



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

Concepção de um Aplicativo para Simulações em RFID

Relatório referente ao estágio curricular
do curso de Engenharia Elétrica, sob
orientação do professor R. C. S. Freire.

Orientador: Raimundo Carlos S. Freire
Marcos Eduardo do P. V. Zurita

Campina Grande
2006



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram durante o decorrer do meu estágio.

Agradeço aos membros de órgãos e setores do governo que direta ou indiretamente contribuíram para que a realização do intercâmbio, no qual realizei meu estágio, de maneira especial à Capes.

Agradeço a equipe da ARATEM que me acolheram e permitiram integrar-me perfeitamente como membro de sua equipe.

De forma especial agradeço :

Aos professores Raimundo C. S. FREIRE e Glauco FONTGALLAND, que me integraram no projeto de intercâmbio Capes/Braftec, permitindo-me realizar este trabalho na França, bem como cursar um semestre de disciplinas no INPG/ESISAR em Valence, oportunidades estas que me renderam uma inestimável experiência, que ultrapassa o âmbito profissional.

Ao professores Smail TEDJINI e Tan Phu VUONG, do INPG/ESISAR, que me orientaram em meu estágio de fim de curso, durante meu período de intercâmbio na França.

Ao Sr. Yves PEURIERE e Bruno THUILLIER da equipe da ARATEM, que me acompanharam e me ajudaram em meu estágio.

Ao Sr. Joël SARRAILLON da equipe da ARATEM, que me ajudou diversas vezes na busca por informações sobre a tecnologia RFId.

Índice

1. Introdução.....	5
2. A Empresa : ARATEM.....	7
2.1. O Pôle Traçabilité.....	9
3. A Tecnologia RFId.....	10
3.1. Introdução.....	10
3.2. Elementos Básicos de Um Sistema RFId.....	11
3.2.1. A Estação Base.....	11
3.2.2. O Transponder.....	11
3.3. Fonte de Energia das Tag's.....	12
3.3.1. Tag Auto-Alimentada Assistida Por Bateria.....	13
3.3.2. Tag Tele-Alimentada.....	13
3.4. Frequências de Funcionamento.....	13
3.4.1. Faixa de Frequências de 125 a 135 kHz (LF).....	14
3.4.2. Frequência de 13.56 MHz (HF).....	14
3.4.3. Faixa de Frequências de 400 a 900 MHz (UHF).....	14
3.4.4. Frequência de 2.45 GHz (UHF).....	15
3.4.5. Frequência de 5.8 GHz (SHF).....	16
3.5. Distâncias de Comunicação.....	16
3.6. Condições Ambientais.....	17
3.6.1. Ambiente Metálico.....	17
3.6.2. Ambiente Úmido.....	17
3.6.3. Ambiente Eletromagnético.....	17
3.7. Balanço e Comparação.....	18
3.8. Comunicação Entre a Estação Base e o Transponder.....	18
3.8.1. Ligação Montante (up link).....	18
3.8.2. Ligação Descendente (down link).....	18
3.9. Modos de Funcionamento.....	19
3.9.1. Campo Próximo e Campo Distante.....	19
3.9.2. Campo Próximo.....	20
3.9.2.1. Transferência de Dados.....	20
3.9.2.2. Transferência de Energia.....	21
3.9.3. Campo Distante.....	22
3.9.3.1. Transferência de Dados.....	22
3.9.3.2. Transferência de Energia.....	23
4. O Aplicativo.....	24
4.1. Características.....	24
4.2.1. Radiação de Um Dipólo em Campo Distante.....	26
4.2.1.1. A Inclinação da Antena do Transponder.....	29
4.2.2. Radiação de Uma Antena “Anel Circular” em Campo Próximo.....	30
4.2.2.1. A Inclinação da Antena do Transponder.....	34
4.2.3. Calculo do Campo na Presença de Obstáculos.....	35
4.2.3.1. Obstáculos em Campo Distante.....	36
4.2.3.2. Obstáculos em Campo Próximo.....	42

5. Conclusão.....	45
6. Referências.....	46

1. Introdução

O presente documento destina-se a relatar o trabalho realizado em meu estágio, durante o período de intercâmbio tecnológico que passei na França. O trabalho desenvolvido tratou de aspectos específicos da tecnologia RFID, razão pela qual uma parte significativa do texto ocupa-se em apresentar esta tecnologia e suas características.

A tecnologia RFID utiliza a comunicação por radiofrequência para a troca de dados entre um dispositivo portátil dotado de memória e uma estação de base (geralmente um computador ou leitor portátil). Um sistema RFID é constituído tipicamente de uma *tag*, que contém uma memória de dados, uma antena de comunicação com a *tag* e um controlador que gerencia a comunicação entre a estação de base e a *tag*.

Uma das primeiras aplicações do RFID foi o IFF (*Identification, Friend or Foe*) ainda utilizado na aviação. Entre os primeiros trabalhos publicados podem-se citar os de F. L. Vernon e os Harry Stockman. Estes dois artigos são considerados como sendo os fundamentos da aplicação RFID. Neles são descritos os princípios que são retomados hoje com tecnologias cada vez mais eficientes.

Nos últimos anos os procedimentos de identificação automáticos (*Auto-ID*) tomaram-se muito populares em muitas indústrias de serviço, de logística e de distribuição, de indústria, de sociedades de produção e sistemas de fluxos de material. Procedimentos de identificação automática existem para fornecer informações sobre pessoas, animais, bens e produtos em trânsito.

A introdução dos sistemas de identificação por radiofrequência representou uma verdadeira revolução para vários setores da indústria e do comércio, que se focaliza sobre o procedimento de marcação dos artigos para identificação automática. A tecnologia RFID oferece funcionalidades semelhantes às do código barras, mas com vantagens suplementares, tais como: a capacidade de leitura/escrita, capacidade de memória e a leitura independente da linha de visão entre o leitor e o rótulo.

O objetivo principal deste estágio foi a concepção de um aplicativo capaz de apresentar de maneira simples as principais características dos elementos que podem influenciar a comunicação entre um leitor e uma *tag* RFID, tais como a frequência de trabalho e o

posicionamento relativo entre as antenas ou a presença de obstáculos na região de comunicação.

A criação deste programa veio da necessidade de explicar a pessoas de diferentes setores de conhecimento, que visitam o Centro de Demonstração RFID do *Pôle Traçabilité*, os pontos de influência na comunicação entre tags RFID e o leitor, bem como desmistificar certas idéias erradas a respeito da tecnologia. Outro aspecto deste trabalho é demonstrar a estas pessoas, principalmente as das instâncias de decisão das empresas, que é possível simular o sistema antes de colocá-lo em operação. Este ponto é de grande importância, pois em se tratando de grandes empresas, o montante de investimentos comprometidos na decisão de adotar ou não a tecnologia RFID pode alcançar somas consideráveis.

Após uma apresentação da ARATEM, empresa que me acolheu para a realização do meu estágio de fim de curso, a primeira parte deste documento trata-se de uma introdução à tecnologia RFID e os seus principais aspectos. Em seguida, são abordadas as características do aplicativo concebido, a metodologia empregada na concepção de suas principais partes, bem como a conclusão final da realização deste trabalho.

2. A Empresa : ARATEM

A ARATEM, criada em 1996 e situada na cidade de Valence na França, faz parte de uma rede de seis pólos e agências especializadas em diferentes áreas, distribuídas na região do Rhône-Alpes:

- O *Pôle Productique Rhône-Alpes* (Polo Produtivo Rhône-Alpes - PPRA), criado em 1986, situada em Saint-Etienne;
- O *Centre du Design Rhône-Alpes* (Centro de Desenho Rhône-Alpes - CDRA), criado em 1991, situado em Lyon;
- A *Agence Rhône-Alpes pour la Maîtrise des Matériaux* (Agência Rhône-Alpes para a Medição de Materiais - ARAMM), criada em 1994 e situada em Bourget du Lac;
- A *Agence Rhône-Alpes pour le développement des technologies médicales et Biotechnologies* (Agência Rhône-Alpes para o desenvolvimento de tecnologias médicas e Biotecnologia - ARTEB), criada em 1995 em Lyon;
- A *Agence Rhône-Alpes pour le développement des Industries du Numérique* (Agência Rhône-Alpes para o desenvolvimento das Industrias Digitais - RAN), criada em 2000 em Grenoble.

O objetivo do ARATEM é contribuir para o crescimento da competitividade das empresas da região, trazendo-lhes conselhos e assistência de modo a melhorarem suas técnicas de medição e utilizarem as novas tecnologias disponíveis nos laboratórios de pesquisa.

A fim de reforçar a imagem de excelência científica e tecnológica Rhône-Alpes e a comunicação e as trocas entre os diferentes setores do domínio, a agência efetua várias missões de interesse geral:

- Identificar as necessidades das empresas e indústrias da região do Rhône-Alpes no seu domínio de competência e suscitar inovações que possam supri-las;

- Facilitar às empresas o acesso aos recursos tecnológicos disponíveis nos laboratórios públicos ou privados;
- Identificar e validar a oferta tecnológica dos centros de competências e contribuir para a coordenação das suas ações em relação às necessidades identificadas nas empresas;
- Assegurar, no seu domínio de competência, o papel de órgão consultor e perito para os Poderes Públicos.

Para favorecer o encontro entre industriais, laboratórios, centros técnicos, outros Pólos e agências regionais, e estruturas de desenvolvimento tecnológico, a agência organiza a cada ano um evento onde são discutidas temáticas tecnológicas cujos desafios têm sido previamente exprimidos pelos industriais. Os laboratórios utilizam-se de uma sessão de posters para favorecerem suas trocas com os industriais e comunicarem a eles sobre as atividades gerais das suas equipas, bem como os resultados das investigações em curso.

A agência também identificou temáticas chaves sobre as quais a equipe focaliza as suas ações:

- a medida sem contacto, com a notável utilização da visão industrial
- a tecnologia laser (ação efetuada em paralelo com a agência dos materiais);
- os micros sistemas (MEMS);
- os sensores sem fio, abordando a segurança das transmissões; e o "*know-how*" nos objetos comunicantes;
- a rastreabilidade e a biometria.

Esta última ação é promovida pela ARATEM em todos os trabalhos de interesse geral de guarda tecnológica e divulgação da informação. Sua parte é a de responsável pelo acompanhamento de projetos. Normalização e qualificação são asseguradas pelo *Pôle Traçabilité*, nascidas da associação entre o ARATEM e a ESISAR, 9ª escola do INPG (*Institut National Polytechnique de Grenoble – Instituto Nacional Politécnico de Grenoble*). Hoje, as ações da ARATEM e do *Pôle Traçabilité* encontram-se concentradas em torno das *smart-tags* ou *tags* inteligentes que embarcam sensores em chips RFID.

Esta estruturação dos projetos de inovação toma hoje uma nova dimensão, unindo os cinco eixos de desenvolvimento tecnológicos citados previamente e os clusters mercados

lançados pela região Rhône-Alpes. Os mais conhecidos são os de automóveis e demais veículos automotores, da aeronáutica, e das energias renováveis. Em cada um destes clusters, as agências ARAMM e ARATEM incentivam grupos de inovação tecnológica, fazendo emergir os projetos de desenvolvimento com o objetivo de aumentar a excelência da região.

2.1. O Pôle Traçabilité

O *Pôle Traçabilité* (Pólo Rastreabilidade), cuja vocação é ser um promotor do uso da rastreabilidade, participa na normalização e sensibiliza os poderes públicos de modo a favorecerem a emergência da tecnologia RFID por meio de ajudas à realização de pilotos operacionais.

Sendo um centro de troca e transferência de "*know-how*", o *Pôle Traçabilité* constitui uma rede de competências, à vocação européia, em matéria de investigação, desenvolvimento, formação e transferência para a indústria, e em especial, para a identificação por radiofrequência.

Seu objetivo consiste em ajudar as empresas a acelerar os seus processos de inovação pela utilização das tecnologias e soluções, melhorar a sua competitividade e de acrescentar valor aos seus produtos e serviços, assim como o de melhorar o seu controle de riscos e limitar as suas conseqüências.

Suas principais missões são:

- Comunicar sobre os meios de identificação, de autenticação e em especial sobre a tecnologia RFID e as suas aplicações sensibilizando as empresas aos benefícios que traz;
- Avaliar as necessidades das empresas em matéria de rastreabilidade e ajudá-las na busca de novas soluções;
- Contribuir para a aceleração do processo de normalização;
- Ajudar as empresas a melhor dominar os riscos de contrafação, falsificação, distorção da marca, da rede de distribuição, etc.

O *Pôle Traçabilité* é um pólo de competências neutro, independente, cuja economia geral é sem fins lucrativos e garante uma estrita confidencialidade aos seus interlocutores (fornecedores, utilizadores, consultores).

3. A Tecnologia RFId

A tecnologia RFId, mesmo tendo seu desenvolvimento relativamente recente, envolve varios dominios de conhecimento e tem sido alvo de diversos trabalhos e publicações, tais como (3), (11), (13), (15), (16), (17), (18) e (19).

Neste capitulo é apresentada uma introdução a esta tecnologia, bem como um resumo dos principais pontos, necessarios à compreensão do trabalho realizado.

3.1. Introdução

A identificação por radiofrequência (RFId) é uma tecnologia de identificação automática surgida em meados dos anos cinqüenta mas cuja emergência é relativamente recente.

Esta tecnologia é baseada na emissão de campos eletromagnéticos recebidos por uma antena acoplada a um circuito eletrônico (*transponder* ou *tag*). O campo transporta informações entre a *tag* e o seu leitor, bem como carrega a energia de ativação das mesmas.

Os rótulos RFId são legíveis à distância, sem necessidade de visão direta. Vários rótulos podem ser lidos ao mesmo tempo, o que permite trocas automatizadas e simultâneas de informações com numerosos pacotes ou produtos em movimento. Estes rótulos permitem armazenar milhares de informações cujo conteúdo pode ser alterado arbitrariamente pelos sistemas que a ela se conectam, milhões de vezes.

Cada rótulo é portador de um número de identificador único e infalsificável, gravado no *chip* da *tag* pelo fabricante do *chip* no momento da fabricação. Este identificador é lido sistematicamente por qualquer leitor que entra em comunicação com o rótulo.

Um sistema RFID permite, por conseguinte, escrever, armazenar e apagar informações no *chip* da *tag*. Além da transferência de dados sem contacto, a comunicação via antena permite, igualmente transferências sem visibilidade entre o leitor e o rótulo através de materiais opacos à luz. Esta leitura pode efetuar-se simultaneamente sobre várias *tags*.

3.2. Elementos Básicos de Um Sistema RFID

Um sistema RFID é composto dos vários elementos básicos que existem em todos os casos (independentemente da frequência e da tecnologia utilizada). Estes elementos básicos são: a estação base e o(s) transponder(s), conforme será detalhado adiante.

3.2.1. A Estação Base

A estação base emite ondas de rádio úteis à tag num espaço de alguns centímetros à dezenas de metros, de acordo com a potência da alimentação e a frequência rádio utilizada.

A estação base preenche várias funções. A primeira é assegurar a comunicação com a tag por meio de sinais RF (transferência de dados e eventualmente de energia); a segunda é gerir a aplicação dos protocolos de comunicação e, em certos casos, de controlar as comunicações (evitar as colisões, autenticação, criptografia...); e, por último, a terceira e última função, que assegurada pela base estação, é retransmitir as informações provenientes do transponder para o sistema dito de "supervisão".

Quando uma tag RFID passa no campo eletromagnético, ela detecta o sinal da estação base. O leitor lê os dados codificados no transponder e estes são enviados ao servidor para serem tratados. É possível esquematizar a estação base como mostrado na figura (3.1).

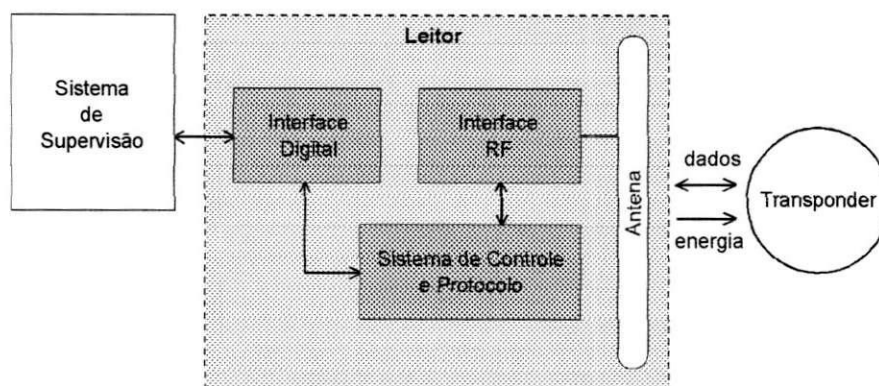


Figura 3.1 – Esquema de uma estação base

3.2.2. O Transponder

O rótulo eletrônico é um dispositivo que combina um circuito de tratamento de sinal, uma memória para o armazenamento dos dados e uma lógica de controle. É geralmente

constituído de um circuito integrado, aplicado sobre um circuito impresso e acoplado a uma antena.

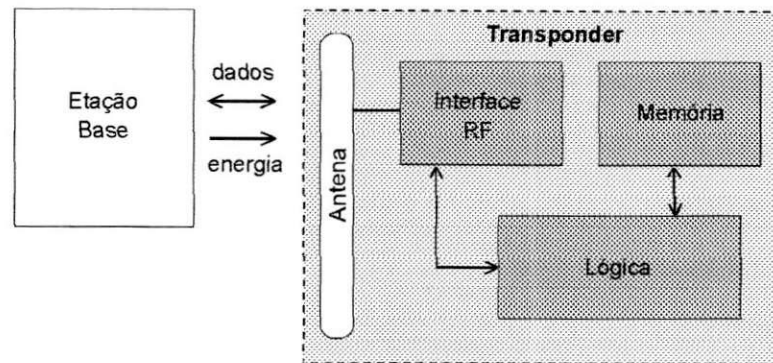


Figura 3.2 – Esquema de um transponder

Freqüentemente chamados "transponder's" (*TRAN*Smitter/*res*PONDER), devido às suas funções de resposta e de emissão, o rótulo - rádio ou *tag* responde a um pedido transmitido pelo leitor e relativo aos dados a que contém. A memória do transponder compreende geralmente uma ROM (*Read Only Memory*), uma RAM (*Random Access Memory*), bem como uma memória programável não volátil para a conservação dos dados de acordo com o tipo e o grau de complexidade do produto. A memória ROM contém os dados de segurança, como também as instruções do S.O. (Sistema Operacional) da *tag*, encarregado das funções básicas, tais como: o prazo de resposta, o controle do fluxo de dados e a gestão da energia. A memória RAM é utilizada para os armazenamentos temporários de dados durante os processos de interrogação e de resposta. A energia necessária para o funcionamento da *tag* pode ser fornecida quer por uma pilha interna (ou bateria) para as *tag's* ativas ou semi-ativas, quer pelo campo eletromagnético emitido pelo leitor (*tag's* passivas), processo este conhecido como "tele-alimentação".

Por conseguinte, é possível esquematizar o transponder de maneira simplificada como mostrado na figura (3.2).

3.3. Fonte de Energia das Tag's

A flexibilidade quanto ao tipo de fonte de energia das *tag's* constitui uma das principais vantagens da tecnologia RFID, sendo até mesmo possível a operação sem nenhuma fonte de energia fixa, como será abordado nessa seção. A possibilidade de se poder ter *tag's* livres de

bateria possibilita uma redução nos custos de sua produção bastante significativos, além de permitir que as mesmas tenham um tempo de vida virtualmente infinito. Estes aspectos foram um dos grandes responsáveis pela rápida disseminação dessa tecnologia.

3.3.1. Tag Auto-Alimentada Assistida Por Bateria

Preferir-se-á esta denominação ao termo "tag ativa" que se revelou ambígua.

Estes tipos de tag's possuem a sua própria energia pela integração de uma pilha ou uma bateria. A recarga desta bateria poderá ser assegurada pelo campo magnético emitido por ocasião dos diálogos com a base estação.

3.3.2. Tag Tele-Alimentada

É preferível esta denominação ao termo "tags passivas" que se revelou ambígua.

As tags tele-alimentadas não possuem uma fonte de energia própria, recebem a sua energia através do campo magnético emitido pela estação base.

3.4. Frequências de Funcionamento

Existem várias faixas de frequências utilizáveis para o RFID. Estas frequências não são exatamente as mesmas utilizadas em diferentes regiões do mundo. Elas podem sofrer pequenas alterações (existem três regiões: Américas, a Europa e a Ásia), bem como as normas de utilização podem variar de uma região à outra. O esquema da figura (3.3) mostra as principais as frequências utilizadas atualmente para os sistemas RFID.

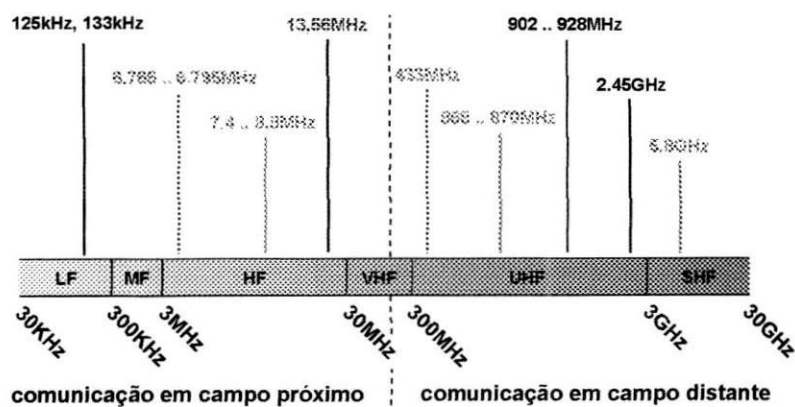


Figura 3.3 – Principais faixas de frequência utilizadas atualmente pelos sistemas RFID

3.4.1. Faixa de Frequências de 125 a 135 kHz (LF)

A faixa de frequência de 125 kHz a 135 kHz é a mais baixa de todas. Trata-se na realidade das frequências inferiores à 300 kHz, também chamadas de baixas frequências ou LF (*Low Frequency*).

Estas frequências foram as primeiras a serem usadas, o que fazem delas as mais difundidas atualmente. Esta faixa de frequência é notavelmente utilizada em aplicações de gestão de cadeias de abastecimento, em meios industriais metálicos e acompanhamento de animais. A utilização desta faixa não necessita de licença, ela permite uma leitura em todos os meios, mas à curta distância (no máximo 1 metro, geralmente cerca de dezenas de centímetros) e apresenta uma taxa de transferência de dados muito baixa.

3.4.2. Frequência de 13.56 MHz (HF)

Trata-se neste caso de elevadas frequências ou HF (*High Frequency*). Numerosas aplicações RFID já utilizam-na para fazer o controle de acesso ou de etiquetas. Esta frequência faz parte da banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) e pode ser utilizada sem licença de lugar.

Apresenta vantagem em relação à de 125 kHz, pois oferece uma taxa de transferência de dados superior, sendo menos dispendiosa, e permite a utilização de antenas menores e, às vezes, flexíveis. No entanto, quando da utilização desta frequência, é necessário privilegiar quer a distância, quer a taxa de transferência, sendo necessário evitar os ambientes demasiadamente metálicos.

3.4.3. Faixa de Frequências de 400 a 900 MHz (UHF)

Estas frequências fazem parte da banda UHF (*Ultra High Frequency*). Esta faixa de frequências pode ser dividida em duas:

- As frequências em torno de 400 MHz, que são utilizadas para numerosas aplicações como controles-remotos de portões ou sondas de temperatura. O fato de existirem muitos sistemas que utilizam esta frequência, cria um grande problema de "poluição" dos sinais, sendo ainda maior que o problema da sensibilidade à presença de metais. Isto deve ser levado em conta. Geralmente os transponders nessa faixa de frequência

são assistidos por bateria, o que permite obter distâncias de leitura bastante elevadas. Apresenta a vantagem, em relação à de 125 kHz, de oferecer uma taxa de transmissão superior, de ser menos dispendiosa e de permitir a utilização de antenas menores e às vezes flexíveis. No entanto, assim como na faixa de 13.56 MHz, quando da utilização desta frequência, é necessário privilegiar, quer a distância, quer a taxa de transferência, fazendo-se necessário evitar os ambientes demasiadamente metálicos;

- As frequências em torno de 900 MHz, ainda em curso de desenvolvimento, mas em diferentes fases de acordo com as regiões do mundo. De fato, enquanto os gigantes americanos como Wal-Mart tentam instaurar um padrão ePC (*Electronic Product Code*) à esta frequência, o Japão proíbe a utilização desta mesma banda de frequências sobre o seu solo. Quanto à Europa, esta fixou limitações bem inferiores às que estão em vigor nos Estados Unidos. Em certos casos como na França, esta frequência já é utilizada pelas aplicações GSM que pode permitir atingir taxas de transferência bem elevadas. Os desempenhos variam de acordo com as normas em vigor e, às vezes, é necessário criar um compromisso entre distância de leitura e a taxa de transferência. O metal continua sendo um elemento perturbador, mas em menor escala. É necessário notar que, a partir desta frequência e para todos os valores superiores as *tags* empregadas são ditas "*tags* microondas".

3.4.4. Frequência de 2.45 GHz (UHF)

Esta frequência encontra-se no final da banda UHF, mas é considerada geralmente como uma frequência que pertence a SHF (*Super High Frequency*) no domínio do RFID. Para esta frequência, o problema da homogeneização das normas ainda persiste, no entanto esta frequência é considerada como "promissora". Ela permite ter uma taxa de transmissão elevada e distâncias médias a grandes de leitura do transponder em função da potência autorizada.

Esta frequência é sensível à água. Com efeito, é absorvida e convertida em calor quando encontra moléculas de água (o princípio de funcionamento do forno microondas). É igualmente necessário precisar que ela já é utilizada para aplicações WI-FI ou Bluetooth.

3.4.5. Frequência de 5.8 GHz (SHF)

Esta frequência faz parte da banda ISM 5.725 - 5.875 GHz. Esta faixa de frequências já é muito utilizada para aplicações que utilizam a detecção de movimento (abertura das portas de supermercado) e muito pouco para a RFID.

Uma norma estava em estudo (Iso 18000-5), mas recentemente foi rejeitada. Será necessário, por conseguinte, uma nova proposta relativa a esta frequência a fim de poder retomar o processo de normalização desde o início.

3.5. Distâncias de Comunicação

Com a tecnologia RFID, a distância de comunicação é influenciada por numerosos parâmetros e qualquer valor indicado a priori é sujeito a comentários. Desta forma, valores ou faixas de valores dependem de cada aplicação.

A distância de comunicação depende, na prática, dos fatores a seguir:

- da frequência de emissão;
- da dimensão da antena da tag;
- do ambiente (presença de obstáculos metálicos ou úmidos);
- da natureza da estação base (fixa ou portátil);
- da orientação do tag;
- da zona de leitura-escrita (recinto fechado, massas metálicas);
- da quantidade de tags no campo de leitura;
- da potência emitida pelo leitor
- da natureza da tag (auto-alimentada ou tele-alimentada);

É importante notar que a distância de escrita é frequentemente mais fraca que a distância de leitura (cerca de 30 % menor), o que se deve ao fato da escrita necessitar de mais energia que a leitura.

	< 150 KHz	13,56 MHz	400-900 MHz	2,45 GHz
Distancias de leitura máximas estimadas	<= 0,8 m	<= 1 m	<= 10 m	<= 10 m

Tabela 3.1 – Estimativas de distancia máxima de leitura de tags passivas

3.6. Condições Ambientais

De acordo com as frequências utilizadas a sensibilidade ao ambiente difere como mostrado no quadro (3.2).

Os campos eletromagnéticos e as ondas rádios são influenciados pela presença de água e de massas metálicas. Em frequências muito elevadas a presença do corpo humano (90% de água) perturba as comunicações.

	< 150 KHz	13,56 MHz	400-900 MHz	2,45 GHz
Imunidade a metais	boa	media	mediocre	mediocre
Imunidade a água	boa	boa	mediocre	ruim
Imunidade ao corpo humano	boa	média	boa	boa

Tabela 3.2 – Sensibilidade ao ambiente

3.6.1. Ambiente Metálico

A sensibilidade ao ambiente aumenta com a frequência, mas de qualquer modo, por princípio, as transmissões em radiofrequência não se propagam através dos recintos metálicos (gaiola de Faraday).

Hoje em dia, há a capacidade de ler uma tag de ferrite em 125KHz no metal.

3.6.2. Ambiente Úmido

A sensibilidade ao ambiente aumenta consideravelmente à frequências muito elevadas (microondas expressas em GHz). À estas frequências, a umidade, e mesmo a presença de seres humanos no campo de leitura, perturba e altera as características de transmissões (fenômenos de reflexão e de absorção).

3.6.3. Ambiente Eletromagnético

As tags podem ser sensíveis aos sinais parasitas eletromagnéticos externos emitidos por outros sistemas no ambiente, mesmo em outras frequências (arranques de motor, lâmpadas fluorescentes, arcos elétricos, telefones sem fios, etc). As normas de CEM (compatibilidade eletromagnética) regulamentam e classificam tais sistemas.

3.7. Balanço e Comparação

A tabela (3.3) resume as características das frequências mais utilizadas.

Características / Frequências	< 135 kHz	13.56 MHz	900 MHz	2.45 GHz
Distancia de leitura / escrita	algumas dezenas de cm	1 m	1 à 10 m	alguns metros
Taxa de transmissão de dados	< 10 kbit/s	> 100 kbit/s	> 100 kbit/s	> 200 kbit/s
Influência de metais	perturbação	perturbação	atenuação	atenuação
Influência da água	nenhuma	nenhuma	atenuação	perturbação
Influência do corpo humano	nenhuma	atenuação	atenuação	perturbação

Tabela 3.3 – Características do sistema RFID para tags tele-alimentadas

3.8. Comunicação Entre a Estação Base e o Transponder

Nesta seção são apresentadas as noções básicas da comunicação entre a estação base, ou leitor, e a tag.

3.8.1. Ligação Montante (*up link*)

Neste tipo de ligação duas coisas são importantes: a transferência de energia e o envio de dados. O transponder irá recuperar a energia e/ou a informação através das linhas de campo magnético que irão atravessar a sua antena.

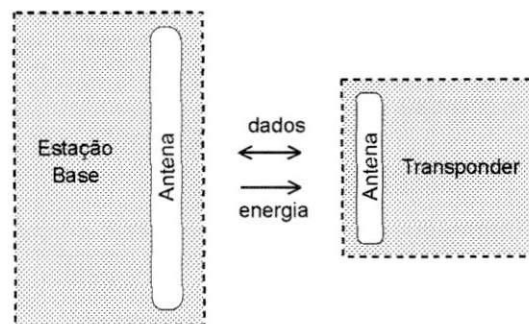


Figura 3.4 – Ligação montante

3.8.2. Ligação Descendente (*down link*)

Nesta ligação, só os dados são transmitidos sob forma de ondas codificadas modulando a portadora.

Os mesmos tipos de codificações e de modulações empregados no caso montante são utilizáveis. Em contrapartida, pouquíssima energia está disponível para se emitir o sinal. Desta forma é necessário utilizar uma codificação e uma modulação que permitam uma boa relação sinal/ruído.

A técnica mais utilizada para comunicar é "a modulação de carga" e, particularmente, a modulação de carga resistiva.

Alterando o valor da sua carga, o transponder faz variar proporcionalmente o consumo de energia que representa no campo magnético. Para a antena da estação base, ligada à antena do transponder por um acoplamento magnético, esta variação de consumo de energia traduz-se numa variação da corrente que circula através dela.

Com efeito, se utilizamos a representação sob a forma de um transformador, o transponder é visto no primário como uma impedância colocada em série com a antena. Uma variação da resistência de carga provoca, por conseguinte, uma variação da corrente que circula na antena da estação base.

3.9. Modos de Funcionamento

Será exposto nesta seção que existem dois grandes princípios de funcionamento para o sistema estação base/transponder. O funcionamento em campo próximo e o funcionamento em campo distante.

3.9.1. Campo Próximo e Campo Distante

A noção de campo próximo ou de campo distante vai depender da distância da antena do transponder em relação à antena da estação base. Existem três zonas possíveis: "região reativa de campo próximo" ou "região de Rayleigh", "região de campo distante" ou "região de Fraunhofer" e uma zona intermédia conhecida como "região de campo próximo radiante" ou "região de Fresnel". O critério de distinção é em função da distância d entre as antenas (da estação base e do transponder), do comprimento de onda λ , inserir espaço da frequência f de operação e da maior dimensão D da antena:

- região reativa de campo próximo (Rayleigh): $0 < d < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$
- região de campo próximo radiante (Fresnel): $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq d \leq 2D^2/\lambda$

- região de campo distante (Fraunhofer): $d \geq 2D^2/\lambda$

Se as dimensões da antena não são grandes frente ao comprimento de onda (que é o caso à 125 kHz e 13.56 MHz), a zona intermédia, “região de Fresnel”, pode não existir. Além disso, no caso de um dipólo curto ou um elemento que irradie de forma semelhante, o limite do campo próximo torna-se $d < \lambda/2\pi$

Para grande parte das aplicações RFID estas restrições são levadas em consideração, o que resulta conseqüentemente na consideração de apenas dois modos de funcionamento possíveis: em campo próximo se $d < \lambda/2\pi$ ou em campo distante, caso contrário. A aplicação deste critério às principais frequências de trabalho da RFID pode ser observada na tabela (3.4).

Frequência	125kHz	13.56MHz	900MHz	2.45GHz
λ	2.4 km	22m	33cm	12cm
Limite entre campo próximo e campo distante	382m	3.5m	5.25cm	1.9cm

Tabela 3.4 – Limites entre campo próximo e distante para diferentes frequências

A distância entre a estação base e o transponder é geralmente inferior a 1 metro para aplicações que operam a 125 kHz ou 13.56 MHz. O funcionamento dar-se-á conseqüentemente em campo próximo. Em contrapartida, para as aplicações a 900 MHz e 2.45 GHz, que oferecem distâncias de leitura de aproximadamente alguns metros, o funcionamento dar-se-á em campo remoto.

3.9.2. Campo Próximo

No caso de um funcionamento em campo próximo ($d < \lambda/2\pi$) é o campo H que nos interessará. Utilizaremos, por conseguinte, as leis de Biot-Savart.

Devem-se distinguir claramente os dois modos de comunicação: a ligação montante (*up link*), que se dá da estação base para o transponder e a ligação descendente (*down link*) que se dá do transponder para a estação base.

3.9.2.1. Transferência de Dados

A transferência de dados faz-se sob a forma de um fluxo de bits codificados modulando a portadora. Diferentes tipos de codificações podem ser utilizadas, tais como a Manchester,

NRZ, Miller, BPLM, etc. Existem igualmente vários tipos de modulações, tais como a ASK e a FSK, por exemplo.

A escolha da modulação e da codificação tem influência direta sobre a transferência de energia da estação base ao transponder.

3.9.2.2. Transferência de Energia

Um transponder indutivamente acoplado comporta um dispositivo de transporte de dados eletrônicos, habitualmente um chip e uma bobina que opera como antena.

Transponders indutivamente acoplados são quase sempre acionados passivamente. Isto significa que toda a energia requerida para o funcionamento do circuito deve ser fornecida pelo leitor (Figura 3.5).

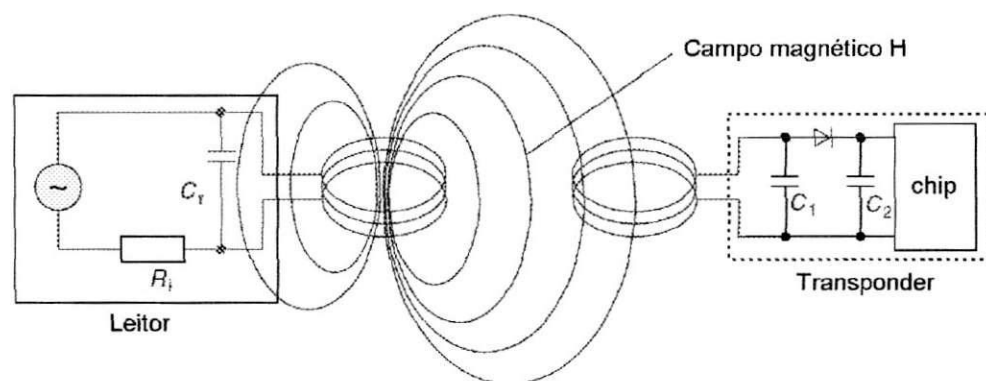


Figura 3.5 – Energia de alimentação de um transponder indutivamente acoplado a partir da energia do campo magnético alternado produzido pelo leitor

Uma pequena parte do campo emitido penetra no enrolamento da antena do transponder que está a uma certa distância do enrolamento da antena do leitor. Uma tensão U_i é produzida no enrolamento da antena do transponder por indutância. Esta tensão é retificada e serve de energia de alimentação ao dispositivo transportador de dados (chip). Um capacitor C_r é ligado paralelamente ao enrolamento da antena do leitor. O valor deste capacitor é escolhido de tal modo que ele forme um circuito ressonante com o enrolamento da antena, correspondente à frequência de transmissão do leitor.

Correntes muito elevadas são produzidas no enrolamento de antena do leitor pela ressonância do circuito ressonante paralelo, que pode ser utilizado para produzir a intensidade exigida no campo para o funcionamento do transponder à distância.

3.9.3. Campo Distante

Neste caso, não interessa mais ao campo magnético H (leis de Biot-Savart), mas campos irradiados E e H e, por conseguinte, o vetor de Poynting.

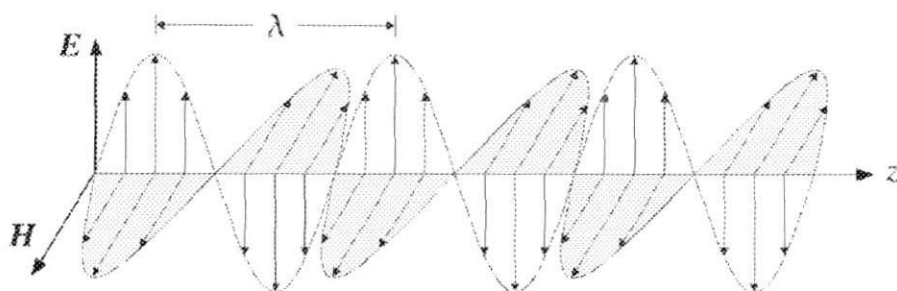


Figura 3.6 – Onda plana uniforme e o vetor de Poynting

É a presença destes dois campos e o seu acoplamento que formam a onda eletromagnética. O esquema seguinte representa a propagação das ondas no caso de antenas isotrópicas.

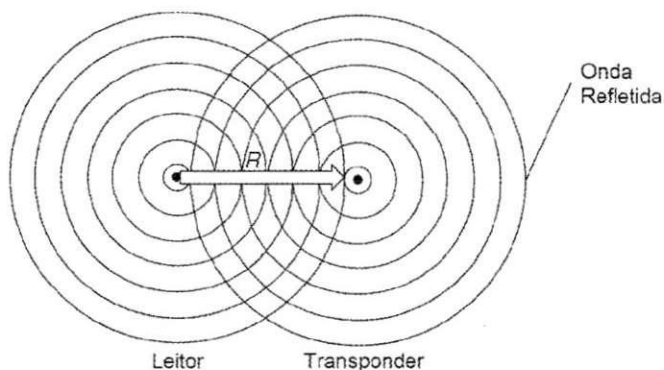


Figura 3.7 – Propagação das ondas para antenas isotrópicas

A representação sob a forma de transformador não é mais possível, uma vez que não há mais o efeito de acoplamento entre as duas antenas.

3.9.3.1. Transferência de Dados

Assim como no modo de funcionamento em campo próximo, os dados são transferidos sob a forma de um fluxo de bits codificados modulando a portadora.

Os mesmos tipos de codificações podem ser utilizados: Manchester, NRZ, Miller, BPLM, etc, assim como os mesmos tipos de modulações: ASK, FSK, etc.

No entanto, é necessário escolher a combinação entre a modulação e a codificação que possa operar sob um nível de potência mínima, a fim de poder trabalhar a uma distância elevada.

3.9.3.2. Transferência de Energia

Os sistemas de RFID, nos quais a distância entre o leitor e transponder é maior que 1 metro, são chamados sistemas à campo distante. Estes sistemas são acionados a frequências UHF de 868MHz (Europa) e de 915MHz (Estados Unidos), e a frequências microondas de 2.5 gigahertz e 5.8 gigahertz. Os comprimentos de onda curtos destas faixas de frequência facilitam a construção das antenas com pequenas dimensões e proporcionam maior eficácia do que para as gamas de frequência inferiores à 30 megahertz.

Utilizando a tecnologia atual de semicondutores à baixa potência, o chip do transponder pode ser produzido para uma potência inferior a $5\mu\text{W}$. Isto significa que onde a potência da transmissão do leitor for $P_e \geq 0.5\text{W EIRP}$ (potência efetiva irradiada em relação a isotrópica), um nível de potência suficientemente elevado é obtido na antena do transponder para o seu funcionamento.

A fim de possibilitar a operação em distâncias de até a 15m ou de poder utilizar chips transponders com maior potência de energia a uma gama aceitável, os transponders de retroreflexão (*backscattering*) têm frequentemente uma bateria de segurança para assegurar a potência no chip.

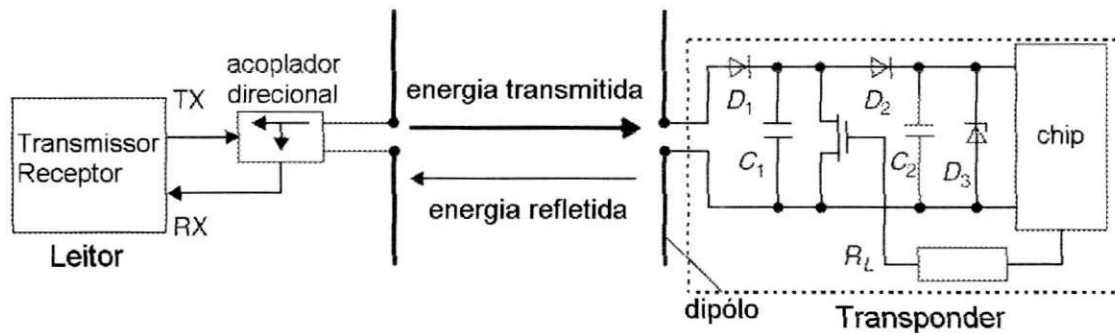


Figura 3.8 - Princípio de funcionamento de um transponder por retroreflexão. A impedância do chip é modulada comutando o FET em paralelo com a antena

4. O Aplicativo

O aplicativo implementado propõe-se a apresentar, de maneira simples, as principais características dos elementos que podem influenciar a comunicação entre um leitor e uma tag RFID, como, por exemplo: a frequência de trabalho, posicionamento relativo entre as antenas, e a presença de obstáculos na região de comunicação. É importante observar que, devido a sua aplicação didática e não científica, sua implementação foi feita visando destacar os resultados qualitativos e não quantitativos. Esta característica é notável na ausência de opções, tais como a de alteração do tipo da tag, ou de antena, independentemente da frequência. Ainda assim, o aplicativo foi feito para que os valores dos resultados observados se aproximem do caso ideal.

De maneira a facilitar a interface com o usuário, o aplicativo foi totalmente concebido em interface gráfica, e de modo que qualquer controle e menus de configuração se restrinjam à mesma janela de simulação. A sua concepção também partiu do princípio de que a simulação deveria ser suficientemente rápida e automática, a fim de que uma modificação na configuração se refletisse imediatamente na análise. Outro ponto importante foi permitir o ajuste de quaisquer parâmetros de análise sem a necessidade do teclado, com cliques simples e movimentos do cursor. Isso tem por objetivo capacitar o aplicativo a ser utilizado tanto em computadores comuns, quanto em terminais de demonstração comandados por telas sensíveis ao toque.

Deste modo, a interface e os recursos à disposição do aplicativo foram feitos de maneira clara e direta, aproximando-se o máximo possível de um aplicativo clássico utilizado no cotidiano, do que de um aplicativo científico, mais difícil em matéria de compreensão.

4.1. Características

O aplicativo concebido é capaz de realizar simulações nas principais frequências de trabalho dos sistemas RFID, ou seja 125KHz, 13.56 MHz, 900 MHz e 2.45 GHz. Para simplificar a análise, o tipo das antenas do leitor e o tag, são atribuídos automaticamente a cada frequência disponível. Para sistemas a 125 KHz ou de 13.56 MHz são supostas antenas

do tipo anel circular (*circular loop*) para o leitor e para o tag, enquanto para sistemas a 900 MHz e 2.45 GHz são supostas das antenas do tipo dipólo curto.

Como o tipo de acoplamento entre a antena do leitor e da tag difere conforme a banda de frequência empregada, as simulações realizadas para sistemas magneticamente acoplados, isto é, a 125 KHz e 13.56 MHz, o programa calcula o coeficiente de acoplamento entre as antenas. Já para sistemas eletromagneticamente acoplados, isto é, 900 MHz e 2.45 GHz, o programa calcula a potência média recebida pela tag.

A posição relativa e a inclinação da antena da tag em relação a antena do leitor, podem ser alteradas na simulação através de dois simples controles localizados abaixo do gráfico principal.

A simulação pode apresentar os valores da distância e o acoplamento/campo irradiado de forma linear ou logarítmica. A escolha de uma escala logarítmica em uma simulação da potência média recebida pela tag faz com que os valores sejam apresentados em dBm, unidade geralmente empregada para este tipo de análise.

O ponto mais controverso à tecnologia RFid talvez seja o seu comportamento na presença de obstáculos na região de comunicação. Por esta razão, o recurso principal deste aplicativo é ser capaz de considerar a presença de tais obstáculos nas simulações. Vários tipos de obstáculos estão disponíveis para a análise. Foram escolhidos como obstáculos materiais comuns do cotidiano, tais como madeira, água, borracha, concreto ou metal. Como a simulação na presença de obstáculos pode ser realizada em qualquer uma das frequências disponíveis, o utilizador pode observar claramente os diferentes comportamentos do sistema, mediante o mesmo obstáculo, às diferentes frequências.

Devido à necessidade da realização de uma grande quantidade de cálculos nas simulações, o Matlab foi escolhido como plataforma de desenvolvimento devido à grande quantidade de recursos matemáticos dos quais dispõe.

4.2. Métodos de Implementação

Esta secção descreve os métodos utilizados na aplicação das partes principais do programa. Não são abordados aqui os algoritmos empregados, mas apenas a metodologia adotada. O código implementado é apresentado integralmente em Anexo.

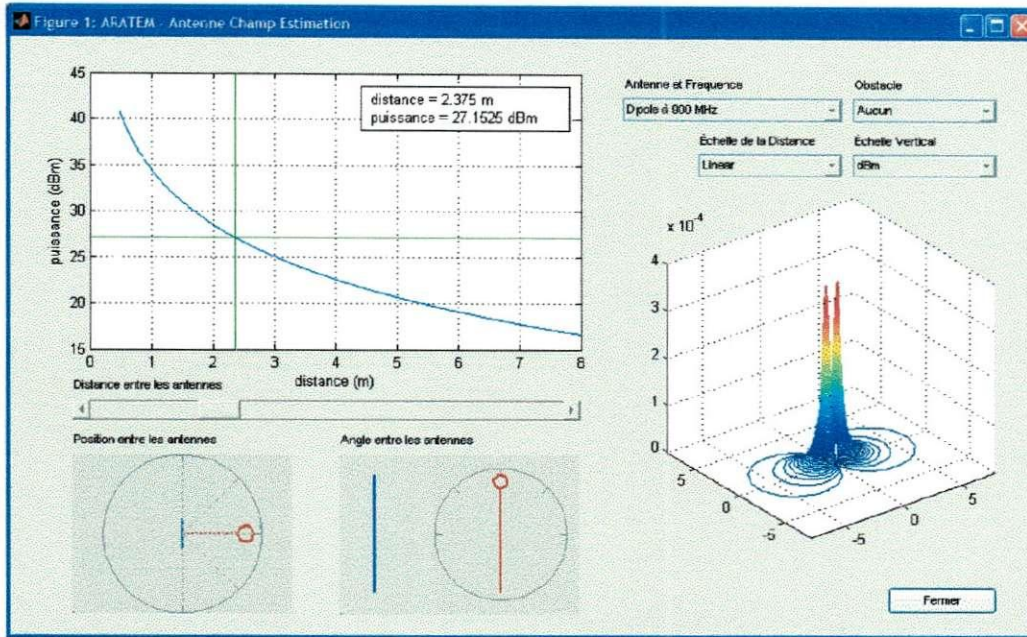


Figura 4.1 - Interface do aplicativo implementado

4.2.1. Radiação de Um Dipólo em Campo Distante

Admite-se inicialmente um dipólo elementar, como apresentado na figura 4.2, onde o seu comprimento d é muito menor que o comprimento de onda do sinal aplicado ($d \ll \lambda$).

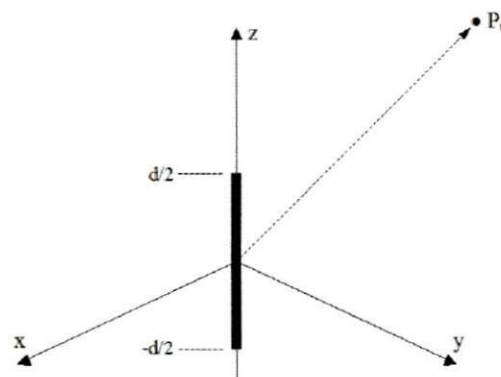


Figura 4.2 - Dipólo elementar localizado ao longo do eixo z

Se admitirmos que o seu diâmetro é muito menor que o seu comprimento, de modo que se possam desprezar os efeitos de borda e que esteja o observador a uma grande distância modo que pode-se também desprezar a presença dos outros condutores, necessários para alimentar a antena, podemos, enfim, definir os componentes elétrico E e magnético H que descrevem o campo em coordenadas esféricas como:

$$\vec{H}(r,\theta) = -\frac{\vec{I} \cdot d}{4\pi} k_0^2 \left[\frac{1}{jk_0 r} + \frac{1}{(jk_0 r)^2} \right] \sin\theta \cdot e^{-jk_0 r} \hat{\phi} \quad [A/m] \quad (4.1)$$

$$\vec{E}(r,\theta) = -\frac{\vec{I} \cdot d}{4\pi} \eta \cdot k_0^2 \left\{ \begin{array}{l} 2 \cos\theta \left[\frac{1}{(jk_0 r)^2} + \frac{1}{(jk_0 r)^3} \right] \hat{r} + \\ \sin\theta \left[\frac{1}{jk_0 r} + \frac{1}{(jk_0 r)^2} + \frac{1}{(jk_0 r)^3} \right] \hat{\theta} \end{array} \right\} e^{-jk_0 r} \quad [V/m] \quad (4.2)$$

onde:

$$k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$$

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

d = comprimento do dipólo

I = corrente na antena

θ = ângulo de observação do campo em relação a antena

Na região de campo distante onde $k_0 r \gg 1$, subsistem apenas duas componentes dos campos que asseguram a radiação:

$$\vec{H}(r,\theta) = j \frac{\vec{I} \cdot d}{4\pi} \left(\frac{e^{-jk_0 r}}{r} \right) k_0 \sin\theta \hat{\phi} \quad [A/m] \quad (4.3)$$

$$\vec{E}(r,\theta) = j \frac{\vec{I} \cdot d}{4\pi} \left(\frac{e^{-jk_0 r}}{r} \right) k_0 \eta \sin\theta \hat{\theta} \quad [V/m] \quad (4.4)$$

A radiação em campo distante assemelha-se muito a uma onda plana, cuja intensidade diminui proporcionalmente a $1/r$. Se calculamos o valor médio do vetor de Poynting, teremos:

$$\vec{P}_{ave}(r,\theta) = \text{Re} \left[\vec{E} \times \vec{H}^* \right] = \frac{(I \cdot d)^2}{32\pi} k_0^2 \eta \frac{\sin^2\theta}{r^2} \hat{r} \quad [W/m^2] \quad (4.5)$$

que resulta em uma potência irradiada total dada por:

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi (\vec{P}_{ave} \cdot \hat{r}) r^2 \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi = \frac{1}{2} R_r I^2 \quad (4.6)$$

onde o termo R_r é definido como resistência de radiação, conforme adiante segue:

$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2 \quad (4.7)$$

O ganho encontrado é

$$G(\theta, \varphi) = \frac{4\pi \cdot r^2 \overline{P_{ave}}}{P_r} = \frac{3}{2} \sin^2\theta \quad (4.8)$$

A amplitude de radiação de meia-potência encontrada na equação (4.8) é de 90° . A equação (4.8) indica também que o modelo de radiação é constante em φ , e descreve um toróide como mostrado na figura 4.3.

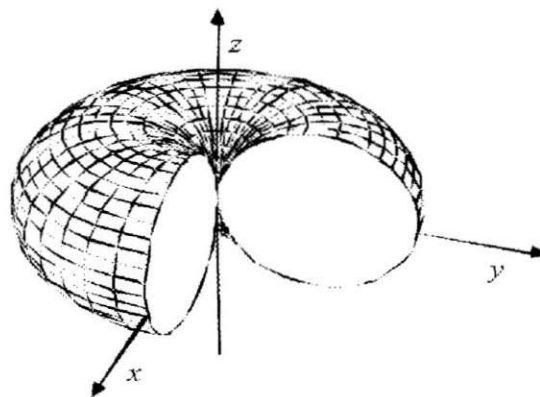


Figura 4.3 – Campo irradiado por um dipólo elementar

Assim, é possível calcular a potência média do campo eletromagnético irradiado pelo dipólo em qualquer ponto do espaço, desde de que se trate de um ponto em campo distante, através da equação (4.5). Tal equação pode, então, ser empregada no aplicativo como base para as análises em UHF, desde que não haja obstáculos no ambiente de comunicação. Torna-se suficiente aplicar a distância e o ângulo de deslocamento da tag em relação a antena do leitor como sendo os valores de r e φ , respectivamente. No entanto, devido à necessidade de considerar a presença de obstáculos, as simulações em UHF tomam como base a equação (4.4), como será mostrado adiante, na secção (4.2.3.1).

4.2.1.1. A Inclinação da Antena do Transponder

Como foi mostrado na secção precedente, o campo eletromagnético irradiado por um dipólo em campo distante assemelha-se muito a uma onda plana uniforme. A equação (4.5) mostra que a direção do vetor de poynting possui sempre a mesma orientação do vetor $\hat{\theta}$. Isto quer dizer que, se fixarmos o ângulo de inclinação da tag em relação ao vetor \hat{r} que liga o centro da antena do leitor ao centro da antena da tag, o vetor de poynting atingirá a tag sempre com o mesmo ângulo de inclinação. Desta forma, a influência da inclinação da antena da tag relativa a antena do leitor, é um fator que não depende da posição relativa entre as antenas (θ), mas apenas da própria inclinação. Tal relação é definida como:

$$\vec{P}_{ave} = P_{ave0} \cdot \cos(2 \cdot \alpha) \quad (4.9)$$

Onde α é a inclinação da antena da tag, como mostrado na figura (4.4), e \vec{P}_{ave0} é a potência média por metro quadrado recebida pela antena da tag desprezando-se a sua inclinação ($\alpha = 0$).

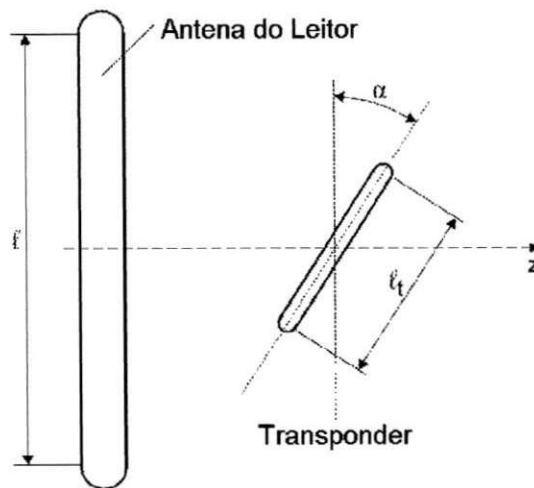


Figura 4.4 - Inclinação da antena da tag em relação a antena do leitor

A equação pode, assim, ser completamente definida para o cálculo da potência recebida pela tag como:

$$\vec{P}_{ave} = \frac{(Idl)^2}{32\pi^2} k^2 \eta \cdot \frac{\sin^2 \theta}{r^2} \cos^2 \alpha \cdot \hat{r} \quad (4.10)$$

4.2.2. Radiação de Uma Antena “Anel Circular” em Campo Próximo

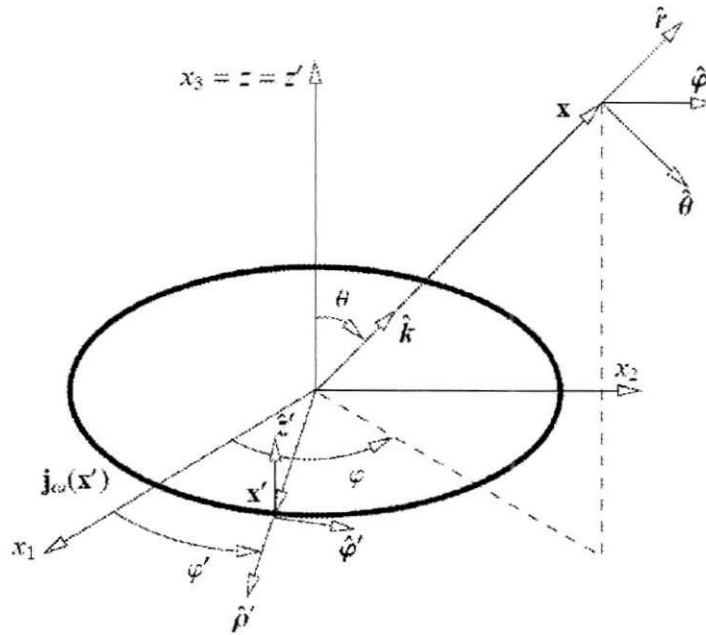


Figura 4.5 – Antena tipo anel circular no sistema de coordenadas esféricas

O campo magnético produzido por uma antena do tipo anel circular, percorrida por uma corrente alternada de frequência ω , no ponto \vec{x} do espaço, conforme representado na figura (4.5), pode ser definido por:

$$\vec{B} = \frac{-j\mu_0 e^{jkx}}{4\pi x} \int_V d^3x' e^{jkx'} \{I_0 \cos\phi' \delta(\rho' - a) \delta(z') \hat{\phi}'\} \times \vec{k} \quad (4.11)$$

Infelizmente tal equação não pode ser resolvida pelos métodos tradicionais e as abordagens encontradas da sua solução não fornecem bons resultados para regiões muito próximas da antena. O fato dos sistemas RFID em LF e HF operarem, em grande parte, com pequena distância entre a tag e a antena do leitor, torna impraticável a utilização de tais abordagens.

A solução encontrada foi considerar o anel como um polígono regular de n lados. Cada um dos lados do polígono é considerado como um segmento linear de fio percorrido pela corrente de alimentação da antena \vec{I} , irradiando uma parte do campo magnético total, conforme ilustrado na figura (4.6).

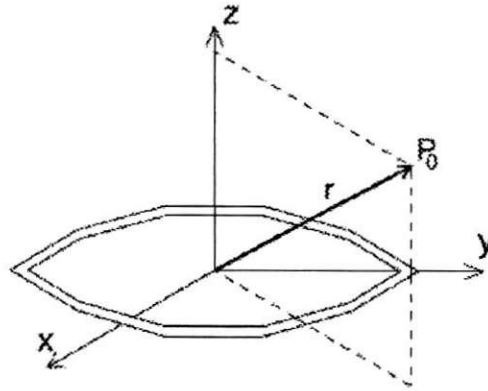


Figura 4.6 – Aproximação de uma antena tipo anel circular por um polígono simétrico de n lados

Para evitar efeitos de borda entre cada segmento, supõe-se que todos são ligados aos segmentos consecutivos, ou seja, que todos fazem parte de um único fio. Desta maneira, cada segmento é considerado separadamente, como ilustrado na figura (4.7).

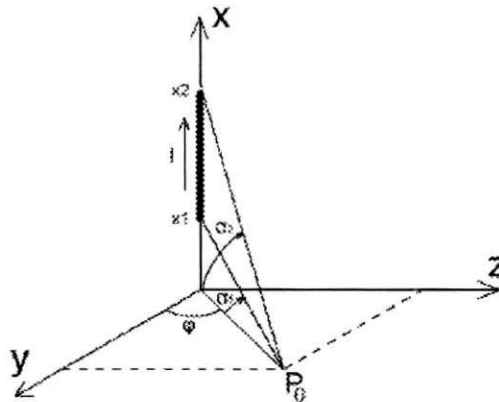


Figura 4.7 - Segmento linear de fio percorrido por uma corrente \vec{I}

Supondo que tal segmento esteja sobre o eixo x , e tomando o sistema de coordenadas cartesianas, pode-se determinar através da lei de Biot-Savart, o campo magnético no ponto P_0 , como sendo:

$$\vec{H}(P_0) = \frac{I e^{-ik\sqrt{y^2+z^2+x_1^2}}}{4\pi(y^2+z^2)} (\text{sen}\alpha_2 - \text{sen}\alpha_1)(z\hat{y} + y\hat{z})$$

No entanto, o sistema de coordenadas de cada um dos elementos difere na posição da origem e na orientação do sistema de coordenadas da antena, aqui chamado de sistema de coordenadas global, como ilustrado na figura (4.8).

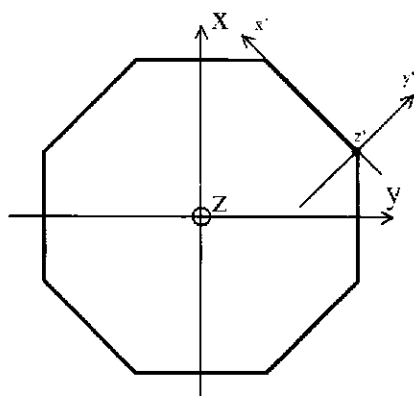


Figura 4.8 – Deslocamento do sistema de coordenadas de um segmento em relação ao sistema de coordenadas global

Com o propósito de diferenciar as coordenadas de cada um dos sistemas, denotaremos (x, y, z) as coordenadas no sistema global, e (x', y', z') as coordenadas no sistema do segmento, ou no “sistema local”. Neste caso a equação que descreve o campo produzido por cada segmento passa a ser:

$$\vec{H}(P) = \frac{I \cdot e^{-ik\sqrt{y'^2+z'^2+x'^2}}}{4\pi(y'^2+z'^2)} (\text{sen}\alpha_2 - \text{sen}\alpha_1) (z' \hat{y}' + y' \hat{z}') \quad (4.12)$$

Assim, para um ponto no espaço, nas coordenadas globais, o programa calcula inicialmente as coordenadas correspondentes nos sistemas de coordenadas locais de cada um dos segmentos. Em seguida, é calculado o campo produzido por cada um dos segmentos no ponto dado e cada resultado vetorial é deslocado para o sistema de coordenadas global. Finalmente, cada contribuição é somada, e obtém-se o vetor resultante do campo irradiado por todos os segmentos neste ponto.

Como se pode observar, tal abordagem torna-se tanto melhor quanto maior o número de lados do polígono adotado para o cálculo. Contudo, este aumento também aumenta o tempo de simulação necessário para calcular o campo em cada ponto.

O esforço necessário para a aplicação deste método é compensado pela capacidade de poder arbitrar o nível de precisão desejada e, principalmente, por permitir o cálculo do campo magnético em qualquer que seja o ponto do espaço, independente da distância da antena. É interessante observar, que tal método permite a determinação não somente do campo

produzido por uma antena do tipo anel circular, mas também por uma antena do tipo anel quadrado ($n = 4$), por exemplo.

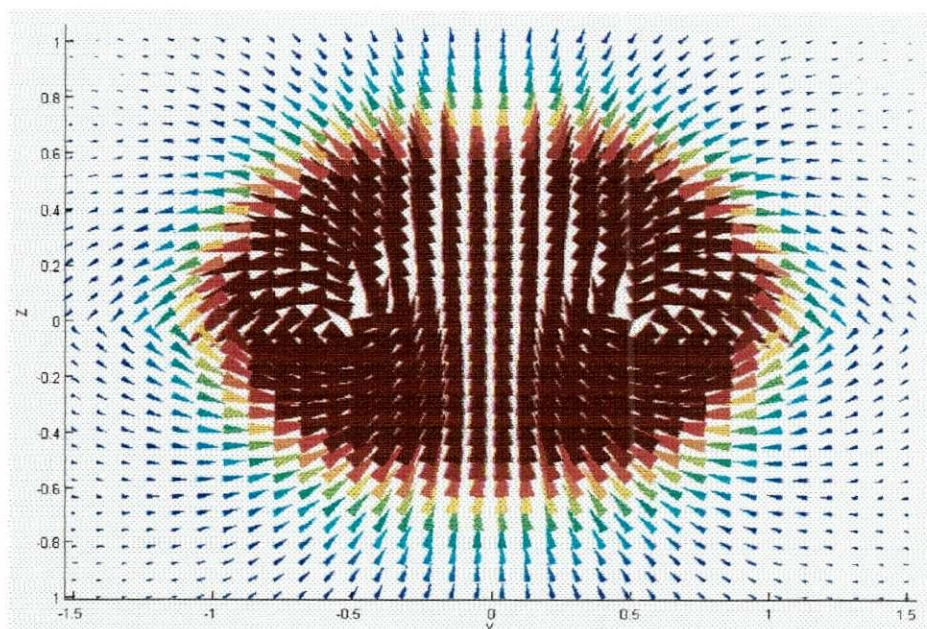


Figura 4.9 - Campo vetorial obtido para $n = 360$. O campo foi calculado no plano $\theta = 0$, normal ao plano da antena descrita na fig 4.6, cujo fio passa pelos pontos $(y = -0,5, z = 0)$ e $(y = 0,5, z = 0)$.

Devido ao esforço exigido pela aplicação de tal método, torna-se inviável utilizá-lo dinamicamente no programa, isto é, com os cálculos sendo feitos no momento em que o utilizador realiza alguma modificação nos parâmetros da simulação. Por esta razão, um programa distinto do programa de simulação foi criado. Tal programa calcula de antemão uma grande gama de valores das componentes do campo em vários pontos do espaço. Isso ocorre de acordo com o conhecimento prévio dos limites de cálculo empregados nas simulações, armazenando-os num arquivo, sob forma de uma grande tabela. Esta tabela é carregada pelo programa quando este é iniciado. Desta maneira, sempre que um parâmetro de simulação é alterado, o programa apenas obtém os valores dos vetores nos pontos correspondentes na tabela e os apresenta sem a necessidade de quase nenhum cálculo.

A técnica de utilização de tabelas com valores prévios é conhecida como *look-up-table method*.

Considerando uma tag cuja antena também é um anel circular e que um campo magnético de intensidade H , produzida pela antena do leitor, chega sobre ela, podemos determinar a indutância mútua entre as antenas através da equação:

$$M_{12}(z) = \frac{\mu_0 \cdot H(I_1, z) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} \quad (4.13)$$

onde N_2 e A_2 são o número de espirais da antena e a superfície da antena da tag, respectivamente.

Se admitirmos que o diâmetro do fio da antena d é muito menor que o raio da antena R , podemos calcular a indutância de cada uma das antenas através da equação (4.14).

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot R \cdot \ln\left(\frac{2R}{d}\right) \quad (4.14)$$

Finalmente, é possível calcular o coeficiente de acoplamento entre as antenas do leitor e da tag através da equação:

$$k = \frac{M_{12}}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (4.15)$$

onde L_1 e L_2 são as indutâncias da antena do leitor e da tag, respectivamente.

4.2.2.1. A Inclinação da Antena do Transponder

Na região de campo próximo, como foi mostrada na seção anterior, a orientação do campo magnético altera-se conforme a posição no espaço, de forma complexa e diferentemente do caso em campo distante estudado na seção (4.2.1.1). Na região de campo próximo, a inclinação da tag deve ser comparada com a direção do campo magnético em cada ponto.

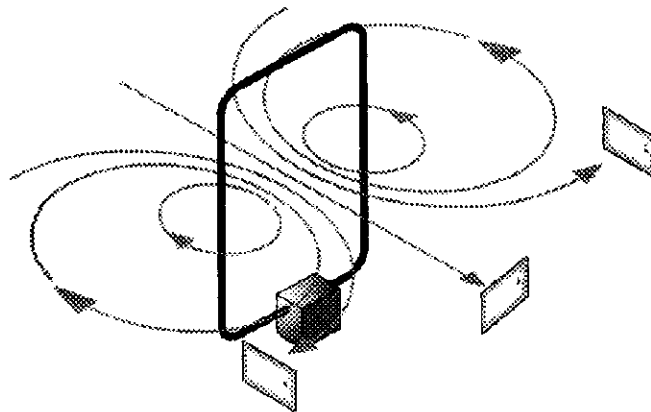


Figura 4.10 - Direções do campo magnético em diferentes posições do espaço

Supondo que num ponto do espaço, o ângulo formado entre o vetor campo magnético e o plano da tag é α , a intensidade do campo magnético total \overline{H} incidente sobre a tag em relação ao campo incidente, sobre uma tag normal ao campo ($\alpha = 90^\circ$), é dada por:

$$\overline{H} = \overline{H}_0 \cdot \sin \alpha \quad (4.16)$$

A figura 4.11 apresenta a curva de acoplamento entre as antenas do leitor e do tag, para uma tag colocada em $\theta=30^\circ$ e inclinada com $\alpha=30^\circ$, numa frequência de 13.56MHz. O ponto de mínimo observado na curva, próximo a 3.8m, indica o ponto no espaço onde o campo está quase que totalmente tangente à antena de tag.

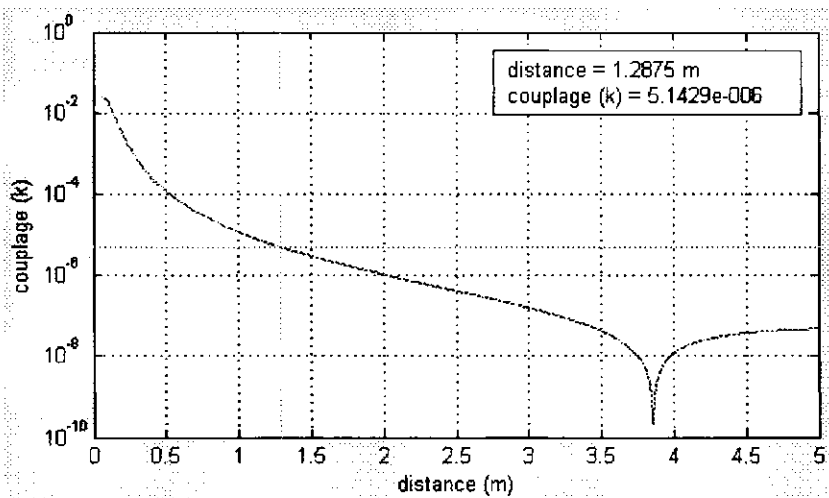


Figura 4.11. – Acoplamento entre as antenas do leitor e da tag, para uma tag posicionada ao longo do eixo $\theta = 30^\circ$ e inclinada em $\alpha=30^\circ$, numa frequência de 13.56MHz.

4.2.3. Cálculo do Campo na Presença de Obstáculos

Obstáculo é qualquer objeto que esteja nos arredores da antena do leitor e/ou da tag. É importante observar que o conceito de obstáculo aqui introduzido não se restringe apenas a objetos localizados na visada direta, entre antena do leitor e a tag. Um objeto localizado após a tag, em relação ao leitor, é também considerado um obstáculo, tendo em conta que o mesmo pode causar perturbações no campo irradiado pelo leitor.

Tecnicamente, um obstáculo é um elemento do qual o meio difere do meio de transmissão adotado. Para uma transmissão realizada no ar, um aquário localizado nas proximidades das antenas do emissor e do receptor é considerado um obstáculo, enquanto

para uma transmissão realizada dentro da água, uma grande bolha de ar seria considerada um obstáculo.

Os efeitos causados pela presença de obstáculos na comunicação entre o leitor e a tag dependem diretamente do meio do qual o mesmo é constituído. Desta forma, esta secção expõe, de forma sucinta, a formulação matemática para calcular tal efeito, assim como uma análise sobre as propriedades de alguns meios.

4.2.3.1. Obstáculos em Campo Distante

Toda a simulação do campo irradiado em campo distante, por uma antena dipolo na presença de um obstáculo, é feita considerando-se que o campo eletromagnético irradiado é uma onda plana uniforme. Admite-se também, que o obstáculo é suficientemente grande de forma que todo o campo que possa possivelmente chegar a uma tag localizada após o obstáculo, tenha obrigatoriamente que atravessá-lo. Finalmente, admite-se que o obstáculo é completamente constituído por um meio uniforme e que a sua superfície é perfeitamente lisa e normal ao vetor, cuja origem é o centro do dipolo, conforme ilustrado na figura (4.12).

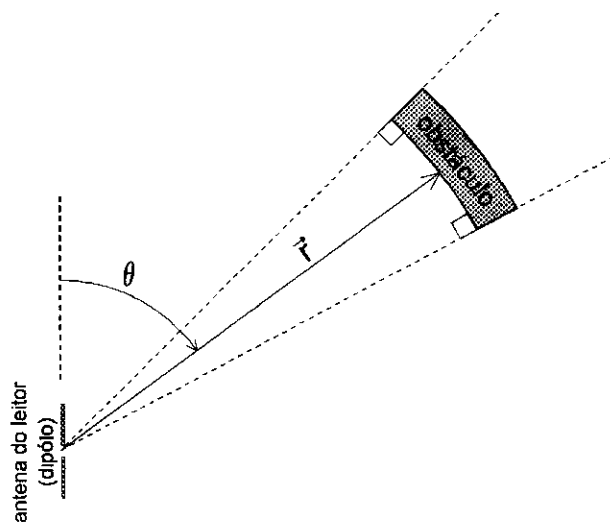


Figura 4.12 – Obstáculo em campo distante

Esta última consideração implica que todo o campo irradiado pela antena do leitor que encontra o obstáculo, chega normalmente até ele, isto é, forma um ângulo de 90 graus com o plano da sua interface. Considerar que todo campo que atinge o obstáculo atinge-o normalmente, simplifica consideravelmente o cálculo do campo total incidente sobre a tag, uma vez que a reflexão tem exatamente a mesma direção do campo incidente, apenas com o

sentido inverso. Isto quer dizer que, se conhecermos a equação que define o campo refletido, poderemos determinar o campo resultante simplesmente somando-se diretamente o campo incidente e o refletido, já que os vetores possuem a mesma direção.

Por conveniência, foram definidas três regiões de cálculo, como mostrado na figura (4.13). Deve-se observar que as regiões 1 e 3, isto é, antes e após o obstáculo, são consideradas semi-infinitas, de modo que na região 1 não haja nenhum outro campo refletido, senão pelo obstáculo, e que na região 3 exista apenas o campo transmitido através do obstáculo.

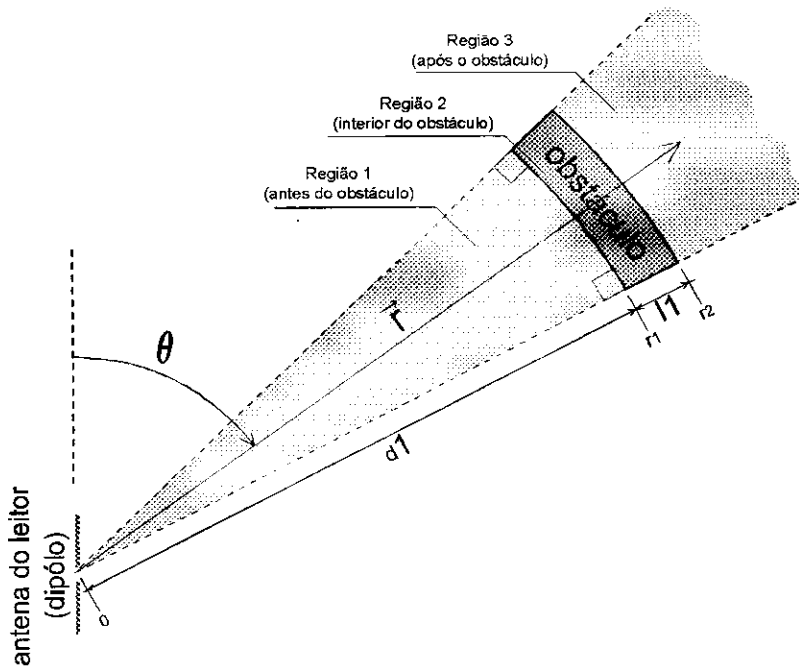


Figura 4.13 – Diferentes regiões de cálculo

Analisando inicialmente a interface entre as regiões 1 e 2, isto é, a interface ar/obstáculo, e supondo que o cálculo é realizado ao longo do vetor \vec{r} , podemos observar a região de interface de maneira mais detalhada, como mostrado na figura (4.14).

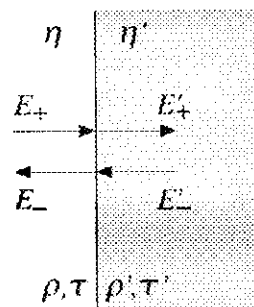


Figura 4.14 – Região de interface com o obstáculo

Os vetores \vec{E}_+ e \vec{E}'_+ indicados na figura, são os campos elétricos incidente e transmitido, respectivamente. O vetor \vec{E}_- é a soma dos campos elétricos de direção oposta ao incidente, presentes dentro do obstáculo. O vetor \vec{E}'_- é a adição do campo elétrico refletido com a parte transmitida do campo elétrico interno ao obstáculo. Os coeficientes ρ e τ são os coeficientes de reflexão e transmissão do meio η para o meio η' , isto é, do ar para o obstáculo. De forma análoga, os coeficientes ρ' e τ' são os coeficientes de reflexão e transmissão do meio η' para o meio η , isto é, do obstáculo para o ar.

O coeficiente de reflexão ρ define a proporção do campo incidente do meio η para o meio η' que será refletido de volta para meio η . Desta maneira, se $|\rho| = 1$, concluímos que o obstáculo comporta-se como um espelho perfeito para a frequência analisada, refletindo totalmente o campo elétrico sobre ele incidente. O coeficiente de reflexão de cada um dos meios pode ser determinado através das equações (4.17) e (4.18).

$$\rho = \frac{\eta' - \eta}{\eta' + \eta} \quad (4.17)$$

$$\rho' = \frac{\eta - \eta'}{\eta' + \eta} \quad (4.18)$$

O coeficiente de transmissão τ define a proporção do campo incidente do meio η para o meio η' , que é transmitido para o meio η' . Desta maneira, se $\tau=1$, concluímos que o obstáculo é perfeitamente transparente ao campo para a frequência analisada. O coeficiente de transmissão de cada um dos meios pode ser determinado através das equações (4.19) e (4.20).

$$\tau = \frac{2\eta'}{\eta' + \eta} \quad (4.19)$$

$$\tau' = \frac{2\eta}{\eta' + \eta} \quad (4.20)$$

O primeiro meio é, como sabemos, o ar. Neste caso, o índice refração é $\eta = \eta_0$. O índice refração de qualquer meio isotrópico pode ser calculado através da equação:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} (1 - j \cdot \tau_p)^{-1/2} \quad (4.21)$$

onde τ_p e ε são a tangente de perdas e a permissividade do meio, respectivamente.

Analisando a região 2, isto é, o interior do obstáculo, observa-se que, por se tratar de uma região finita, limitada por duas interfaces, existe a possibilidade de se ter múltiplas reflexões internas a ele. Este comportamento é ilustrado na figura (4.15).

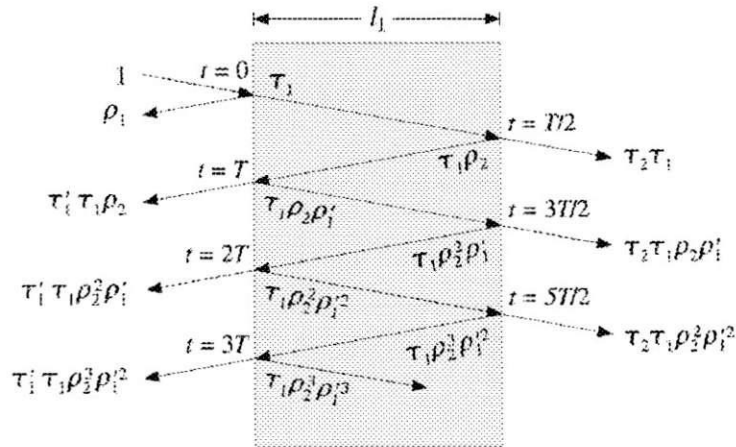


Figura 4.15 – Múltiplas reflexões no interior do obstáculo

Como o meio das regiões 1 e 3 são o mesmo (o ar), os coeficientes apresentados na figura (4.15) podem ser simplificados fazendo-se:

$$\rho'_1 = \rho_2$$

e

$$\tau'_1 = \tau_2$$

A análise da região 2 nos permite agora determinar as equações do campo total de cada uma das três regiões. Na região 1, temos a presença do campo incidente produzido pela antena do leitor, definido pela equação (4.4), rerepresentada aqui por conveniência:

$$\vec{E}(r, \theta) = j \frac{\vec{I} \cdot d}{4\pi} \left(\frac{e^{-jk_0 r}}{r} \right) k_0 \eta \cdot \sin \theta \cdot \hat{\theta} \quad [V/m]$$

e a presença do campo refletido pelo obstáculo. Neste caso:

$$\vec{E}_{1+} = \vec{E}(r, \theta) = j \frac{\vec{I} \cdot d}{4\pi} \left(\frac{e^{-jk_0 r}}{r} \right) k_0 \eta \cdot \sin \theta \cdot \hat{\theta} \quad (4.22)$$

e

$$\vec{E}_{1-} = \rho_1 \vec{E}_{1+}(t) + \sum_{n=1}^{\infty} \tau_1 \tau_1' (\rho_1')^{n-1} \rho_2 \vec{E}_{1+}(t-nT) \quad (4.23)$$

Assim, o campo elétrico total na região 1 pode ser determinado por:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{1+} + \vec{E}_{1-} \quad (4.24)$$

Na região 2, os campos elétricos se propagam nos sentidos positivo e negativo, podendo ser calculados por

$$\vec{E}_{2+} = \tau_1 \vec{E}_{1+}(t) + \sum_{n=1}^{\infty} \tau_1 (\rho_1')^n \rho_2 \vec{E}_S(t-nT) \quad (4.25)$$

e

$$\vec{E}_{2-} = \sum_{n=1}^{\infty} \tau_1 (\rho_1')^n \rho_2^{n+1} \vec{E}_S(t-nT-T/2) \quad (4.26)$$

sendo assim, o campo elétrico total na região 2 é

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_{2+} + \vec{E}_{2-} \quad (4.27)$$

onde \vec{E}_S é o campo elétrico irradiado no interior do obstáculo, definido por

$$\vec{E}_S = j \frac{\vec{I} \cdot \vec{d}}{4\pi} \left(\frac{e^{-jk_0 n}}{r_1} \right) \left(\frac{e^{-jk_c R}}{R} \right) k_{0\eta} \sin\theta \cdot \hat{\theta} \quad (4.28)$$

sendo R a distância total percorrida pelo o campo elétrico, após ter penetrado no obstáculo, incluindo as reflexões. O número de onda do meio, k_c , do qual é constituído o obstáculo, é definido por:

$$k_c = \omega \sqrt{\mu \epsilon} (1 - j \cdot \tau_p)^{1/2} \quad (4.29)$$

Na região 3, o cálculo do campo elétrico total é mais simples, tendo em vista que não existem campos refletidos. O campo total na região 3 pode ser expresso por:

$$\vec{E}_3 = \vec{E}_{3+} = \sum_{n=0}^{\infty} \tau_1 \tau_2 (\rho_1')^n \rho_2 \vec{E}_{1+}(t-nT-T/2) \quad (4.30)$$

Foi observado no aplicativo concebido que, para os meios empregados como obstáculos, a determinação das três primeiras reflexões internas a ele é suficiente para fornecer excelentes resultados. Por conseguinte, foi utilizado nos cálculos das equações descritas $n=3$.

Após a determinação do campo elétrico total de cada uma das regiões, determina-se o valor médio da potência por metro quadrado através do cálculo do vetor de poynting, descrito pela equação (4.31).

$$\overline{P_{ave}} = \frac{1}{2\eta} \left(\left| \overline{E_+} \right|^2 - \left| \overline{E_-} \right|^2 \right) \quad (4.31)$$

A figura (4.16) apresenta a comparação de duas simulações feitas com o aplicativo. A primeira simulação, indicada pela curva verde, descreve a potência média do campo eletromagnético irradiado por uma antena dipolo no espaço livre, isto é, sem a presença de obstáculos. A segunda simulação, indicada pela curva azul, descreve a potência média total do campo eletromagnético na presença de um obstáculo de madeira de um metro e meio de espessura, cujos limites são indicados pela região em vermelho.

É interessante observar que, com a presença do obstáculo, o campo na região antes dele tornou-se perturbado, o que se deve principalmente ao campo refletido. Nota-se também, na região interna ao obstáculo, outras perturbações causadas por múltiplas reflexões do campo no seu interior, além de também apresentar uma forte atenuação no campo, o que é principalmente ocasionado pela presença da água na constituição da madeira.

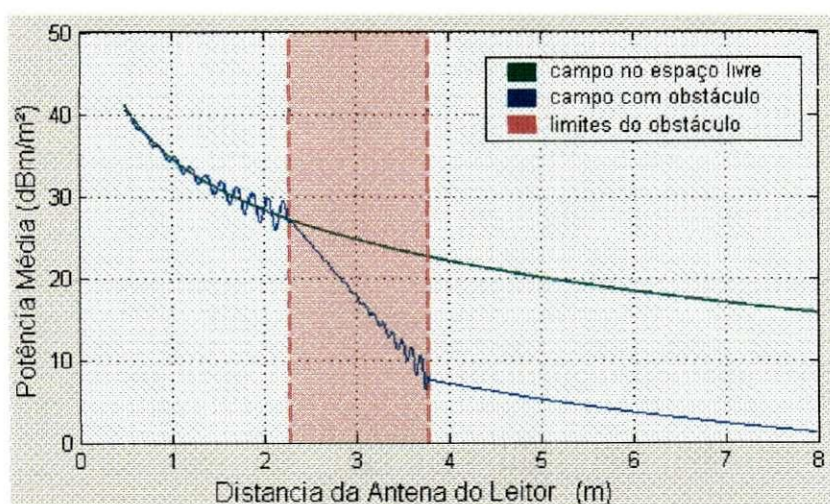


Figura 4.16 - Comparação da potência média irradiada por uma antena dipolo com e sem a presença de um obstáculo de madeira.

4.2.3.2. Obstáculos em Campo Próximo

Na região de campo próximo, as considerações feitas para calcular o campo na presença de um obstáculo, na secção precedente, não podem ser feitas aqui, uma vez que não podemos supor que o campo comporta-se como uma onda plana uniforme. Além disso, a análise anterior foi feita para um campo eletromagnético, ao passo que neste caso, a análise concentra-se no campo magnético.

Primeiramente, observa-se que todos os meios considerados como obstáculos no programa são paramagnéticos, salvo o metal. Como se sabe, a presença de um obstáculo paramagnético não perturba o campo magnético. Isto significa que, a simulação na presença de obstáculos realizada pelo “software” deve ser indiferente à presença ou não de qualquer um dos obstáculos disponíveis para simulação, exceto o obstáculo metálico. Este estudo pode, assim, concentrar-se unicamente no caso do obstáculo metálico.

A figura (4.17) apresenta a secção reta de uma antena tipo anel circular cujo centro está localizado na origem do sistema cartesiano mostrado. A secção reta foi feita de forma que os eixos y e z estão contidos no seu plano, isto é, passando pela origem do sistema e normal ao eixo x . Os pontos vermelhos indicam a posição do anel da antena, enquanto as linhas azuis indicam as linhas do campo magnético por ela gerado, quando percorrida por uma corrente alternada.

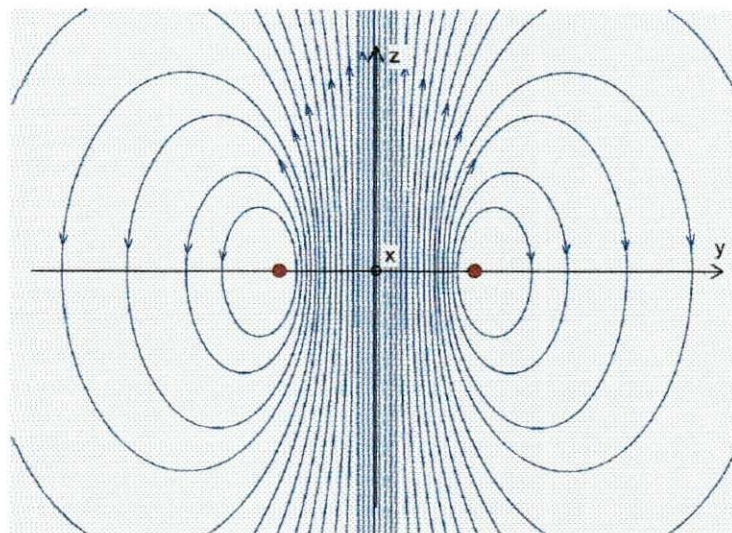


Figura 4.17 – Campo magnético criado por uma antena do tipo anel circular

A observação da forma do campo representado na figura (4.16) indica que a colocação de um obstáculo, em qualquer ponto do espaço, produzirá deformações difíceis de serem

calculadas, pois os vetores possuem orientações distintas em cada posição do espaço. No entanto, a região próxima ao eixo z possui vetores quase que perfeitamente retilíneos e paralelos uns aos outros. Isto significa que, se o obstáculo for colocado ao longo do eixo z e suas dimensões forem suficientemente grandes para impedir a existência do campo magnético após ele ter chegado a tag, e ao mesmo tempo tais dimensões restringirem-se a esta região linear do campo, pode-se calcular o campo magnético resultante nas proximidades do eixo z . Isto pode ser feito pela simples superposição do campo magnético incidente com o refletido pelo obstáculo, isto é, se também admitirmos que a interface do obstáculo, sobre o qual chega o campo, é perfeitamente plana e perpendicular ao campo incidente.

O cálculo ainda pode ser mais simplificado se admitir-se que o metal é um condutor magnético perfeito. Neste caso, teremos a reflexão total do campo magnético incidente. Assim, o campo magnético, após a interface, será nulo. O cálculo do campo magnético resultante, neste caso, resume-se à região entre a antena e o obstáculo.

O campo magnético produzido ao longo do eixo central da antena (z), é definido pela equação:

$$\vec{H}_+(I, z) = \frac{N.I.a^2.e^{-i.k.\sqrt{a^2+z^2}}}{2(a^2+z^2)^{3/2}} \hat{z} \quad (4.32)$$

onde a é o raio da antena, I sua corrente de alimentação e N é o número de espiras.

Admitindo que o obstáculo seja colocado em z_1 , podemos definir o campo refletido como:

$$\vec{H}_-(I, z) = \frac{N.I.a^2.e^{-i.k.\sqrt{a^2+(2z_1-z)^2}}}{2[a^2+(2z_1-z)^2]^{3/2}} \hat{z} \quad (4.33)$$

e, o campo magnético total é dado por:

$$\vec{H}(z) = \vec{H}_+(z) - \vec{H}_-(z) \quad (4.34)$$

Neste contexto, podemos então determinar o coeficiente de acoplamento entre as antenas do leitor e da tag, aplicando o resultado obtido pela equação (4.34), nas equações (4.13) (4.15), descritas na seção (4.2.2). A figura (4.18) apresenta a simulação do

acoplamento entre as antenas do leitor e da tag, realizada através deste método, na presença de um obstáculo metálico. Os limites do obstáculo são indicados pelas linhas vermelhas.

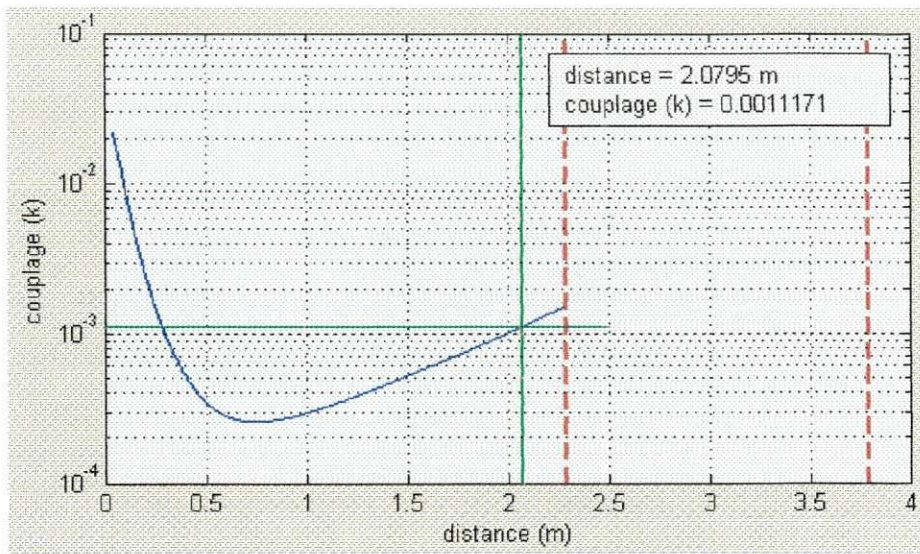


Figura 4.18 – Acoplamento entre as antenas do leitor e da tag na presença de um obstáculo metálico.

5. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi criar um aplicativo capaz de mostrar de forma simples, a qualquer pessoa, as principais características dos elementos que podem influenciar a comunicação entre um leitor e uma tag RFID, tais como a frequência de trabalho, posicionamento relativo entre as antenas ou a presença de obstáculos na região de comunicação, por exemplo. O objetivo foi atingido, e, como desejado, a interface com o usuário manteve-se simples e de fácil compreensão.

A utilização do método de repartição da antena do leitor num número finito de elementos para a determinação do campo magnético produzido por antenas de sistemas RFID, em LF e HF, conjuntamente com o método *look-up-table*, para carregar os valores calculados, mostrou uma grande eficácia na velocidade e nos resultados das simulações realizadas. O método *look-up-table* também pode ser empregado em versões futuras do aplicativo para análise de outros tipos de antena, tais como antenas impressas (microfita), por exemplo.

Versões futuras poderão também permitir a modificação das dimensões da antena da tag e da antena do leitor. Atualmente estes dados são fixos. Um indicador, informando se uma tag típica funcionaria ou não na posição selecionada, seria também algo interessante para se incluir futuramente.

Grande parte dos parâmetros internos de simulação, isto é, parâmetros que não são ajustáveis pelo utilizador, estão definidos sob forma de constantes, e, o código produzido encontra-se comentado, de modo que futuras modificações não encontrem grandes dificuldades.

6. Referências

- (1) "*Material do curso EE510 - Circuits radiofréquences*", Smaïl Tedjini, ESISAR, 2004
- (2) "*Material do curso PH540 - Antennes radiofréquences*", Smaïl Tedjini, ESISAR, 2004
- (3) "*Material do curso EE532 - Modulation démodulation numérique en RF*", Dominique Paret à l'ESISAR, 2004
- (4) "*Contrôle du diagramme de rayonnement par association de dipôles*", Fabrice Roudet, ESISAR, 2004
- (5) "*Building GUIs with Matlab*", Version 5, Mathworks Inc., 1997
- (6) "*Antenna and EM Modeling with Matlab*". Sergey N. Makarov, JohnWiley and Sons Inc., 2002
- (7) "*Matlab Primer*". second edition, Kermit Sigmon, Department of Mathematics – University of Florida, 1992
- (8) "*Electromagnetic Field Theory*", Bo Thidé, Upsilon Books, 2004
- (9) "*Eletromagnetismo*", Willian H. Hayt Jr, 4^{ème} edition, LTC Editora, 2001
- (10) "*Electromagnetic Waves and Antennas*", Sophocles J. Orfanidis, Rutgers University, 2003
- (11) "*Applications en identification radiofréquence et cartes à puce sans contact*", Dominique Paret, Dunod, 2003
- (12) "*Traité d'Electricité Volume III – Eléctromagnétisme*", Fred Gardiol, Press Polytechniques et Universitaires Romandes, 2002
- (13) "*RFID Handbook - Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*", 2nd edition, Klaus Finkenzeller, John Wiley & Sons Ltd, 2003,
- (14) "*Computational Geometry: Methods and Applications*", Jianer Chen, Computer Science Department - Texas A&M University, 1996
- (15) "*Automatic Identification – Radio Frequency Identification for Item Management - Part 6: Mode 3 - Physical Layer, Anti Collision System and Protocols for Ultra High Frequency (UHF) Systems*", ISO WD 18000-6 Mode 3, ISO/IEC/JTC/ANSI, 2005

(16) “ISO 14443: Identification cards — Proximity integrated circuit - Part 1: Physical characteristics”, ISO WD 14443-1, ISO/IEC/JTC/ANSI, 2005

(17) “ISO 14443: Identification cards — Proximity integrated circuit - Part 2: Radio frequency interface”, ISO WD 14443-2, ISO/IEC/JTC/ANSI, 2005

(18) “ISO 15693: Identification cards — contactless integrated circuit cards — Vicinity Cards - Part 1: Physical characteristics”, ISO WD 15693-1, ISO/IEC/JTC/ANSI, 2005

(19) “ISO 15693: Identification cards — contactless integrated circuit cards — Vicinity Cards - Part 2: Air interface and initialisation”, ISO WD 15693-2, ISO/IEC/JTC/ANSI, 2005