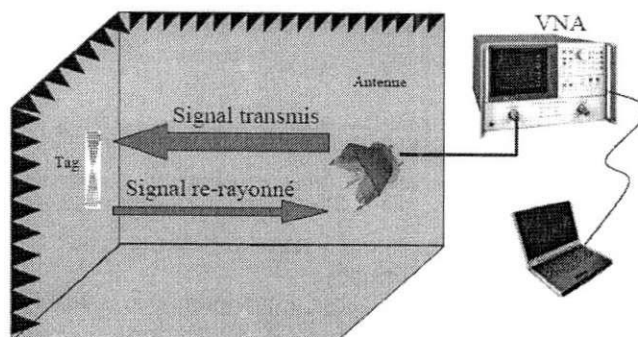
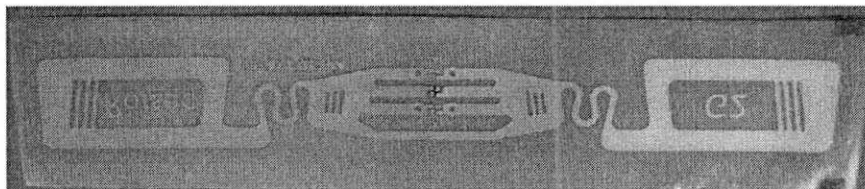


Figura 39. Esquema utilizado para as medições do RCS [12].

A figura das antenas medidas e seus gráficos resultantes são dados abaixo.

A primeira antena RFID medida foi um dipolo do fabricante Rafsec com uma frequência de ressonância de 868 MHz. Sua foto com seu gráfico resultante são mostrados na figura 40.



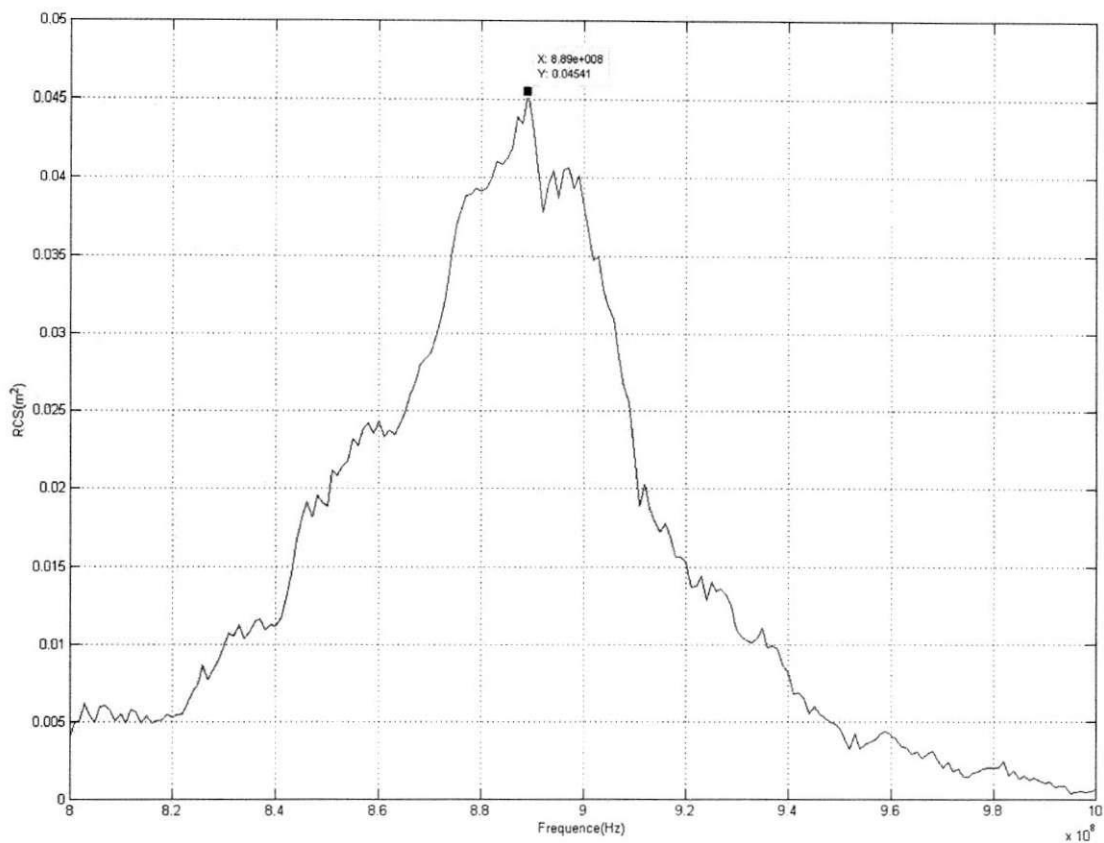


Figura 40. Antena Rafsec ANT ID 178_1 e seu resultado do RCS.

Com esta antena, obteve-se um RCS de 451,1 cm² para uma frequência de ressonância de 889 MHz, que é um resultado aceitável pois o deslocamento em frequência é pequeno.

O resultado para outra antena comercial do fabricante IPICO é dado na figura 41 com sua foto.

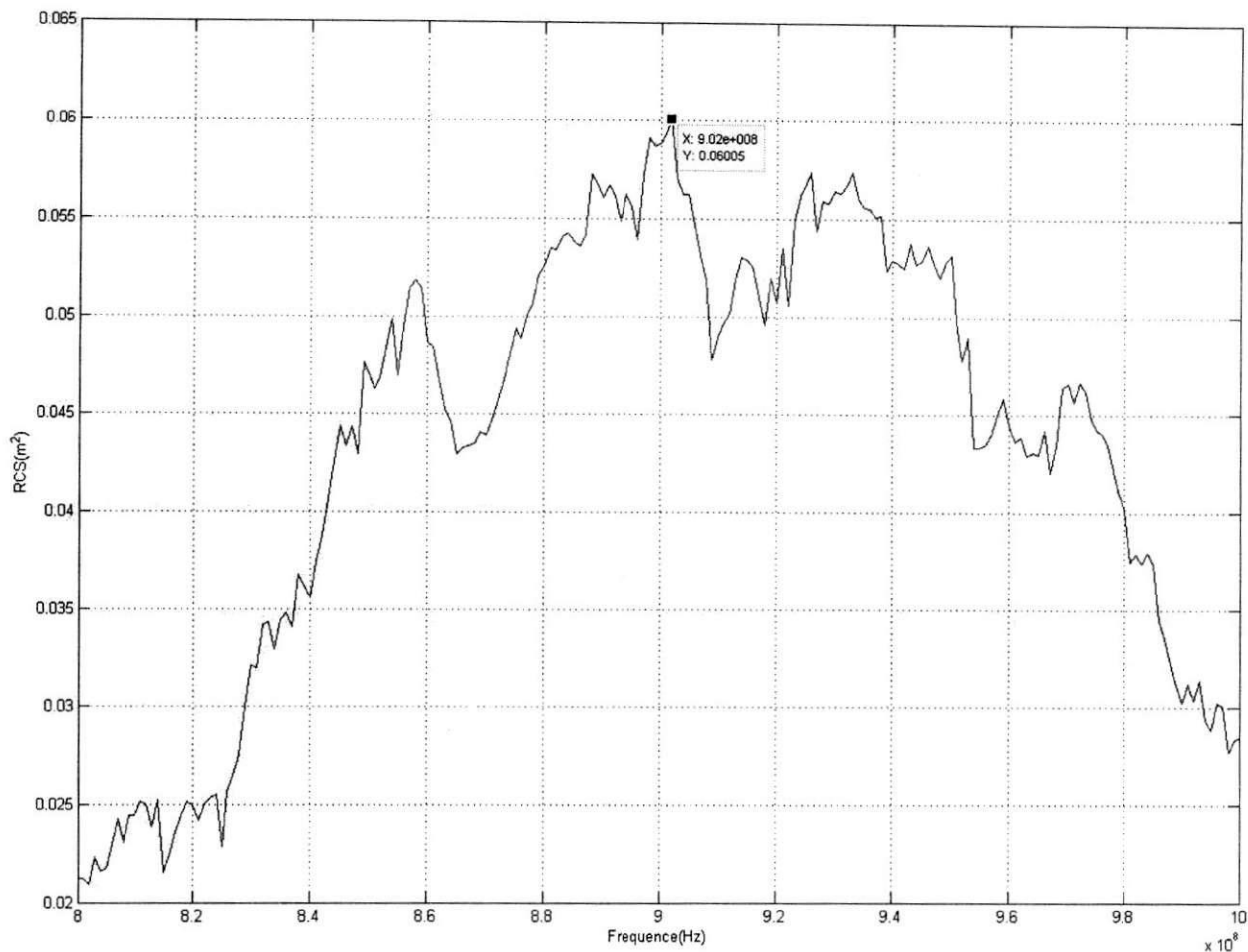


Figura 41. Antena IPICO iP-X2 V4 e seu resultado do RCS.

Para esta antena, obteve-se um RCS de 600,5 cm² na frequência de ressonância de 902 MHz e o fabricante informa que sua frequência é de 869 MHz, assim o resultado é razoável.

Em seguida, medições das antenas dipolo fabricadas no LCIS foram realizadas. Essas antenas possuem a frequência de ressonância de 868 MHz por resultado de simulação. As figuras 42 e 43 mostram suas fotos e seus resultados de medições.

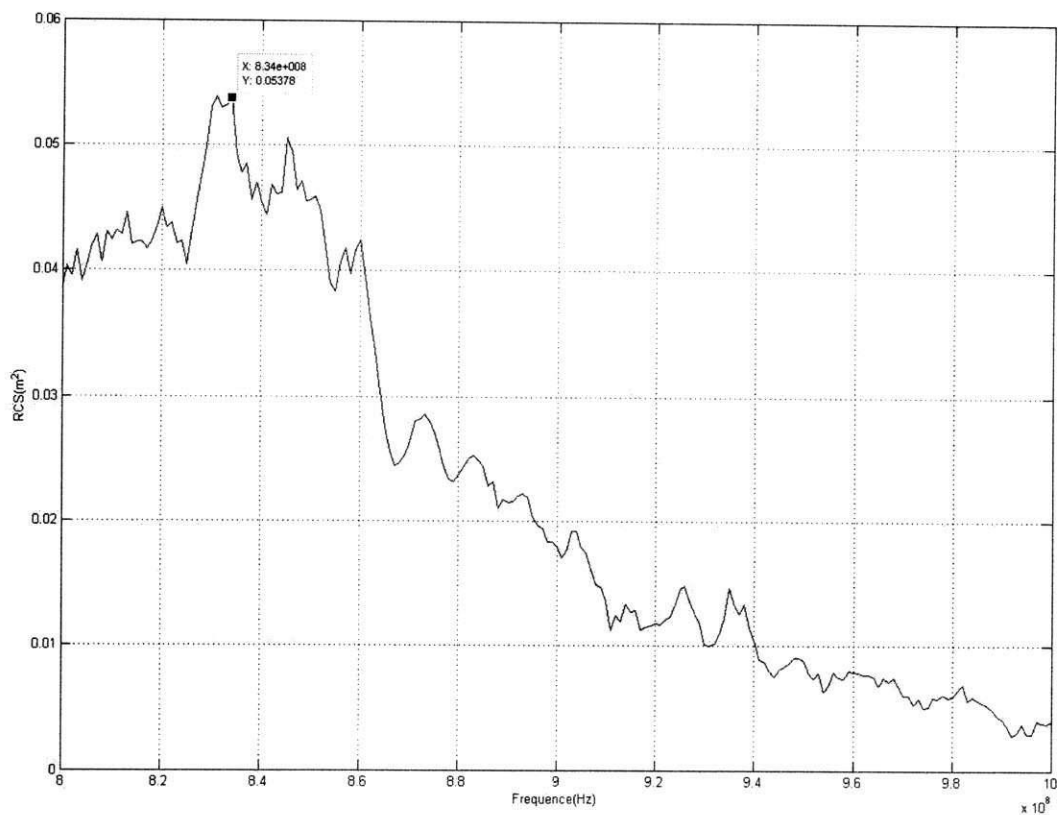
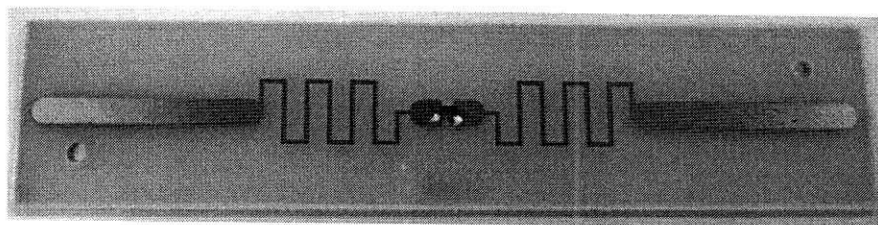


Figura 42. Antena de 3 "serpentes" e seu resultado do RCS.

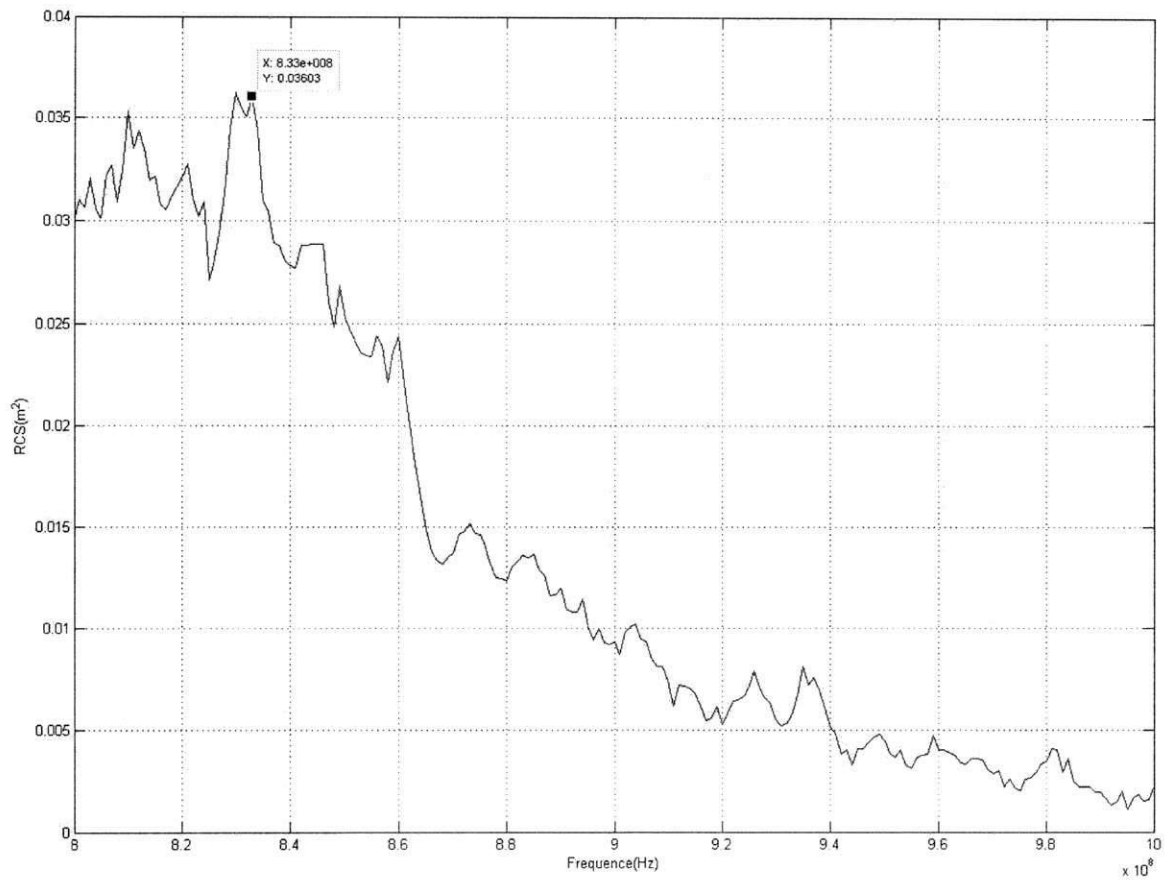
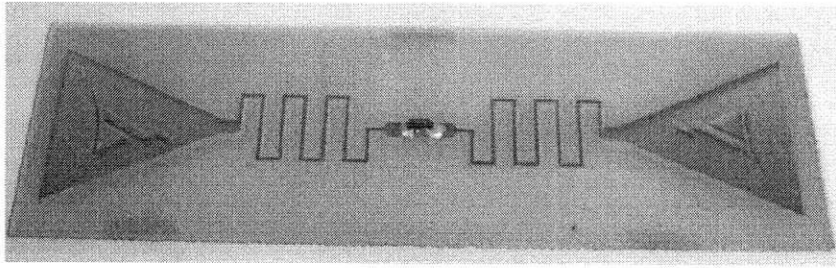


Figura 43. Antena Triângulo e seu resultado do RCS.

Para essas antenas, obteve-se um RCS de 537,8 cm² na frequência de 834 MHz e um RCS de 360,3 cm² na frequência de 833 MHz respectivamente. Estes resultados também são aceitáveis tendo em vista que o deslocamento em frequência não é tão grande.

Com essas medidas, pôde-se medir o RCS das antenas e se assegurar de suas frequências de ressonância utilizando o método descrito em [12]. Os deslocamentos obtidos para as frequências medidas podem ser resultantes de erros de calibração do analisador de rede ou de perdas provocadas pelos cabos.

9 Conclusões e perspectivas

Neste trabalho, um estudo da tecnologia RFID e os efeitos de um plano condutor sobre as antenas RFID foram apresentados. Várias antenas foram realizadas como antenas do tipo patch com alimentação diferencial e as antenas do tipo dipolo dobrado que funcionam sobre um plano condutor.

As antenas do tipo patch já possuem um plano de terra metálico. Elas podem ser colocadas diretamente sobre uma placa metálica sem que seu funcionamento mude, ao contrario das antenas do tipo dipolo que devem ser projetadas para funcionarem um pouco afastadas da placa, pois o metal reflete as ondas incidentes provindas da antena do leitor.

Para a continuação dos trabalhos, a concepção de outras antenas que funcionam sobre um plano condutor é visada como antenas do tipo F-invertido ou com materiais absorventes. Antenas patch com melhores taxas de leitura e alcance de leitura maior, e antenas do tipo dipolo dobrado podendo funcionar o mais próximo possível do metal com uma boa adaptação de impedância são objetos de estudo com o objetivo de melhorar os protótipos apresentados.

10 Referências

- [1] Klaus Finkenzelle, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification", John Wiley & Sons, Second Edition, 2003.
- [2] L. Ukkonen, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "A Novel Tag Design Using Inverted-F Antenna for Radio Frequency Identification of Metallic Objects", Proc. 2004 IEEE/Sarnoff Symp. Advances in Wired and Wireless Communication, Apr. 2004, pp. 91-94.
- [3] L. Ukkonen, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "Patch Antenna with EBG Ground Plane and Two-Layer Substrate for Passive RFID of Metallic Objects", 2004 IEEE International Antennas and Propagation Symposium, June 2004.
- [4] ECCOPAD, website: <http://www.eccopad.com/>
- [5] C-Y. Huang and J-Y. Wu, "Compact Microstrip Antenna Loaded with Very High Permittivity Superstrate", 1998 IEEE International Antennas and Propagation Symposium, June 1998.
- [6] P. Raunonen, L. SydBnheimo, L. Ukkonen, M. Keskilammi and M. Kivikoski, "Folded Dipole Antenna Near Metal Plate", 2003 IEEE International Antennas and Propagation Symposium, June 2003.
- [7] Balanis, C.A., Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [8] Eunni, M. B.: 'A Novel Planar Microstrip Antenna Design for UHF RFID' Relatório de dissertação de Mestrado.
- [9] L. Desclos, "Size Reduction of Planar Patch Antenna by means of Slot Insertion", 2000 MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, Apr. 2000, Vol. 25, No. 2, pp. 111-113.
- [10] P. M. Mendes, M. Bartek, J. N. Burghart, J. H. Correia, "Size Reduction and Tuning of Integrated Folded Patch Antennas Using Slots", 2004 34th European Microwave Conference, pp. 1337-1340.
- [11] K. Gosalia, G. Lazzi, "Reduced Size, Dual-Polarized Microstrip Patch Antenna for Wireless Communications" 2003 IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.51, no. 9, September 2003, pp. 2182- 2186.
- [12] A. Pouzin, T. P. Vuong, J. Perdereau, S. Tedjini, "Etude de la Surface Radar (SER) des tags RFID passifs UHF" 2007 19^{eme} Colloque International "OPTIQUE HERTZIENNE ET DIELECTRIQUES", Septembre 2007.