

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ANTENA COM DIAGRAMA DE  
RADIAÇÃO AJUSTÁVEL PARA A FAIXA DE FREQUÊNCIA UHF DE  
SISTEMAS RFID DESTINADA A SISTEMAS PRODUTIVOS**

**FLAVIO LUCAS DA ROSA**

Porto Alegre  
2016

FLAVIO LUCAS DA ROSA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ANTENA COM DIAGRAMA DE  
RADIAÇÃO AJUSTÁVEL PARA A FAIXA DE FREQUÊNCIA UHF DE  
SISTEMAS RFID DESTINADA A SISTEMAS PRODUTIVOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração: Sistemas da Qualidade.

Orientador: Carlos Fernando Jung, Dr.

Porto Alegre  
2016

FLAVIO LUCAS DA ROSA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ANTENA COM DIAGRAMA DE  
RADIÇÃO AJUSTÁVEL PARA A FAIXA DE FREQUÊNCIA UHF DE  
SISTEMAS RFID DESTINADA A SISTEMAS PRODUTIVOS**

Esta dissertação foi julgada como requisito parcial à obtenção do título de

**Mestre em Engenharia**

e aprovada em sua forma final pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Dr Carlos Fernando Jung**

PPGEP / UFRGS

Orientador

---

**Prof. Dr Ricardo Augusto Cassel**

Coordenador PPGEP / UFRGS

**Banca Examinadora:**

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Carla Schwengber ten Caten (PPGEP/UFRGS)**

**Prof. Dr. Everton Luís Berz (FACCAT)**

**Prof. Dr. Guilherme Petry Breier (CEITEC/MCTI)**

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha amada esposa, Paula Barragana Alves, que em incontáveis momentos construiu condições para que este trabalho e outros tantos fossem realizados.*

## **AGRADECIMENTOS**

## RESUMO

Esta dissertação apresenta um estudo que teve por finalidade desenvolver uma solução alternativa para reduzir a intermodulação entre antenas de leitores utilizados em sistemas RFID (Radio Frequency Identification), por esta razão, foi realizada uma pesquisa que consistiu em uma revisão sistemática sobre interferência entre antenas de leitores RFID. Os resultados mostraram que 70% das publicações analisadas foram realizadas em apenas cinco países e que 49% foram publicadas nos últimos três anos. A revisão sistemática também identificou que existem modelos que classificam as técnicas utilizadas para redução da interferência entre leitores, porém nenhuma das pesquisas analisadas apresentou uma síntese de classificação que contemplasse todas as técnicas de intermodulação citadas nas pesquisas, o que resultou no desenvolvimento de uma síntese de classificação de intermodulação oriunda de sistemas RFID. A revisão identificou que 27% das formas de redução de intermodulação entre antenas manipulava a potência de saída do leitor para redução da área afetada pelas antenas como forma de evitar a intermodulação, porém nenhuma pesquisa propôs realizar alguma modificação nas características das antenas de forma a evitar a interferência ocorrida entre leitores. Esse fato motivou o desenvolvimento de uma antena para a faixa de frequência UHF (Ultra High Frequency) destinada a sistemas RFID com diagrama de radiação ajustável em ambientes de produção. A pesquisa foi desenvolvida com base nos princípios metodológicos de um Modelo para P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) para produtos eletrônicos por pequenas equipes, engenheiros independentes e inventores. Como resultado foi obtido um protótipo que foi comparado com antenas comerciais para demonstrar a possibilidade de alterar o lóbulo de radiação. A nova antena desenvolvida também possui um diferencial, que reside na opção de ser utilizada tanto como antena direcional quanto omnidirecional, bastando apenas modificar a configuração de instalação.

**Palavras-chave:** Antena, RFID, Intermodulação.

## **ABSTRACT**

*This dissertation presents a study that aimed to develop an alternative solution for reducing intermodulation between readers antennas used in RFID systems (Radio Frequency Identification), for this reason, a survey that consisted of a systematic review of interference was carried out between antennas RFID readers. The results showed that 70% of the analyzed publications were performed in only five countries and that 49% have been published in the last three years. The systematic review also found that there are models that classify the techniques used to reduce intermodulation between readers, but none of the studies analyzed showed a synthesis of classification system encompassing all the intermodulation techniques cited in the research, which resulted in the development of a classification synthesis intermodulation coming from RFID systems. A review showed that 27% of forms of intermodulation reduction between antenna manipulating the reader's output power to reduce the area affected by the antennas in order to avoid intermodulation, but no research proposed to carry some modification in the characteristics of antennas in order to avoid interference occurred between readers. This fact motivated the development of an antenna for the UHF band (ultra high frequency) RFID systems designed with adjustable radiation pattern in production environments. The research was developed based on methodological principles of a model for R & D (Research and Development) for electronic products in small teams, independent engineers and inventors. The result was a prototype which was compared with commercial antennas to demonstrate the ability to change the radiation lobe. The new antenna developed also has a differential, which lies in the option to be used both as directional as omnidirectional antenna by simply modifying the installation configuration.*

**Key words:** *Antenna, RFID, Intermodulation.*

## SUMÁRIO

	<b>RESUMO</b>	
	<b>ABSTRACT</b>	
	<b>ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>09</b>
	<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>10</b>
1.1	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.2	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
1.2.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>11</b>
1.2.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
1.3	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>11</b>
1.4	<b>DELINEAMENTO DO ESTUDO .....</b>	<b>12</b>
1.4.1	<b>Descrição dos Estudos e Procedimentos .....</b>	<b>12</b>
1.4.2	<b>Método de Pesquisa .....</b>	<b>13</b>
1.5	<b>DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....</b>	<b>14</b>
1.6	<b>ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
	<b>CAPÍTULO 2 - ARTIGOS PROPOSTOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	<b>ARTIGO 1 .....</b>	<b>16</b>
2.2	<b>ARTIGO 2 .....</b>	<b>34</b>
	<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>51</b>
3.1	<b>SÍNTESE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
3.2	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
3.3	<b>SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

**ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

CDMA	Code Division Multiple Access
EUA	Estados Unidos da América
DPC	Distributed Power Control
FDMA	Frequency Domain Access
UHF	Ultra High Frequency
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
RL	Return Loss/Perda por retorno
R.O.E	Relação de Ondas Estacionárias
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
TDMA	Time Domain Multiple Access
SDMA	Space Division Multiple Access
SWR	Relação de Ondas Estacionárias
SLOT	Espaço físico ou período de tempo

## CAPÍTULO 1

### 1.1 INTRODUÇÃO

Segundo Marques (2012), *Radio Frequency Identification – RFID* é uma denominação genérica atribuída a uma tecnologia, que vem sendo utilizada desde a Segunda Guerra Mundial, para identificação e localização através da rádio frequência. Jung et al. (2014) afirmam que a tecnologia RFID vem apresentando taxas de crescimento contínuas no uso desses dispositivos nos últimos anos, sendo essa tecnologia incentivada por regulamentações federais, países como os EUA e o Brasil passaram a utilizar etiquetas RFID para identificação e autenticação de documentos, dando grande visibilidade e ampliando o uso de tal tecnologia.

Motamedi et al. (2013) esclarecem que um típico sistema de RFID é formado por uma antena acoplada a um leitor/transmissor de Rádio Frequência - RF e um ou mais transponders RF, também conhecidos como Etiquetas ou etiquetas, que normalmente são fixadas em objetos que se deseja identificar. Marques (2012) completa afirmando que as etiquetas, classificadas como passivas, extraem energia para seu funcionamento da própria onda de rádio frequência utilizada para comunicação entre os dispositivos que compõem o sistema RFID.

Apesar do aumento da difusão de sistemas RFID, Berz (2011) ressalta que esses sistemas sofrem uma grande quantidade de tipos de interferência, tais como aquelas causadas por barreiras físicas entre os elementos comunicantes, sinais que geram ruídos na comunicação original, reflexões, entre outras. Corroborando, Lim et al. (2013) e Cha et al. (2006) relatam que um dos principais empecilhos para a difusão da tecnologia RFID é a intermodulação de sinais entre os próprios dispositivos RFID de um sistema. Neste sentido Tiemay (2009) esclarece que a intermodulação é um tipo de interferência que ocorre quando, por exemplo, dois leitores próximos usam frequências iguais ou muito próximas, o que impede que as etiquetas consigam distinguir os sinais dos diferentes leitores.

Carbunar et al. (2009) relatam que a interferência de sinais, de mesma frequência ou frequências próximas, em sistemas RFID, pode se originar de várias maneiras, como a tentativa de leitura de múltiplos leitores a uma Etiquetas, a interferência de um leitor em outro leitor e a interferência resultante de múltiplas Etiquetas's que transmitem dados ao mesmo tempo. Nesse contexto Azambuja (2011) ressalta a necessidade da utilização de técnicas específicas para o tratamento da intermodulação.

A primeira pesquisa desta dissertação a *Análise de Pesquisas Sobre Intermodulação Entre Antenas de Leitores RFID Aplicados a Sistemas de Produção* evidenciou uma lacuna no tratamento da intermodulação, pois nenhuma pesquisa analisada apresentou algum método que permita o direcionamento do lóbulo de radiação da antena ligada ao leitor RFID de forma a evitar a intermodulação entre antenas ou Etiquetas's pela restrição da área afetada pelo lóbulo de radiação. Essa descoberta motivou a segunda pesquisa desta dissertação o *Desenvolvimento de Uma Antena para a Faixa de Frequência UHF Destinada a Sistemas RFID com Diagrama de Radiação Ajustável*.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver uma antena direcional na faixa de UHF para sistemas RFID com diagrama de radiação ajustável para ambientes produtivos, que permita o direcionamento do sinal para uma área específica de um sistema produtivo, aumentando a capacidade de detecção de etiquetas em áreas específicas.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Analisar pesquisas sobre intermodulação entre antenas de leitores RFID aplicados a sistemas de produção, identificar e classificar as técnicas utilizadas para evitar a interferência;
- b) Desenvolver e construir um protótipo de antena direcional na faixa de UHF aplicada a sistemas RFID, com lóbulo de radiação ajustável para ambientes produtivos.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

Azambuja (2011) esclarece que existe um grande crescimento na utilização de sistemas RFID, citando uma das maiores redes de varejo do mundo, a WalMart, que, em conjunto com 100 dos seus maiores fornecedores, está empenhada em uma iniciativa de transição para a etiquetagem com RFID de todas as caixas e paletes, em seus centros de distribuição. Nesse contexto Roussos et al. (2009) salientam que um grande número de Leitores e Etiquetas's torna-se necessário para o controle de numerosos itens e locais a serem monitorados. Corroborando, Azambuja (2011) esclarece que, em um sistema RFID,

normalmente se utiliza antenas de um canal de comunicação para troca de informações dentro do sistema.

Lazaro et al. (2009), Delgado et al. (2013), Zhu et al. (2011), Wang et al. (2013) e Yang et al. (2011) relatam a necessidade do desenvolvimento de técnicas para redução da intermodulação causada pelo grande número de equipamentos RFID, tentando utilizar o mesmo canal de comunicação em uma mesma área física.

As pesquisas realizadas por Namboodiri et al. (2010), Cha et al. (2006), Penttilä et al. (2006), Jimenez et al. (2013), Chenn et al. (2011), Alsalih et al. (2013), Saygin et al. (2010), Oztekin et al. (2010), Chen et al. (2010) e Papapostolou et al. (2011) indicavam a restrição da área de atuação da antena como forma de redução da interferência, sendo essa redução de área realizada pela redução da potência transferida do leitor para a antena, o que, segundo Chen et al. (2010), também resulta em uma menor quantidade de energia disponível para a identificação das Etiquetas. No entanto os pesquisadores Shih et al. (2006), Wu et al. (2006), Huang & Chang (2011) e Maina et al. (2007) utilizaram-se de uma configuração de instalação que leva em conta a posição e características das antenas conectadas a leitores para reduzir a interferência nos sistemas que utilizam a tecnologia RFID.

Já Wu et al. (2006) relatam a necessidade de pesquisas futuras analisarem a possibilidade de desenvolvimento de antenas com a capacidade de ajustar a direção da energia em uma área específica, para reduzir a interferência entre as antenas acopladas a leitores RFID.

Nesse cenário, o estudo proposto nesta dissertação teve por finalidade desenvolver uma antena na faixa de UHF para sistemas RFID com diagrama de radiação ajustável que permita o ajuste da direção e concentração da energia eletromagnética para áreas específicas de um sistema RFID e, por consequência, possa ser utilizada para redução de intermodulação entre antenas acopladas a leitores RFID, em um ambiente industrial.

## **1.4 DELINEAMENTO DO ESTUDO**

Uma vez definidos os objetivos deste trabalho, torna-se necessário estabelecer o delineamento pelo qual os objetivos foram alcançados, os métodos e procedimentos adotados.

### **1.4.1 Descrição dos estudos e procedimentos**

Nas Figuras 1 e 2, são apresentados quadros síntese dos estudos realizados e, na sequência, é feita a descrição.

Figura 1- Síntese do Estudo 1.

<b>Estudo 1 - Análise De Pesquisas Sobre Intermodulação Entre Antenas De Leitores Rfid Aplicados A Sistemas De Produção</b>			
<b>Objetivo</b>	<b>Questões de Pesquisa</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>Tipo de Pesquisa</b>
Analisar pesquisas sobre intermodulação entre antenas de leitores RFID aplicados a sistemas de produção, identificar e classificar as técnicas utilizadas para evitar a intermodulação.	Quais as técnicas utilizadas para o tratamento do efeito da intermodulação eletromagnética? Como são classificadas as formas de tratamento das intermodulações eletromagnética?	Intermodulação entre antenas e leitores RFID; modelos para tratamento de interferência em sistemas RFID.	Básica (OCDE, 2007);  Exploratória;  Abordagem: Qualitativa.

Figura 2- Síntese do Estudo 2.

<b>Estudo 2 - Desenvolvimento de Antena na faixa UHF para sistemas RFID com diagrama de radiação ajustável</b>			
<b>Objetivo</b>	<b>Questões de Pesquisa</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>Tipo de Pesquisa</b>
Desenvolver e construir um protótipo de antena direcional na faixa de UHF aplicada a sistemas RFID, com lóbulo de radiação ajustável.	Como deveria ser construída uma antena com lóbulo de radiação capaz atender as características de qualidade demandadas por instaladores de sistemas RFID?	Antenas RFID;	Aplicada (OCDE, 2007); Desenvolvimento Experimental (OCDE, 2007); Abordagem: Qualitativa e Quantitativa.

Artigo 1 – esse artigo, *Análise de Pesquisas sobre Intermodulação entre Antenas de Leitores RFID Aplicados a Sistemas de Produção*, descreve os resultados de uma pesquisa exploratória, que teve por finalidade analisar e compreender os efeitos da intermodulação em antenas para sistemas RFID.

O trabalho também apresenta um modelo de classificação de sistemas utilizados para evitar ou amenizar a intermodulação entre antena RFID baseado nas classificações realizadas pelos autores das pesquisas focadas em intermodulação entre antenas RFID analisadas. Esse artigo evidenciou que 27% dos trabalhos sugerem a manipulação da potência de saída do leitor como técnica de minimização de intermodulação entre antenas RFID, porém, o ajuste do direcionamento da energia para áreas específicas não foi estudado em nenhum trabalho analisado.

Artigo 2 – esse artigo, *Desenvolvimento De Uma Antena Com Diagrama De Radiação Ajustável Para A Faixa De Frequência Uhf De Sistemas Rfid Destinada A Sistemas Produtivos*, apresenta a contribuição aplicada da dissertação. Foi realizada uma pesquisa que, teve por finalidade, desenvolver uma

antena direcional na faixa de UHF aplicada a sistemas RFID. Os resultados mostram que o protótipo desenvolvido pode contribuir para solução dos problemas descritos no artigo 1.

#### **1.4.2 Método de pesquisa**

A sustentação metodológica para elaboração e execução das pesquisas que resultaram nos artigos propostos nesta dissertação foi baseada em diversos autores. Na sequência, são descritos os métodos e respectivos autores que fundamentam cada pesquisa realizada.

Os resultados apresentados no artigo *Análise De Pesquisas Sobre Intermodulação Entre Antenas De Leitores RFID Aplicados A Sistemas De Produção* foram obtidos através de uma revisão sistemática embasada no modelo de Hingins e Green (2011). Jung (2013) estabelece que esse tipo de pesquisa deve descrever, analisar e discutir os conhecimentos científicos ou tecnológicos já publicados, o que resultou na composição de uma nova proposta de modelo de classificação de sistemas anticollisão de sistemas RFID.

O artigo *Desenvolvimento De Antena na faixa UHF Para Sistemas RFID Com Diagrama De Radiação Ajustável* foi desenvolvido a partir dos resultados do artigo *Análise De Pesquisas Sobre Intermodulação Entre Antenas De Leitores RFID Aplicados A Sistemas De Produção*, sendo todo o desenvolvimento norteado pela aplicação do método de desenvolvimento de produtos eletrônicos proposto por Jung et al. (2010).

### **1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

As pesquisas que compõem o conjunto da dissertação foram focadas em sistemas RFID, que utilizam frequências na faixa de UHF.

O artigo 1 *Análise de Pesquisas Sobre Intermodulação Entre Antenas de Leitores RFID Aplicados a Sistemas de Produção* foi restrito a uma pesquisa realizada nas seguintes bases de dados: (i) IEEE Periodicals; (ii) Emerald Management eJournals; (iii) SciVerse ScienceDirect (Elsevier); e (iv) SciVerse Scopus (Elsevier). Foram analisadas apenas as pesquisas publicadas até o ano de 2013.

O artigo 2 *Desenvolvimento De Uma Antena Com Diagrama De Radiação Ajustável Para A Faixa De Frequência Uhf De Sistemas Rfid Destinada A Sistemas Produtivos*, se restringiu a analisar os efeitos gerados pelo ajuste do lóbulo de radiação em relação as antenas com lóbulo de radiação fixo.

## **1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está organizada em três capítulos. No primeiro capítulo, tem-se uma visão geral da pesquisa realizada, o contexto e sua importância como gerador de inovações tecnológicas, os objetivos, a justificativa, o delineamento do estudo, a descrição dos artigos propostos e as delimitações da dissertação.

O segundo capítulo apresenta os artigos propostos e os respectivos resultados obtidos. O terceiro capítulo apresenta uma síntese dos resultados obtidos com o desenvolvimento dos artigos, as conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

## **CAPÍTULO 2 – ARTIGOS PROPOSTOS**

**ARTIGO 1** – Análise de Pesquisas sobre Intermodulação entre Antenas de Leitores RFID Aplicados a Sistemas de Produção

**ARTIGO 2** – Desenvolvimento De Uma Antena Com Diagrama De Radiação Ajustável Para A Faixa De Frequência Uhf De Sistemas Rfid Destinada A Sistemas Produtivos

## **2.1 ARTIGO 1**

### **ANÁLISE DE PESQUISAS SOBRE INTERMODULAÇÃO ENTRE ANTENAS DE LEITORES RFID APLICADOS A SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

Artigo publicado no  
IBEROAMERICAN JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING, Florianopolis, SC,  
Brasil Vol. 7, p.22-40 - 2015  
ISSN 2175 -8018  
CLASSIFICAÇÃO QUALIS/CAPES 2014:  
B4 ENGENHARIAS III

Artigo publicado no  
SEPROSUL - XIV Semana de la Ingeniería de Producción Sudamericana Mendoza,  
Argentina 2014

# ANÁLISE DE PESQUISAS SOBRE INTERMODULAÇÃO ENTRE ANTENAS DE LEITORES RFID APLICADOS A SISTEMAS DE PRODUÇÃO

**Flavio Lucas da Rosa**

**Carlos Fernando Jung**

**José Luis Duarte Ribeiro**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Av. Osvaldo Aranha, n. 99/ 5º andar, Bom Fim – CEP 90.035-190 – Porto Alegre/RS  
e-mail.:flaviotaq@gmail.com.br;carlosfernandojung@gmail.com.

## Resumo

Este artigo apresenta uma revisão sistemática com o objetivo de evidenciar e de analisar as contribuições realizadas por pesquisas focadas nos efeitos da interferência causada pela intermodulação entre antenas acopladas a leitores RFID (*Radio Frequency Identification*). Para isso, foram selecionados 37 publicações das plataformas: *IEEE Periodicals*, *Emerald Management eJournals*, *SciVerse ScienceDirect (Elsevier)* e *SciVerse Scopus (Elsevier)*. Verificou-se que existe uma concentração de 70% das publicações em cinco países e que essas publicações são recentes, 49% nos últimos três anos, além disso, identificou-se que 27% das pesquisas selecionadas utilizam algum sistema de controle de potência sobre as antenas baseado em leitores RFID, no entanto, existe apenas uma pesquisa recomendando que se desenvolvam antenas que permitam o controle da distribuição da potência sobre uma área específica. Como resultado principal, apresenta-se um diagrama que reúne e organiza hierarquicamente os tipos de algoritmos anticolisão relatados nas pesquisas selecionadas.

**Palavras chave:** *RFID, interference, antenna, reader.*

## Abstract

*This paper presents a systematic review aimed to highlight and analyze the contributions made by researches focused on the effects of interference caused by intermodulation among antennas coupled to RFID readers. For this, 37 publications from platforms were selected: IEEE Periodicals, Emerald Management eJournals, SciVerse ScienceDirect (Elsevier), and SciVerse Scopus (Elsevier). It was found that there is a concentration of 70% of publications in five countries and that these publications are recent, 49% in the last three years, moreover, it was identified that 27% of the selected researches uses some system control power on the antennas attached to RFID readers, however, there is only one research recommending that antennas be developed to allow the control of distribution of power over a specified area. As main result, it was proposed a diagram that gathers and organizes hierarchically the classifications of anti-collision protocols reported in selected researches.*

**Key-words:** *RFID, interference, antenna, reader.*

## 1 Introdução

No mundo competitivo dos negócios, consideram-se alguns fatores chave para o sucesso, como: a velocidade de operação, a velocidade de entrega e o alto nível de serviço exigido pelo cliente. (CHANG et al., 2011). Nesse contexto, Motamedi et al., (2013) afirmam que diversas tecnologias têm sido investigadas para maximizar a eficiência do processo de gerenciamento de ativos.

O uso da tecnologia para melhorar o controle do processo de gerenciamento de ativos não é um novo conceito, pois muitas empresas como, por exemplo, a Walmart, utiliza códigos de barras para identificar e rastrear seus ativos. (ZHU et al., 2011). Porém, apesar dessa tecnologia estar estabelecida e acessível, a mesma tem apresentado problemas devido ao seu alcance de leitura e durabilidade das etiquetas que contêm os códigos de barras, pois, um código de barras requer uma linha de visão para ser lido e torna-se ilegível quando riscado ou sujo. (WANG, 2008).

Nesse contexto, Park et al. (2010) relatam que a tecnologia de *RFID* (*Rádio - Frequency Identification*) está recebendo mais atenção por causa de suas capacidades distintas em relação ao sistema de código de barras tradicional, as quais são descritas por Chang et al. (2011) como: i) *Uniqueness*: permite a identificação única do produto, distingue cada produto pelo seu número de identificação - ID; ii) *Timeless*: reduz ou elimina o tempo para cada etapa de verificação da ID como a digitalização e a digitação; iii) *Accuracy*: eliminação do erro de verificação do ativo, estabelece um banco de dados, com informações corretas, especialmente útil para manipulação de inventário; e iv) *Completeness*: garantia da disponibilidade de informação relevante.

Um sistema de *RFID* é formado por três componentes básicos: uma antena acoplada a um leitor de Rádio Frequência - RF e um ou mais transponders RF também conhecidos como *Tag's* (MOTAMEDI et al., 2013). Esse sistema oferece uma comunicação sem fio entre as *Tag's* e os leitores, o que permite a identificação, o rastreamento e a coleta de dados do ativo vinculado a uma *Tag*. (REN et al., 2011).

Domdouzis et al., (2007) relatam um crescente número de pesquisas realizadas sobre sistemas RFID, mesmo assim, Lazaro et al., (2009) e Delgado et al., (2013) afirmam existirem algumas dificuldades a serem superadas, como, por exemplo, a intermodulação entre leitores. Nesse contexto nota-se o aparecimento de publicações que centralizam, organizam, e orientam o conhecimento acumulado nos vários estudos realizados dentro de determinado

aspecto da tecnologia RFID, como: (i) Domdouzis et al.,(2007), os quais descrevem um breve relato histórico das aplicações RFID; (ii) Trappey et al. (2011) que realizam uma análise dos pedidos de depósitos de patentes realizados na China e que identificaram as tendências do crescimento da tecnologia RFID nesse país; (iii) Park et al. (2010) que apresentaram uma comparação dos benefícios e dos riscos percebidos por empresas localizadas nos EUA e na Coreia do Sul, além de avaliar o impacto estratégico no desempenho das empresas que implementaram a tecnologia RFID nesses países; (iv) Juels (2006) analisou a publicação técnica referente aos problemas de segurança e privacidade relacionada à tecnologia RFID; e (v) Zhu et al. (2011), revisaram os principais tipos de sistemas anticóllisão da tecnologia RFID.

Autores como Lazaro et al., (2009), Delgado et al., (2013), Zhu et al., (2011), Wang et al., (2013) e Yang et al., (2011) relatam a necessidade de estudos referentes às interferências entre leitores RFID. Nesse contexto, acredita-se que estudos relacionados às dificuldades encontradas em sistemas RFID, especialmente no que diz respeito a interferência gerada entre leitores RFID, poderão dar suporte teórico para o aumento da eficiência econômica em aplicações RFID (WANG et al., 2013).

Este artigo tem o objetivo de evidenciar e de analisar as contribuições realizadas por pesquisas focadas nos efeitos da interferência causada pela intermodulação entre antenas acopladas a leitores RFID. Este trabalho também reúne e analisa a classificação de técnicas utilizadas para o tratamento da intermodulação entre antenas de leitores RFID.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta os procedimentos metodológicos da pesquisa; a seção 3, a revisão de literatura; na seção 4 são apresentadas as discussões e os resultados obtidos a partir desta revisão e a seção 5 conclui o estudo.

## **2 Procedimentos Metodológicos**

Este artigo de revisão sistemática reúne contribuições sobre o desenvolvimento de soluções para redução da interferência de intermodulação em antenas utilizadas em leitores RFID, desta forma Jung (2013) estabelece que esse tipo de pesquisa deve descrever, analisar e discutir os conhecimentos científicos ou tecnológicos já publicados. Neste sentido, Hingins et al., (2011) afirmam que é importante definir uma estratégia para selecionar os artigos a serem estudados, estabelecendo critérios de seleção, pois, assim, futuros pesquisadores poderão reutilizar esses critérios, o que permitirá resultados semelhantes.

Nesta pesquisa, foram utilizados quatro critérios de inclusão, sendo que para o artigo integrar esta revisão foi necessário: (i) conter a expressão ‘RFID’ no título; (ii) conter a expressões *antenna*, *reader* e *interference* em qualquer parte do trabalho; (iii) ter sido publicado em inglês, português ou espanhol e (iv) ser artigo científico. Essa pesquisa não ofereceu restrição quanto ao ano da publicação dos artigos.

Em uma segunda etapa os critérios de inclusão foram aplicados sobre as seguintes bases de dados: (i) *IEEE Periodicals*; (ii) *Emerald Management eJournals*; (iii) *SciVerse ScienceDirect (Elsevier)*; e (iv) *SciVerse Scopus (Elsevier)*. Isso permitiu a inclusão de 90 artigos que satisfizeram os critérios de busca. Durante a leitura dos trabalhos, os mesmos foram novamente selecionados, descartando os trabalhos que não apresentassem conteúdo relacionado com antenas utilizadas em leitores RFID, dessa forma, foram identificados 53 artigos que não atendiam esse critério, restando, assim, 37 trabalhos para realização deste estudo.

A partir da leitura dos artigos selecionados foi construída uma planilha eletrônica que facilitou a organização das seguintes informações: (i) título; (ii) autores; (iii) periódico; (iv) palavras-chave; (v) número de páginas; (vi) relatos de problemas relacionados à intermodulação; (vii) relato da aplicação de técnicas para a eliminação ou redução da intermodulação; (viii) efeitos negativos da utilização de técnicas para redução ou eliminação da intermodulação (ix) área de atuação ou setor em que o estudo foi realizado; (x) recomendações para pesquisas futuras; (xi) local de origem da pesquisa; e (xii) classificações das técnicas para a redução de interferência intermodulação entre antenas acopladas a leitores RFID.

Para classificar as publicações selecionadas frente a área de atuação ou a setor em que o estudo foi realizado, foram consideradas as contribuições que a publicação realizou, caso a pesquisa tenha contribuído para o aprimoramento de um setor ou área do conhecimento, ele foi classificado como pertencente a essa área ou setor do conhecimento. Porém, alguns artigos não relatavam a aplicação direta em algum setor específico, mas se utilizavam de simulação para comprovar seus resultados, o que permitiu sua classificação como “simulação”. No entanto, os artigos que não se enquadraram nos critérios anteriores tiveram seu conteúdo classificado como melhoria de hardware ou melhoria de software.

Após a coleta dos dados, foram conceituadas e classificados os diversos tipos de intermodulação em sistemas RFID e algoritmos vinculados à redução da intermodulação.

Também foram sintetizados os relatos de aplicação de técnicas para a eliminação ou redução da interferência de intermodulação e os efeitos da utilização dessas técnicas em sistemas RFID.

Para seleção dos conteúdos que compõem essa síntese, foram criados os seguintes critérios de inclusão: (i) ter sido utilizada em algum dos artigos selecionados para este estudo; (ii) ter relação com a redução ou eliminação dos efeitos da interferência causada pela intermodulação entre antenas acopladas a leitores; (iii) não apresentar qualquer necessidade de alteração de hardware ou software nas Tag utilizadas no estudo da técnica em questão.

Para facilitar a análise dos resultados, foram criados gráficos que demonstram a origem das publicações, o ano em que a pesquisa foi publicada e o foco do estudo. Duas pesquisas selecionadas foram realizadas em mais de um país e uma pesquisa em mais de um continente, por isso, foram representadas nos gráficos com a denominação de “mais que um”. Também foi criada uma tabela que relaciona em ordem cronológica o ano de publicação, os autores da publicação e o foco da pesquisa.

Foi elaborado um diagrama que sintetiza e agrupa os diversos tipos de classificação de algoritmo anticolisão encontrados durante a leitura dos artigos selecionados. Nesse diagrama cada critério de classificação ou grupo de critérios foram ordenados de forma hierárquica. Cada critério de classificação ou grupo de critério foi vinculado aos autores que os criaram ou os utilizaram durante seus estudos.

### **3 Revisão de Literatura**

Azambuja et al., (2010) afirmam que sistemas RFID são afetados pelo conflito de ondas de rádio que podem ser oriundas tanto de equipamentos quanto da reflexão dos materiais contidos no ambiente. Contribuindo, Alsalih et al., (2013) complementam que a interferência de intermodulação é formada pelo conflito de ondas de rádio na mesma frequência, espaço e tempo.

Parlak et al., (2012) ressaltam a importância de se evitar a intermodulação entre equipamentos RFID e outros equipamentos da área hospitalar relacionados ao tratamento de pacientes. Porém, Mehrjerdi (2010) relata que a maior ocorrência de interferência de intermodulação com equipamentos RFID em ambientes hospitalares está vinculada a sistemas de comunicação sem fio como, por exemplo, a telefonia celular.

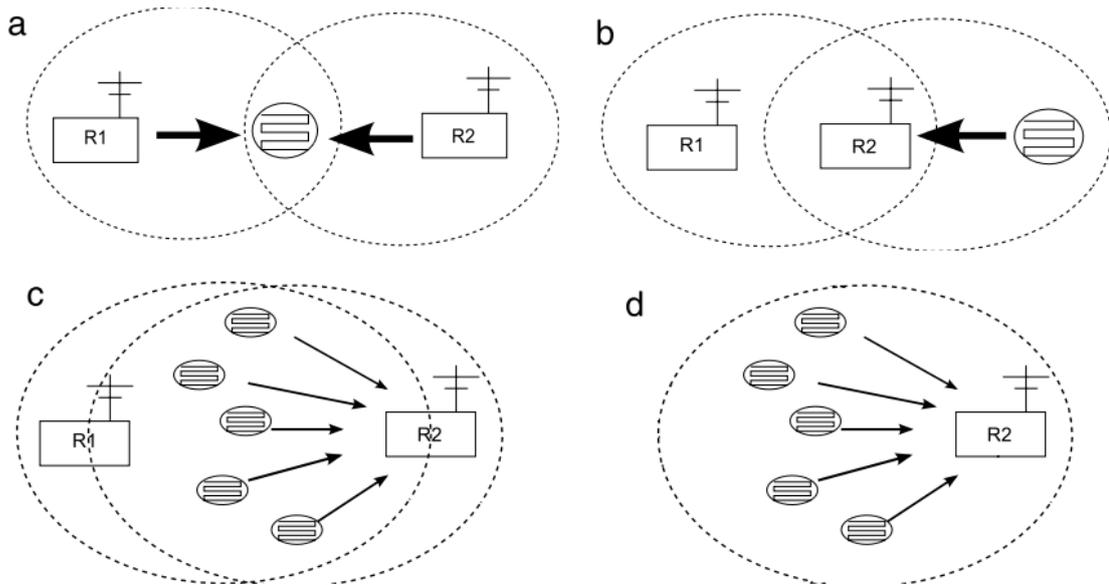
Cheung et al., (2010) afirmam que devemos restringir o uso de materiais condutores, como metais, perto de antenas de leitores RFID, pois esses materiais podem refletir as ondas

de rádios oriundas dos leitores causando, assim, a interferência de intermodulação no próprio leitor que originou a transmissão ou em outros leitores próximos. Nesse contexto, Lee et al., (2013) informam que quando o conflito de ondas de rádio é originado de dois ou mais equipamentos RFID, esse conflito recebe o nome de “colisão”.

Segundo Roussos et al. (2009), em ambientes com muitos equipamentos RFID, a colisão pode aumentar a taxa de erro de leitura em até 20%. Em seu estudo, Razavi et al., (2012) relatam que a taxa de erro influencia negativamente a capacidade e velocidade de identificação das TAG's, o que segundo Lima et al., (2013) e Cha et al., (2006), é um dos principais empecilhos para a difusão da tecnologia RFID.

Carbunar et al. (2009) relatam que o fenômeno da colisão de sinais em sistemas RFID pode se originar de várias maneiras, como: (i) Interferência de múltiplos leitores a tag, ocorre quando mais de um leitor tentar ler a mesma tag em simultâneo, como demonstrado na Figura 1a (Papapostolou et al, 2011); (ii) Interferência leitor para leitor ocorre quando um sinal mais forte a partir de um outro leitor interfere com o sinal refletido fraco de uma etiqueta como ilustrado na Figura 1b (LI et al, 2013); (iii) Interferência de sobrecarga de leitores está vinculada com o balanceamento de carga entre leitores. A Figura 1c evidencia que as etiquetas respondem ao leitor R2, uma de cada vez. Isso acontece quando R2 inicia o processo de leitura em primeiro lugar utilizando um algoritmo anticolisão entre Tag's. Como resultado, o R2 pode identificar um número significativo de Tag's e, portanto, é responsável por monitorar essas Tag's no futuro. Por outro lado, dado que os códigos sejam silenciados após a identificação, R1 só pode ficar com algumas Tag's para identificar (CHIN et al., 2011); e (iv) Interferência de Tag para Tag acontece quando várias Tag's transmitem dados ao mesmo tempo para o mesmo leitor, o que provoca a incapacidade do leitor de reconhecer os dados como mostra a Figura 1d (HSU et al., 2011).

Figura 1 - Colisão de: (a) Múltiplos leitores; (b) leitor para leitor; (c) sobrecarga de leitores; e (d) Tag para Tag



Adaptado de Hsu et al., (2011) e Chin et al., (2011).

Zheng et al., (2013) informam que foram desenvolvidos muitos protocolos anticolisão baseados, basicamente, em quatro tipos de procedimentos: (i) *Space Division Multiple Access* (SDMA), são algoritmos que visam controlar o acesso entre Leitores e Tag's RFID através da distribuição das ondas de rádio em áreas específicas, normalmente esses algoritmos se utilizam de instrumentos matemáticos ou de simulação para estabelecer um posicionamento, direcionamento e foco de antenas acopladas aos leitores RFID, em uma determinada área (SHIH et al., 2006); (ii) *Frequency Domain Multiple Access* (FDMA), consiste em algoritmos que se baseiam na transmissão da informação em canais, ou seja, pequenas faixas de frequências dentro do espectro de transmissão, esses algoritmos tornam-se muito ineficientes quando submetidos a ambientes com mais leitores que o número de canais disponíveis (DELGADO et al, 2013); (iii) *Time Domain Multiple Access* (TDMA), são algoritmos que se baseiam no conceito de "Slot" de tempo, ou seja, reservam determinado tempo para cada equipamento realizar sua transmissão (SAYEED et al, 2011); e (iv) *Code Division Multiple Access* (CDMA), se baseia na transmissão realizada ao longo de várias frequências em vez de uma, o que torna muito difícil para um receptor não detectar. As informações são codificadas e transmitidas em uma sequência pseudo - aleatória ou em uma sequência ortogonal o que permite que vários equipamentos transmitam e recebam as informações (MAINA et al., 2007).

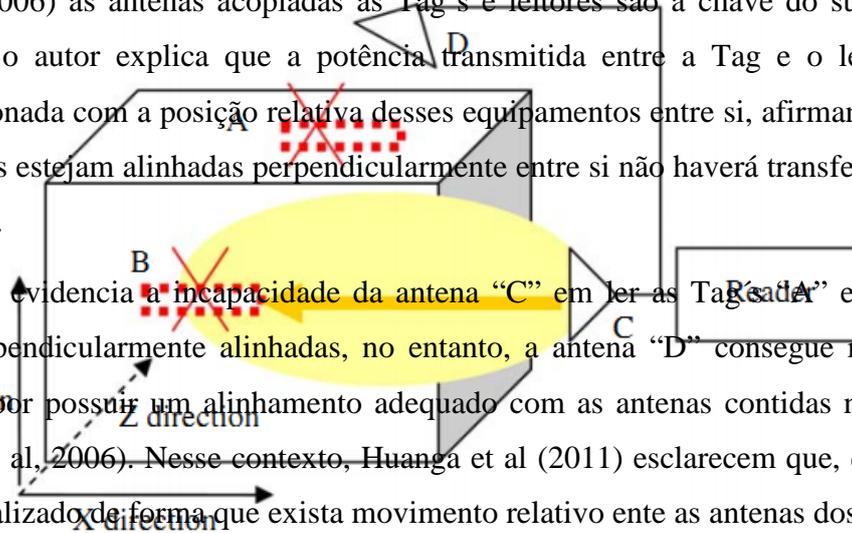
Cha et al., (2006) desenvolveram um algoritmo baseado em uma estratégia denominada distributed power control (DPC) que baseia –se no controle dinâmico da potência aplicada sobre as antenas. Outras Pesquisas como a de Jimenez et al., (2013), Chenn et al.,

(2011), Alsali et al., (2013), Saygin et al., (2010), Oztekin et al., (2010), Chen et al., (2010) e Papapostolou et al., (2011), também relatam a utilização do controle de potência sobre as antenas dos leitores RFID como forma de minimizar a colisão entre os equipamentos RFID. Já Namboodiri et al., (2010), em suas conclusões, destacam que o controle do nível de potência e o direcionamento da potência sobre uma área específica são tecnologias emergentes em sistemas RFID.

Penttilä et al., (2006) esclarecem que o controle de potência exercido por leitores RFID é apenas uma das variáveis que influenciam a troca de energia entre Tag e leitores. Já para Wu et al., (2006) as antenas acopladas às Tag's e leitores são a chave do sucesso da tecnologia RFID, o autor explica que a potência transmitida entre a Tag e o leitor está diretamente relacionada com a posição relativa desses equipamentos entre si, afirmando ainda que caso as antenas estejam alinhadas perpendicularmente entre si não haverá transferência de potência entre elas.

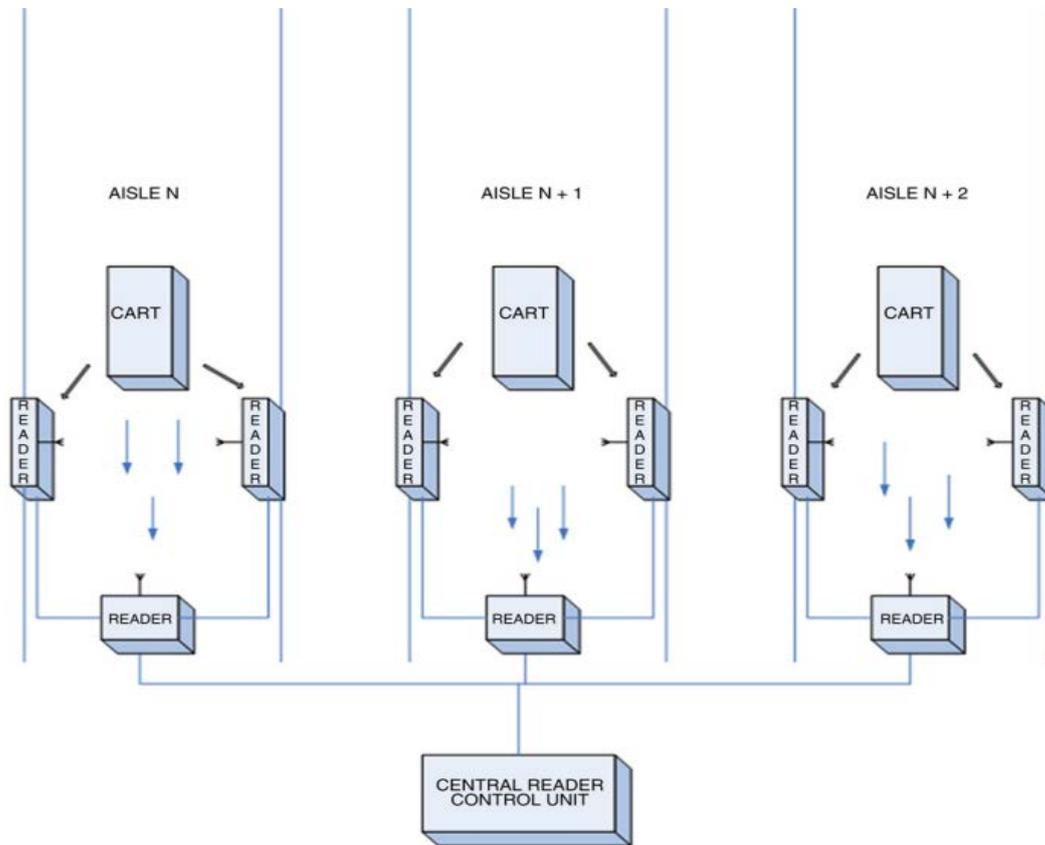
A Figura 2 evidencia a incapacidade da antena "C" em ler as Tag's "A" e "B" por estarem todas perpendicularmente alinhadas, no entanto, a antena "D" consegue realizar a leitura das Tag's por possuir um alinhamento adequado com as antenas contidas nas Tag's "A" e "B" (WU et al, 2006). Nesse contexto, Huang et al (2011) esclarecem que, quando o sistema RFID é realizado de forma que exista movimento relativo entre as antenas dos Leitores e das Tag's, a probabilidade de leitura aumenta, pois a probabilidade das antenas ficarem em desalinhamento, durante ou após o movimento, diminuem.

Figura 2 – Influência do posicionamento de antenas RFID na leitura.



Maina et al, (2007) afirmam que não devemos esperar que clientes posicionem os produtos em um carrinho de forma que as antenas das Tag fiquem corretamente posicionadas em relação às antenas dos leitores, por isso, o autor recomenda que cada local de inspeção contenha múltiplas antenas de leitores posicionadas de forma a permitir a leitura das Tag's em qualquer posição dentro do carrinho. Para evitar a colisão de sinais entre as antenas dos leitores, Maina et al, (2007) recomendam que seja utilizada uma estratégia do tipo TDMA centralizada, na qual uma unidade de controle sequencia o funcionamento dos leitores de forma a minimizar a colisão entre eles, a Figura 3 representa está estratégia.

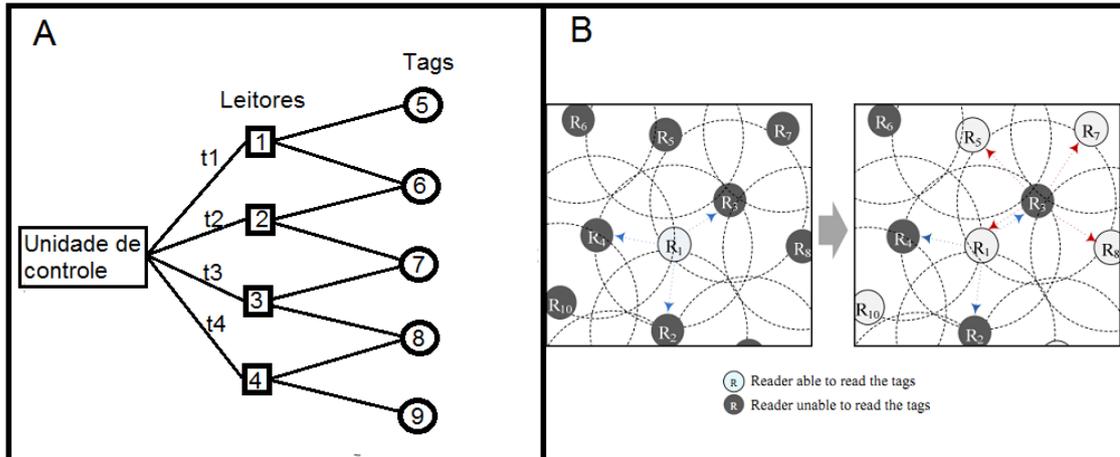
Figura 3 – sistema de leitura de carrinhos de transporte com antenas em alinhamento distinto.



Fonte Maina et al., (2007)

Dong et al, (2008) relataram em seus estudos sobre sistemas que utilizam algoritmos de controle centralizado que, esse tipo de controle, permite que os leitores sejam controlados de forma tanto a minimizar o efeito de colisões quanto permitem obter mais informações, como, por exemplo, o posicionamento da Tag, como é possível observar na Figura 4a na qual o sistema de controle sequencia o acionamento dos leitores em uma estratégia do tipo TDMA de forma que no Slot 1 identifique as Tag's 5 e 6, enquanto no Slot 2 identifica as Tag's 6 e 7 pelo leitor 2, com isso a unidade de controle identifica que a Tag 5 está no centro da zona de interrogação do leitor 1, enquanto a Tag 7 está localizada no centro da zona de interrogação do leitor 2. Já a posição da Tag 6 é reconhecida pela unidade de controle por estar na área de sobreposição das áreas de interrogação dos leitores 1 e 2 (DONG et al., 2008).

Figura 4 – (A) Unidade de controle centralizado; (B) Controle descentralizado.



Adaptado de Dong et al, (2008) e Ko et al, (2010).

No entanto, Ko et al. (2010) apresentam protocolos descentralizados que, como mostra a Figura 4b, verificam a existência de outros leitores em sua área de interrogação de forma a identificar os parâmetros necessários para realizarem sua autoconfiguração. Nesse contexto Delgado et al, (2013) esclarecem que, apesar dos protocolos baseados em algoritmos centralizados possuírem alta eficiência em relação a anticolisão, eles requerem um alto investimento em sua implantação, pois cada ambiente requer um ajuste adequado do sistema, no entanto, sistemas com protocolos descentralizados apresentam um menor tempo de implantação e adequação à alterações ambientais quando comparados a sistemas centralizados.

Já Costin et al, (2012) ressaltam que, em uma implantação de sistema RFID descentralizado na área de construção civil, foi necessária a criação de um algoritmo para o tratamentos dos dados depois de coletados, pois, segundo Costin et al., (2012), os leitores reportaram inconsistências como a identificação de pessoas e objetos simultaneamente em andares adjacentes.

#### 4 Discussões e resultados

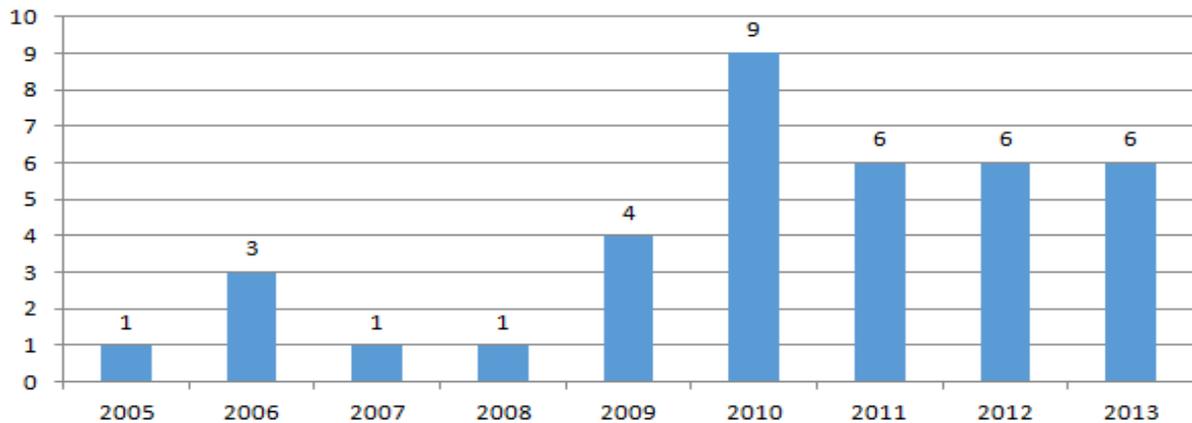
A Tabela 1 apresenta uma síntese das publicações, ordenada em ordem cronológica, utilizada durante a revisão da literatura. Esta tabela vincula cada publicação ao país em que foi realizada a pesquisa e a área de atuação ou setor em que a pesquisa se desenvolveu.

Tabela 1 – Síntese das publicações no período de 2005 a 2013.

Ano	Autor	País	Área de Atuação / Setor
2005	KATARIINA, P. et al.	Finlândia	Simulação
2006	N.C. Wu; M. A. Nystrom, et al.	Taiwan	Melhoria de Algoritmo
2006	SHIP, D.H.; SUN, P.L.S.; et al.	Mais de um	Classificação de Algoritmo
2006	N.C. Wu; M. A. Nystrom, et al.	EUA	Melhoria de Algoritmo
2007	MAINA, J. Y.; MICKLE, M. H.; et al.	EUA	Cadeia de suprimentos
2008	DONG, Q.; SHUKLA, A.; et al.	EUA	Simulação
2009	MEHRJERDI, Y. Z.	Iran	Cadeia de suprimentos
2009	WANG, C.; DANESHMAND, W.; et al.	EUA	Melhoria de Algoritmo
2009	ROUSSOS, G.; KOSTAKOS, V.	Mais de um	Computação
2009	Carbunar, B et al.	EUA	Simulação
2010	AZAMBUJA, C. A.; JUNG, C. F.; et al.	Brasil	Simulação
2010	H.H Cheung,; S.H. Choi.	Hong Kong	Cadeia de suprimentos
2010	Can Saygin; Balaji Natarajan.	Hong Kong	Indústria de aviação
2010	Yahia Zare Mehrjerdi.	Iran	Saúde
2010	Asil Oztekin; Foad M. Paloud, et al.	EUA	Saúde
2010	Chao Chen	EUA	Saúde
2010	CHEN, H; ZHU, Y.; et al.	China	Simulação
2010	NAMBOODIRI, V.; PENDSE, R.;	EUA	Simulação
2010	KO, D.; KIM, B.; et al.	Coreia	Simulação
2011	HUANGA, H.P.; CHANG, Y.C.	Taiwan	Cadeia de suprimentos
2011	CHENN, H.; ZHU, Y.; et al.	China	Simulação
2011	PAPAPOSTOLOU, A.; CHAOUCHI, H.	França	Simulação
2011	HSU, C.H.; YUAN, P. C.	Taiwan	Simulação
2011	CHIN, K.W.; KLAIR, D.	Austrália	Simulação
2011	SAYEED, S. I.; KIN, Y. S.; et al.	Coreia	Simulação
2012	RAZAVI, S.N.; MONTASER, A.; et al.	Canadá	Construção civil
2012	LEE, E. K.; OH, S.Y.; et al.	EUA	Automação
2012	JIN, C.; CHO, S.H.	Coreia	Simulação
2012	CHOI, J.S.; LEE, H.; et al.	Taiwan	Cadeia de suprimentos
2012	PARLAK, S.; SARCEVIC, A.; et al.	EUA	Saúde
2012	COSTIN, A.; PRADHANANGA, N.; et al.	EUA	Construção civil
2013	LIMA, M. K; BAHR, W.; et al.	Hong Kong	Cadeia de suprimentos
2013	JIMENEZ, C.; PERES, S.D.; et al.	França	Indústria de aviação
2013	LI, Z.; HE, C.	China	Melhoria de Algoritmo
2013	ALSALIH, W.; ALI, K.; et al.	EUA	Melhoria de Algoritmo
2013	DELGADO, M.V.B.; MARINO, P.P.	Espanha	Simulação
2013	ZHENG, J. L.; QIN, T.F.; et al.	China	Simulação

A Figura 5 mostra que 49% das publicações selecionadas ocorreram nos últimos três anos o que pode indicar um aumento da importância dos estudos da interferência de intermodulação em sistemas RFID, também pode-se inferir que as publicações selecionadas são muito recentes quando comparadas à primeira publicação ocorrida sobre a tecnologia RFID, o que segundo Domdouzis et al., (2007), ocorreu em 1948.

Figura 5 – Número de publicações realizada por ano.



Existe o predomínio do número de publicações realizadas pelos Estados Unidos da América que detêm 32% das publicações selecionadas (ver Figura 6), no entanto, a Ásia é o continente que mais detém publicações selecionadas, formando um total de 43% (ver Figura 7). Se considerarmos os cinco países que mais publicaram artigos selecionados, totalizamos 70% das publicações.

Figura 6 – Número de publicação por país.

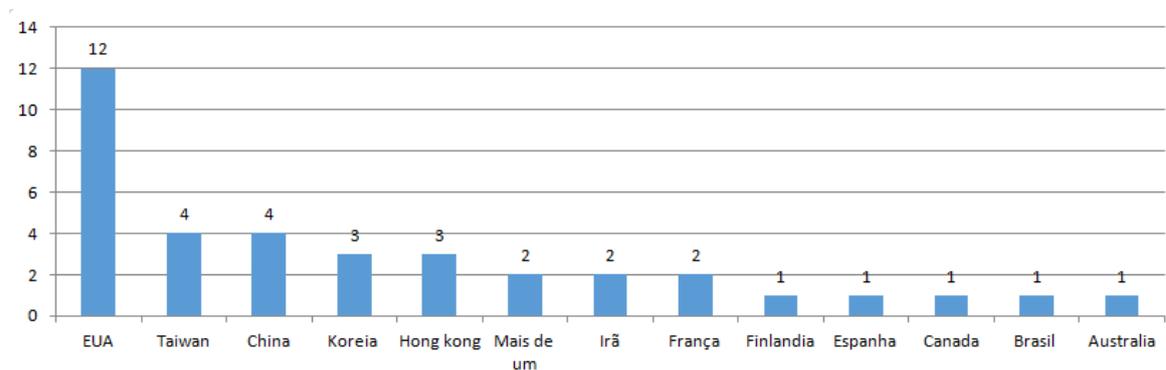
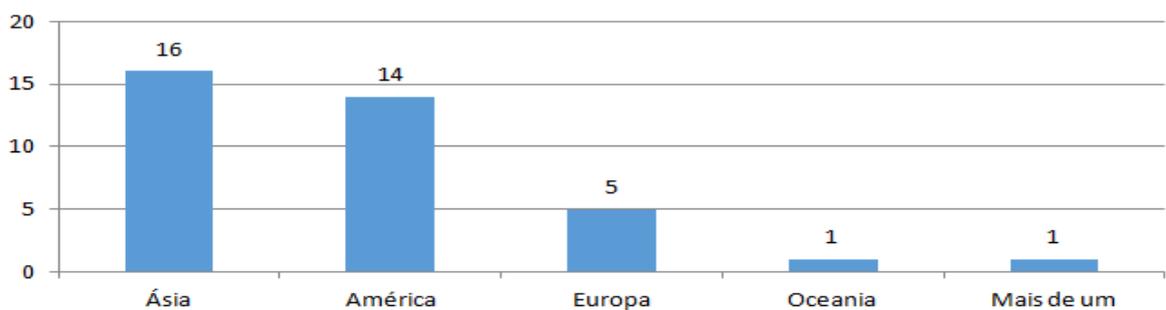
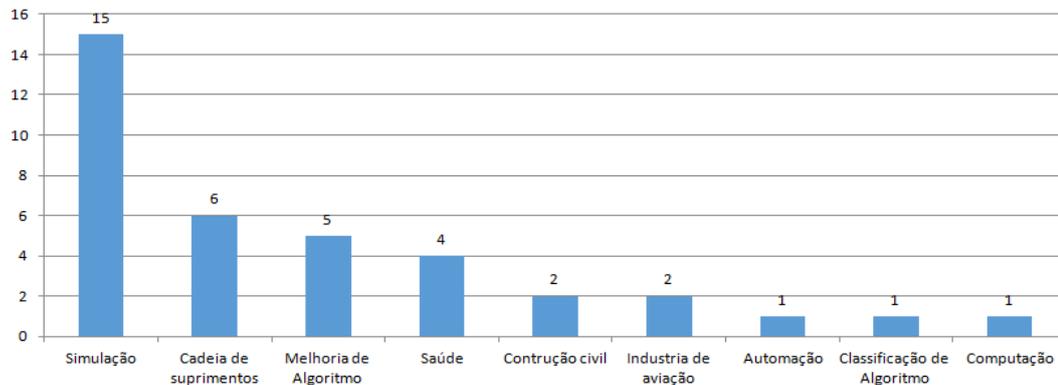


Figura 7 – Número de publicação por continente.



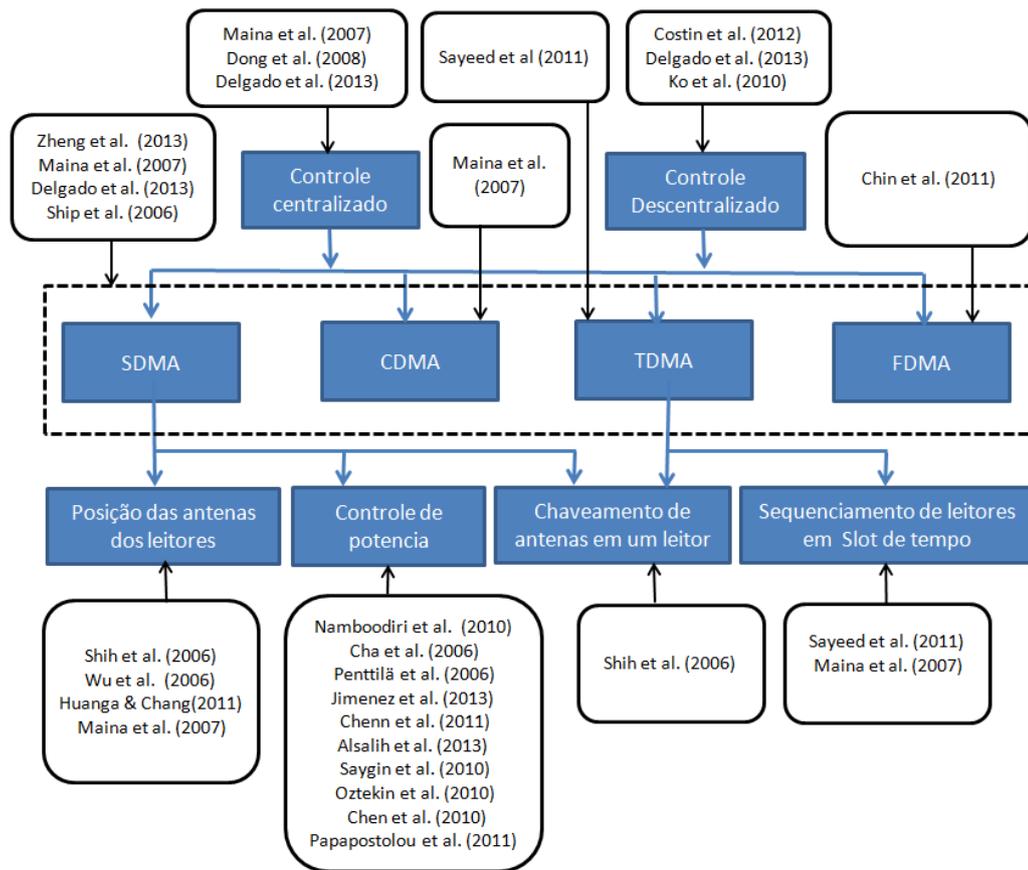
Uma observação importante está relacionada com o foco das publicações selecionadas; a Figura 8, evidencia que 40,5% dessas pesquisas estão relacionadas com algum aspecto da simulação. Convém ainda ressaltar que, artigos como: (i) Hsu et al. (2011); (ii) Ko et al.(2010); e (iii) Dong et al. (2008), fazem uso da simulação para comprovar seus resultados.

Figura 8 – Número de publicação por área de aplicação



A Figura 9 relaciona os tipos de classificação de algoritmos anticolisão com as publicações em que foram citadas, consolidando os vários tipos de classificação. Nessa Figura, fica evidenciada a importância do controle de potência dos leitores em sistemas anticolisão, o que se deve ao grande número de publicações que relatam a utilização desse tipo de controle, o que representa 27% de todas as publicações selecionadas para esta pesquisa.

Figura 9 – Classificação dos tipos de algoritmos anticolisão segundo as publicações.



## 5 Conclusões

Esse artigo apresentou uma revisão sistemática que reúne contribuições sobre o desenvolvimento de soluções para a redução do efeito da interferência de intermodulação entre antenas conectadas a leitores RFID. A busca dos artigos foi realizada nas plataformas *IEEE Periodicals*, *Emerald Management eJournals*, *SciVerse ScienceDirect (Elsevier)* e *SciVerse Scopus (Elsevier)*, sendo selecionados 37 trabalhos.

Percebe-se que 32% das publicações estão concentradas nos Estados Unidos da América e 70% em cinco países: (i) Estados Unidos da América; (ii) Taiwan; (iii) China; (iv) Coreia; e (v) Hong Kong. Desta forma, infere-se que existe uma concentração de desenvolvimento de tecnologia voltada à redução de interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID.

Identificou-se que o estudo de tecnologias voltadas à redução de interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID é recente, pois 49% das publicações selecionadas ocorreram nos últimos três anos. Além disso, 40% dos artigos se utilizavam de dados obtidos através de simulação e 43% tiveram seu foco na adequação ou criação de

soluções para setores ou áreas específicos. Estes fatos podem indicar que esta parte da tecnologia RFID ainda está em uma fase inicial do desenvolvimento, e que necessita de um estudo especificamente voltado para medir o seu grau de desenvolvimento.

Verificou-se que 27% das pesquisas selecionadas utilizaram algum método para controle da potência fornecida pelo leitor da antena. Porém, apenas Wu et al., (2006) relatam em suas conclusões a necessidade de utilizar, em pesquisas futuras, as características das antenas, como a capacidade de direcionar a energia em uma área específica para reduzir a intermodulação entre as antenas acopladas a leitores RFID.

Essa pesquisa permitiu a criação de um diagrama que concentra diversos tipos de classificação de algoritmos anticollisão relatados nas pesquisas selecionadas para este trabalho. Esse diagrama facilitará futuros estudos a classificarem os métodos utilizados em seus trabalhos para redução dos efeitos da interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID.

## Referências

- ALSALIH, W.; ALI, K.; HASSANEIN, H.; A power control technique for anti-collision schemes in RFID systems. *Computer Networks*. 57, 2013.
- AZAMBUJA, M.C. de.; JUNG, C.F.; CATEN, C.S.T.; HESSEL, F.P.; RFID-Env: Methods and Software, Simulation for RFID Environments. The current issue and full text archive of this journal is available at, vol. 16, No. 6, 2010.
- CARBUNAR, B. C.; RAMANATHAN, K.; KYUTÜRK, M.; JAGANNATHAN, S.; GRAMA, A.; Efficient tag Detection in RFID Systems. *J. Parallel Distrib. Comput.* 69, 2009.
- COSTIN, A.; PARADHANANGA, N.; TEIZER, J.; Leveraging Passive RFID Technology for Construction Resource Field Mobility and Status Monitoring in a High-Rise Renovation Project. *Automation in Construction*. 24, 2012.
- CHA, K.; ZAWODNIOK, M.; RAMACHNDRAN, A.; SARANGAPANI, J.; Interference mitigation and Read Rate Improvement in RFID-Based Network-Centric Environments. Emerald Group Publishing Limited. 2006.
- CHANG. Yoon. Seok, SOM. Min. Gyu, OH. Chang. Heun, Design and Implementation of RFID Based Air-Cargo Monitoring System, *Advanced Engineering Informatics*, 41-52 - Republic of Korea, 2011.
- CHENG, J.; CHO, S.H.; A Robust Baseband Demodulator for ISO 18000-6C RFID Reader Systems. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012.
- CHEN, H.; ZHU, Y.; HU, K.; Multi-colony Bacteria Foraging Optimization With Cell-to-Cell Communication for RFID Network Planning. *Applied Soft Computing*. 10, 2010.
- CHEN, C.; Design of a Child Localization System on RFID and Wireless Sensor Networks. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Sensors*. 2010.
- CHENN, H.; ZHU, Y.; HU, K.; KU, T.; RFID Network Planning Using a Multi-Swarm Optimizer. *Journal of Network and Computer Applications*, 34, 2011.

- CHEUNG, H.H.; CHOI, S.H.; Implementation Issues in RFID-Based Anti-Counterfeiting Systems. *Computers in Industry*, 62, 2010.
- CHIN, K. W.; KLAIR, D.; E 2 MAC: An Energy Efficient MAC for RFID-Enhanced Wireless Sensor Networks. *Pervasive and Mobile Computing*. 7, 2011.
- CHOI, J. S.; LEE, R.; ENGELS, D.W.; ELMASRI, R.; Passive UHF RFID-Based Localization Using Detection of Tag Interference on Smart Shelf. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS — PART C: APPLICATIONS AND REVIEWS*, VOL. 42, No. 02, 2012.
- DELGADO. M. Victoria Bueno, FERRERO. Renato, GANDINO. Filippo, MARIANO. Pablo. Pavon, REBAUDENGO. Maurizio, A Geometric Distribution Reader Anti-Collision Protocol for RFID Dense Reader Environments, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, VOL. 10, NO. 2, April 2013.
- DOMDOUZIS. Konstantinos, KUMAR. Bimal, ANUMBA. Chimay, Rádio-Frequency Identification (RFID) Applications: A Brief Introduction, *Advanced Engineering Informatics*, 350–355 – Glasgow, 2007.
- DONG, Q.; SHUKLA, A.; SHRIVASTAVA, V.; AGRAWAL, D.; BANERJEE, S.; Load Balancing in Large-Scale RFID Systems. *Computer Networks*. Vol. 52, 2008.
- HIGGINS. J.P.T, GREEN, S. Cochrane, *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.10*. Atualizada: Março 201. Disponível em: [www.cochrane-handbook.org](http://www.cochrane-handbook.org). Acesso em: 5 out. 2013.
- HSU, C. C.; YUAN, P.C.; The Design and Implementation of an Intelligent Deployment System for RFID Readers. *Expert Systems with Applications*. 38, 2011.
- HUANGA, H. P.; CHANG, Y. T.; Optimal Layout and Deployment for RFID Systems. *Advanced Engineering Informatics*, 25, 2011.
- JIMENEZ, C.; PÉRÈS, S. D.; FEUILLEBOIS, C.; PAULY, E.; Optimizing the Positioning and Technological Choices of RFID Elements for Aircraft Part Identification. *European Journal of Operational Research*, xxx, 2013.
- JUELS. Ari, RFID Security and Privacy: A Research Survey. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 24, no. 2, The author is with RSA Laboratories, Bedford – 2006.
- JUNG. C. F, Análise de Artigos de Revisão e Elaboração de Artigos Científicos. Edição 2013. Disponível em: [www.metodologia.net.br](http://www.metodologia.net.br). Acesso em: 1 out. 2013.
- KO, D.; KIM, B.; AN, S.; Research on Anti-Reader Collision Protocols for Integrated RFID-WSNs. *KSII TRANSACTIONS ON INTERNET AND INFORMATION SYSTEMS* VOL. 4, No. 5, 2010.
- LAZARO. A, GIRBAU. D, VILLARINO. R, Effects of Interferences in UHF RFID Systems, *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 98, 425-443, - Spain 2009.
- LEE, E. K.; OH, S.Y.; GERLA.; RFID Assisted Vehicle Positioning in VANETs. *Pervasive and Mobile Computing*, 8, 2012.
- LI, E.; CHUNHUI, H.; Optimal Scheduling-Based RFID Reader-to-Reader Collision Avoidance Method, Using Artificial Immune System. *Applied Soft Computing*. 13, 2013.
- LIMA, M. K; BAHR, W.; et al. RFID in the warehouse: A Literature Analysis (1995–2010) of Its Applications, Benefits, Challenger and Future Trends. *Int. J. Production Economics*, 145, 2013.
- MAINA, J, Y.; MICKLE, M. H.; LOVELL, M.R.; SCHAEFER, L.A.; Application of CDMA for Anti-Collision And increased Read efficiency of multiple RFID tags. *Journal of Manufacturing Systems*. 26, 2007.
- MEHRJERDI, Y.Z.; RFID: The Big Player in the Libraries of the Future. The current issue and full text archive of this journal is available at. Vol.29, No. 1, 2009.

- MEHRJERDI, Y.Z.: RFID-Enabled Healthcare Systems: Risk-Benefit Analysis. The current issue and full text archive of this journal is available at. Vol. 4, No. 3, 2010.
- MOTAMEDI. Ali, SOLTANI. Mohammad. Mostafa, HAMMAD. Amin, Localization of RFID-Equipped Assets During the Operation Phase of Facilities, *Advanced Engineering Informatics* xxx (2013) xxx-xxx – Canada, 2013.
- NAMBOODIRI, V.; PENDSE, R.; Bit Level Synchronized MAC Protocol for Multi-Reader RFID Networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2010.
- OZTEKIN, A.; PAJOUH, F. M.; DELEN, D.; SWIM, L.K.; An RFID Network Design Methodology for Asset Tracking in Healthcare. *Decision Support Systems*. 49, 2010.
- PAPAPOSTOLOU, A.; CHAOUCHI, H.; RFID-Assisted Indoor Localization and the Impact of Interference on its Performance. *Journal of Network and Computer Applications*, 34, 2011.
- PARLAK, S.; SARCEVIC, A.; MARSIC, I.; BURD, R.S.; Introducing RFID Technology in Dynamic and Time-Critical Medical Settings Requirements and challenges. *Journal of Biomedical Informatics*. 45, 2012.
- PARK. Kwang. So, KOH. Chang. E, NAM. Kyungdoo. Ted, Perceptions of RFID technology: a cross-national study. The current issue and full text archive of this journal is available at [www.emeraldinsight.com/0263-5577.htm](http://www.emeraldinsight.com/0263-5577.htm), 2010.
- PENTTILÄ, K.; MIKKO, K.; SYDÄNHEIMO, L.; KIVIKOSKI, M.; Rádio Frequency Technology for Automated Manufacturing and Logistics Control. Part 2: RFID antenna utilisation in industrial applications. *INT. J. Adv. Manuf Technol*. 2006.
- SAYEED, S.I.; KIM, S.Y.; YANG, H.; YOON, J.G.; A Solution to the RFID. Reader Interference Problem using Adaptive Beam-forming Approach. 2011.
- SAYGIN, C.; NATARAJAN, B.; RFID-Based Baggage-Handling System Design. Research article. 2010.
- SHIH, D.H.; SUN, P.L.; YEN, D.C.; HUANG, S.M.; Taxonomy and Survey of RFID Anti-Collision Protocols. *Computer Communications*. Vol. 29, 2006.
- RAZAVI, S. N.; MONTASER, A.; MOSELHI, O.; RFID Deployment Protocols for Indoor Construction. *Construction Innovation*, vol. 12, No. 2, 2012.
- ROUSSOS, G.; KOSTAKOS, V.; RFID in Pervasive Computing: State-of-the-art and outlook. *Pervasive and Mobile Computing*. 5, 2009.
- TRAPPEY. Charles. V, WU. Hsin. Ying, DUTTA. Fataneh. Taghaboni, Using Patent Data For Technology Forecasting: China RFID Patent Analysis. *Advanced Engineering Informatics*, 53–64 – Taiwan, 2011.
- WANG. Dingwei, IP. W. H, Review on Modeling and Optimization Problems about RFID Technology and Applications. 25th Chinese Control and Decision Conference, 1258- 1263, China -2013.
- WANG, C.; DANESHMAND, M.; SOHRABY, K.; Optimization of tag Reading Performance in Generation-2 RFID Protocol. *Computer Communications*. 32, 2009.
- WANG. Lung. Chuang, Enhancing Construction Quality Inspection and Management Using RFID Technology, *Automation in Construction*. 467–479. Department of Civil Engineering, National Taipei University of Technology – Taiwan, 2008.
- WU, N.C.; NYSTROM, M.A.; LIN, T.R.; YU, H.C.; Challenges to Global RFID Adoption. *Technovation*. 26, 2006.
- YANG. Lei, HAN. Jinsong, QI. Yong, WANG. Cheng, GU. Tao, LIU. Yunhao, Season: Shelving Interference and Joint Identification in Large-scale RFID Systems. This Paper was Presented as Part of the Main Technical Program at IEEE INFOCOM, 3092-3100, Hong Kong - 2011.

ZHENG, J.L.; QIN, T.F.; NI, G.N.; Tree-based Backoff Protocol for Fast RFID tag Identification. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications. Vol. 20, 2013

ZHU. Lei, YUM. Tak. Shing. Peter, A Critical Survey and Analysis of RFID Anti-Collision Mechanisms. IEEE Communications Magazine, 214-221, The Chinese University of Hong Kon, Hong Kong - 2011.

REN, Z; ANUMBA, C.J; TAH, J, RFID-facilitated Construction Materials Management (RFID-CMM) – A Case Study of Water-Supply Project, Advanced Engineering Informatics, 198–207, 2011.

**2.2 ARTIGO 2**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ANTENA COM DIAGRAMA DE  
RADIÇÃO AJUSTÁVEL PARA A FAIXA DE FREQUÊNCIA UHF DE  
SISTEMAS RFID DESTINADA A SISTEMAS PRODUTIVOS**

Artigo a ser submetido ao  
Journal Technovation  
ISSN 0166-4972  
CLASSIFICAÇÃO QUALIS/CAPES 2014:  
A1 ENG III

# DESENVOLVIMENTO DE UMA ANTENA COM DIAGRAMA DE RADIAÇÃO AJUSTÁVEL PARA A FAIXA DE FREQUÊNCIA UHF DE SISTEMAS RFID DESTINADA A SISTEMAS PRODUTIVOS

**Flavio Lucas da Rosa**

**Carlos Fernando Jung**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
End.: Av. Osvaldo Aranha, n. 99/ 5º andar, Bom Fim – CEP 90.035-190 – Porto Alegre/RS  
e-mail.:flaviotaq@gmail.com; carlosfernandojung@gmail.com;

## **Resumo**

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa exploratória-experimental que teve por finalidade desenvolver uma antena na faixa de frequência UHF (Ultra High Frequency) para sistemas RFID (Radio Frequency Identification) com diagrama de radiação ajustável. Foi utilizado um modelo para P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) aplicado a produtos eletrônicos. Testes realizados com o protótipo desenvolvido demonstraram a capacidade de permitir o ajuste do lóbulo de radiação, podendo contribuir para a redução dos efeitos de intermodulação entre antenas utilizadas em sistemas RFID. O protótipo desenvolvido também demonstrou a possibilidade de ser empregado como uma antena direcional ou omnidirecional de acordo com a configuração de instalação.

**Palavras-chave:** RFID, Antena, intermodulação.

## **Abstract**

*This article presents the results of an exploratory and experimental research aimed to develop an antenna in the UHF frequency range (Ultra High Frequency) (RFID systems Radio Frequency Identification) with adjustable radiation pattern a model for R & D was used applied to electronic products. Tests with the prototype demonstrated the ability to allow adjustment of the radiation lobe, can contribute to reducing the effects of intermodulation between antennas used in RFID systems. The prototype developed also demonstrated the possibility of being employed as a directional or omnidirectional antenna according to the installation configuration.*

**Keywords:** RFID, Antenna, intermodulation.

## 1 INTRODUÇÃO

Silva (2014) afirma que a primeira utilização da identificação por rádio frequência RFID surgiu na Segunda Guerra Mundial, quando era necessário identificar a aproximação de aviões, amigos ou inimigos, para essa finalidade, os alemães desenvolveram uma técnica de giro das aeronaves que alterava o sinal recebido pelo radar, permitindo identificá-los como aviões alemães. Houari (2015) complementa afirmando que não demorou muito tempo até as forças aliadas entenderem o motivo para os aviões alemães efetuarem rotações coordenadas em pleno voo e, desenvolverem um sistema de identificação de aeronaves baseado em um transponder que, segundo Marques (2012), é um equipamento que, ao detectar uma onda de rádio de um radar, transmite um código via rádio que identifica a aeronave. Houari (2015) ressalta que esse sistema é tão eficiente que atualmente ainda é utilizado em aeronaves comerciais e militares.

Segundo Breier (2015), a tecnologia RFID vem apresentando um desenvolvimento crescente e constante devido a altos investimentos em pesquisas e desenvolvimento em identificação por rádio frequência na faixa de frequência UHF (Ultra High Frequency), principalmente na frequência de 915 MHz. Nesse contexto, Berz (2011) afirma que esse crescimento está ligado à utilização da tecnologia RFID, em massa, nas cadeias de suprimento, varejo e transportes, tanto para localização quanto para gestão de informações de produtos e pessoas.

Azambuja (2011) esclarece que em um sistema RFID normalmente se utiliza de antenas, e canais de comunicação para troca de informações para dentro do sistema. Assim, Lazaro et al. (2009), Delgado et al. (2013), Zhu et al. (2011), Wang et al. (2013) e Yang et al. (2011) relatam a necessidade do desenvolvimento de técnicas para redução da intermodulação causada pelo grande número de equipamentos RFID em uma mesma área física.

Corroborando, Rosa et al. (2015) analisaram 37 pesquisas realizadas sobre intermodulação entre antenas de leitores RFID e concluiu que, 27% delas indicavam a restrição da área de atuação da antena como forma de redução da intermodulação, sendo essa redução de área realizada pela redução da potência transferida do leitor para a antena, o que segundo Chen et al. (2010), também resulta em uma menor quantidade de energia disponível para a identificação das etiquetas. Rosa et al. (2015) ressaltam que, nas pesquisas analisadas, nenhuma alterou as características das antenas ligadas ao leitor RFID como forma de restrição do efeito da intermodulação de sinais. Já Wu et al. (2006) relatam a necessidade do

desenvolvimento de antenas com a capacidade de ajustar a direção da energia em uma área específica, para reduzir a intermodulação entre as antenas acopladas a leitores RFID.

Este artigo apresenta uma pesquisa exploratória, com o objetivo de desenvolver uma antena na faixa de frequência UHF para sistemas RFID com diagrama de radiação ajustável. Foi utilizado um modelo de P&D para desenvolvimento de produtos eletrônicos. O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta o referencial teórico, a seção 3 os procedimentos metodológicos da pesquisa, na seção 4 são apresentadas a discussão e os resultados obtidos e a seção 5 apresenta a conclusão do estudo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Sistemas RFID**

Silva (2014) esclarece que RFID é uma tecnologia que pode ser aplicada de diversas formas e que leva esse nome por ser um sistema de identificação por Rádio Frequência, cuja sigla é a abreviação de *Radio Frequency Identification*.

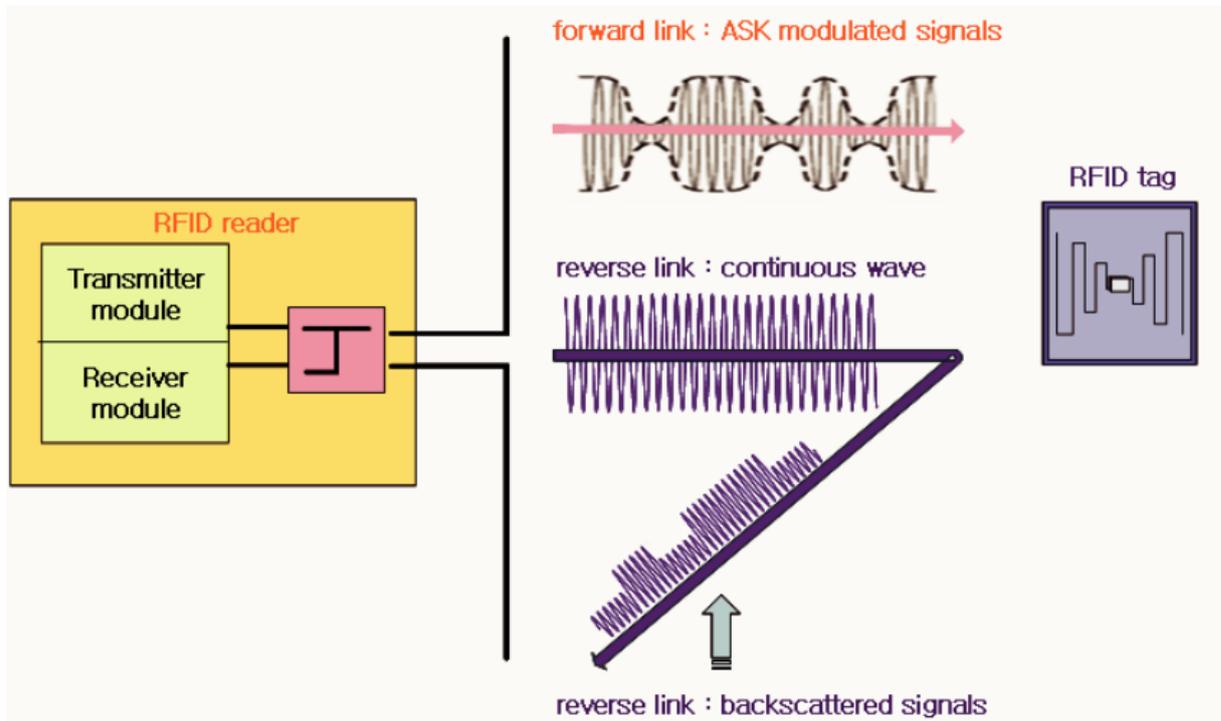
Motamedi et al. (2013) afirmam que um típico sistema de RFID é formado por uma antena acoplada a um leitor/transmissor de Rádio Frequência - RF e um ou mais transponders RF também conhecidos como etiquetas que, normalmente, são fixadas em objetos que se deseja identificar ou rastrear. Marques (2012) completa afirmando que as etiquetas, classificadas como passivas, extraem energia do campo em questão para seu funcionamento da própria onda de rádio frequência utilizada para comunicação entre os dispositivos que compõem o sistema RFID.

Houari (2015) ressalta que o leitor é responsável por todas essas tarefas, uma vez que a etiquetas passivo é um dispositivo de baixa capacidade de cálculo e, sendo assim, a responsabilidade de todas as tarefas recai sobre o reader. Dessa forma, em todos os mecanismos de segurança, gestão e controle do sistema deverão ser colocados reader (HOUARI, 2015).

Azambuja (2011) explica que o canal de comunicação do leitor é dividido em um canal de envio e outro de retorno, conforme Figura 1 no canal de envio, o transmissor do leitor envia uma portadora modulada para a etiqueta, já no canal de retorno, o leitor recebe um sinal refletido e intermodulado pela etiqueta. Kim et al. (2009) complementam afirmando que esse processo acarreta em grandes perdas de energia, pois a energia é irradiada por uma região

inteira em vez de ser transmitida entre a Etiquetas e o leitor, isso acarreta num aumento da fragilidade do sistema com o aumento da distância entre Etiquetas e Leitor.

Figura 1 – Sistema RFID com Etiquetas passiva.



Fonte: Kim et al. (2009).

Lima et al. (2013) e Cha et al. (2006) relatam que um dos principais empecilhos para a difusão da tecnologia RFID é a intermodulação de sinais entre os próprios dispositivos RFID de um sistema, ou seja, por exemplo, quando dois leitores geram duas portadoras moduladas na mesma frequência, que interagem entre si, confundindo o canal de retorno de ambos os leitores. Nesse contexto, Azambuja (2011) ressalta a necessidade da utilização de técnicas específicas para o tratamento da intermodulação de equipamentos RFID, citando como alternativa para redução dos efeitos da intermodulação a utilização de protocolos anticolisão.

## 2.2 Antenas

Rios et al. (1982) definem uma antena como um dispositivo capaz de irradiar ou receber energia eletromagnética. Nesse sentido, Prado et al. (2006) esclarecem que a capacidade de transmissão de energia entre duas antenas acopladas a dispositivos RFID pode ser afetada pela posição e orientação da antena da etiqueta e uma antena do leitor, ou seja, se a antena da etiqueta estiver perpendicular à uma antena do leitor, a outra não poderá receber os sinais da segunda. Complementando, Grilo (2012) afirma que a polarização de uma antena

está associada à posição e orientação da mesma, ressaltando que, para que a transmissão de energia entre antenas seja bem sucedida, devem ser escolhidas antenas com polarização compatível.

Rios et al. (1982) relatam que um diagrama de irradiação de uma antena é um gráfico de sua irradiação na zona distante, ressaltando que isso permite identificar as principais características de uma antena, como: i) polarização; ii) tamanho e formato do feixe principal; iii) nível de lóbulos secundários; iv) diretividade; v) ganho; vi) razão frente-costas; e vii) potência de irradiação.

Kraus (1983) explica que o ganho de uma antena é o resultado da comparação entre a intensidade de radiação máxima da antena analisada com a intensidade de radiação de uma outra antena com uma mesma potência de entrada. Normalmente, essa antena de referência é uma antena linear de meio comprimento de onda. Zanolourensi (2011) resalta que os sistemas RFID utilizam o decibel (dB) para descrever o ganho da antena, pois essa é uma medida da razão entre duas quantidades, ou seja, é adimensional, semelhante à porcentagem. Do ponto de vista mecânico, Zanolourensi (2011) afirma que uma antena é um arranjo de peças metálicas, que pode estar sujeito aos diferentes esforços provenientes da fixação e do ambiente de instalação, resultando em diferentes dimensões, peso e escolha dos materiais. Corroborando, Grilo (2012) esclarece que antenas microfita, são conhecidas como antenas impressas, construídas utilizando técnicas de fabricação de circuitos impressos de tal maneira que a camada metálica seja responsável pela irradiação.

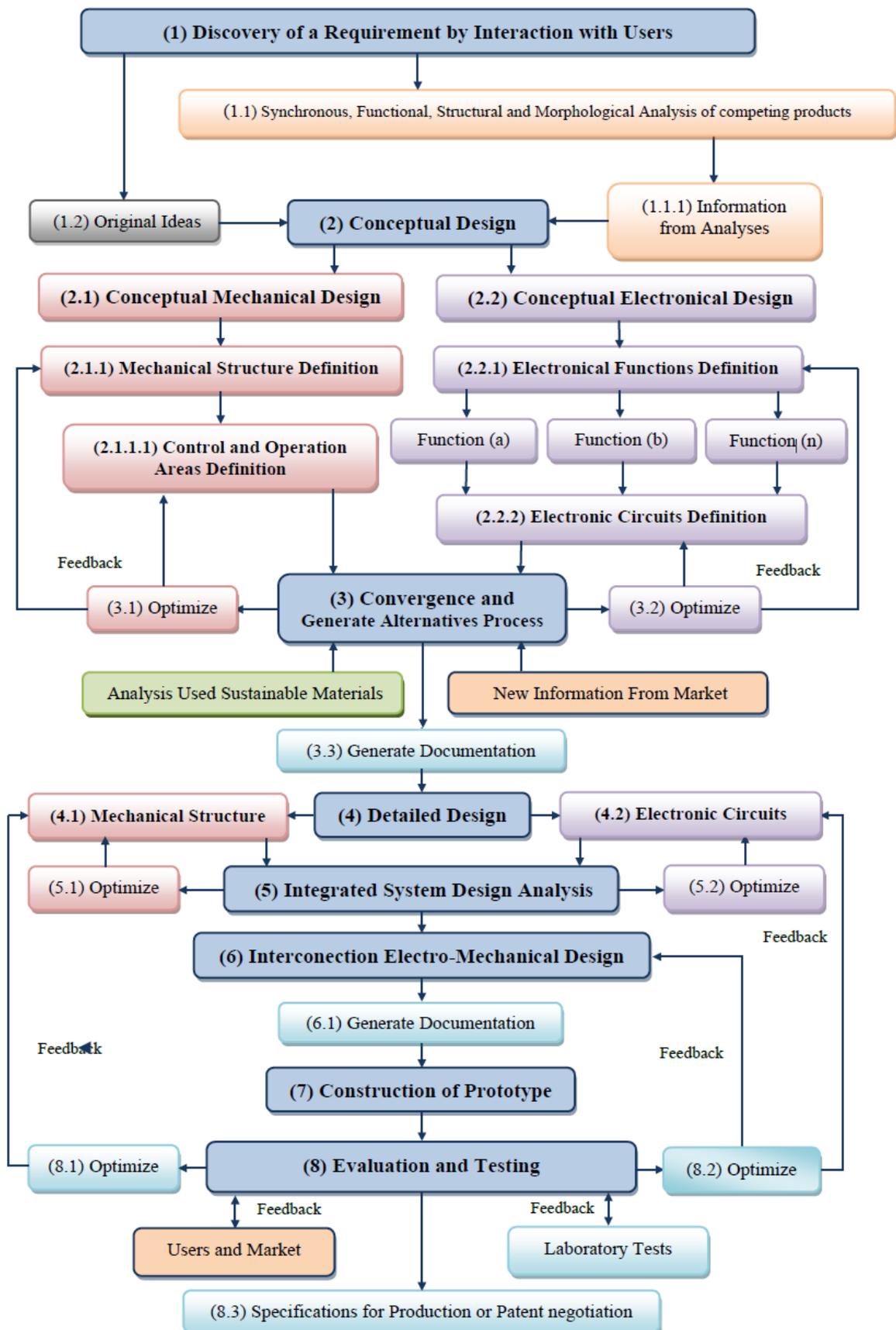
Para Barros (2012) as principais vantagens de antenas de microfita comparadas às antenas clássicas, são: i) baixo custo; ii) leveza; iii) tamanho reduzido; iv) adaptabilidade a superfícies curvas; e v) compatibilidade com circuitos integrados. No entanto, segundo Grilo (2012), existem algumas desvantagens desse tipo de antena, entre elas: i) largura de banda estreita; ii) baixa eficiência de irradiação; iii) radiação em apenas um hemisfério; iv) radiações indesejáveis das alimentações, junções e ondas superficiais; e v) baixa capacidade de potência.

### **2.3 Modelo de desenvolvimento de produto**

Pacheco (2012) afirma que, o Método de P&D para Produtos Eletrônicos Aplicado a Engenheiros, Projetistas e Inventores Independentes proposto por Jung, Caten e Ribeiro (2010), é um modelo que resultou de aplicações, testes e experimentações realizadas pelos autores ao longo de trinta anos quando do desenvolvimento de produtos eletrônicos.

Corroborando, Dewes et al. (2011) versa sobre a uso constante da criatividade nas etapas do método descritas na Figura 2.

Figura 2 – Etapas do Método de P&amp;D para Produtos Eletrônicos.



Fonte: Jung, Caten e Ribeiro (2010).

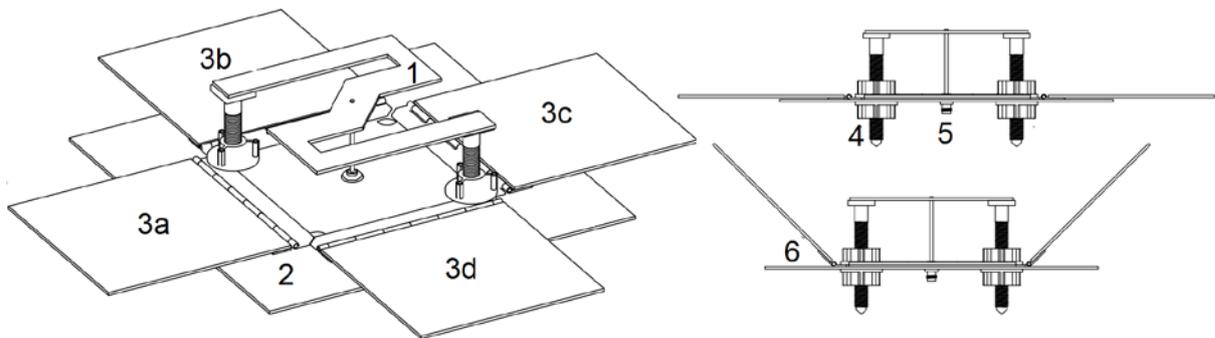
### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Essa pesquisa pode ser classificada como exploratória, pois, segundo Jung (2013), esse tipo de pesquisa visa estudar um conhecimento pouco explorado. Utilizou-se do modelo de desenvolvimento de produtos proposto por Jung, Caten e Ribeiro (2010) para nortear o desenvolvimento deste artigo, já que esse modelo foi desenvolvido para P&D de produtos eletrônicos.

Para substituir a primeira fase do modelo de P&D, foram utilizados os resultados obtidos pela pesquisa realizada por Rosa et al. (2015a) sobre análise de pesquisas e sobre a intermodulação de leitores antenas para sistemas RFID. Já para realização da segunda etapa do modelo de P&D - *Projeto Conceitual* - foram desenvolvidos o *projeto conceitual elétrico* e o *projeto conceitual mecânico*.

Na Figura 3, evidencia-se a definição do *projeto conceitual mecânico*, optou-se pelo desenvolvimento de uma antena do tipo direcional com monopolo alimentado ao centro e com modificação geométrica para encurtamento mecânico do elemento irradiante, devido as suas principais vantagens quando comparadas com antenas clássicas que, segundo Barros (2012), oportunizam: i) baixo custo; ii) leveza; e iii) tamanho reduzido.

Figura 3 –Projeto mecânico: (1) Irradiante; (2) Refletor principal; (3a), (3b), (3c) e (3d) Refletores articulados; (4) Parafusos plásticos que fixam o radiante; (5) Conector; e (6) refletor articulado aberto em 45°.



O item 4 da Figura é um parafuso de nylon que tem dupla função, a estabilização do radiante e a fixação da própria antena, optou-se por parafusos de nylon por possuírem baixa influencia no projeto elétrico. A articulação entre o refletor principal e os refletores articulados é realizada através uma dobradiça de latão soldada através de uma liga 60% estanho e 30% chumbo, sendo necessário um tratamento ácido sobre a superfície da dobradiça a ser soldada sobre as placas de cobre

Já para a o *projeto conceitual elétrico* foram usadas as análises propostas por Carrijo (2009), as quais indicaram que para a frequência estudada o irradiante deveria ter 15 cm.

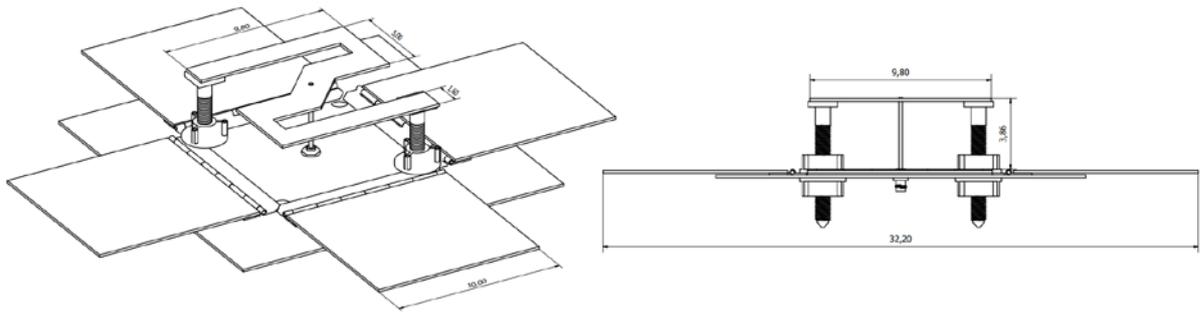
Porém, o mesmo autor apresentou uma técnica de segmentação do radiante que, além de reduzir o tamanho, também melhorava a polarização da antena quando comparada com um dipolo de meia onda. Durante a construção experimental do irradiante diferenças na configuração do mesmo resultaram em um irradiante com características superiores ao modelo sugerido por Carrijo (2009), sendo esse modelo adotado no protótipo. As diferenças entre o modelo experimental de radiante desenvolvido nesta dissertação em relação ao modelo de Carrijo (2009) ocorreram devido a uma sequência de testes com analisador vetorial. Estes testes tinham como objetivo ajustar o comprimento de onda do radiante e a distância entre o radiante do refletor principal.

Durante a elaboração do projeto conceitual elétrico, surgiram duas possibilidades de alterar o lóbulo de radiação, sendo: i) Articulação do irradiante; e ii) Articulação de refletores. Testes iniciais em análise vetorial demonstraram a impossibilidade de ser articulado (ajustável) o elemento irradiante devido à instabilidade da reatância capacitiva e indutiva que ocasionava uma variação inadequada da impedância.

Na terceira etapa, *convergência do projeto conceitual mecânico com o projeto conceitual elétrico e a geração de alternativas técnicas*, verificou-se, na prática dificuldades em desenvolver soluções capazes de compatibilizar os projetos, especialmente na forma de direcionar o lóbulo de radiação, por questões mecânicas e compatibilização elétrica (reatância indutiva e capacitiva) optou-se por não realizar a articulação do irradiante e apenas criar articulações nos quatro refletores propostos. Também foi necessária a utilização de parafusos de nylon para reforço estrutural do irradiante para não influenciar nas características elétricas.

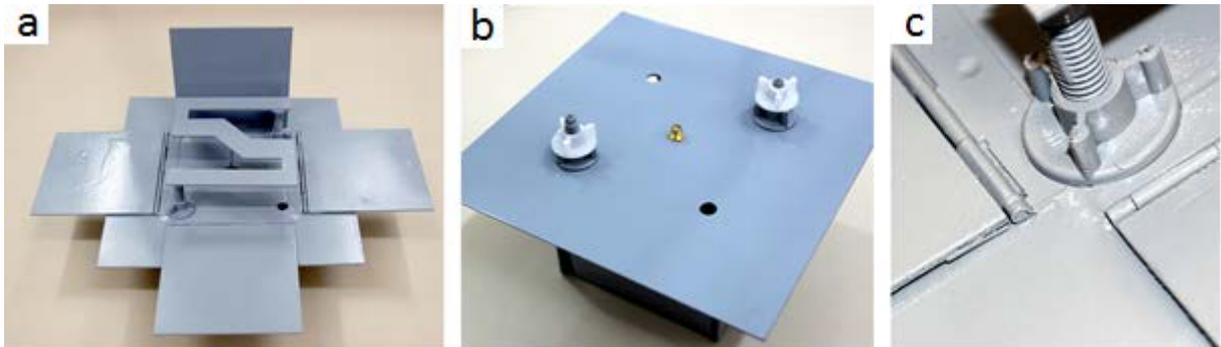
A quarta etapa do processo resultou no *detalhamento mecânico do projeto* que foi realizado através do software Inventor que permitiu a escolha das dimensões de cada parte do projeto mecânico e por consequência o projeto elétrico, que sofre grande influência dessas dimensões, conforme Figura 4. Além disso, também permitiu a exportação das dimensões do modelo para simulação através da utilização software HFSS para realização da *análise integrada do sistema projetado e a interconexão do projeto eletromecânico*, sendo esta a quinta e sexta etapas do modelo de desenvolvimento de produto.

Figura 4 –Projeto de detalhamento mecânico.



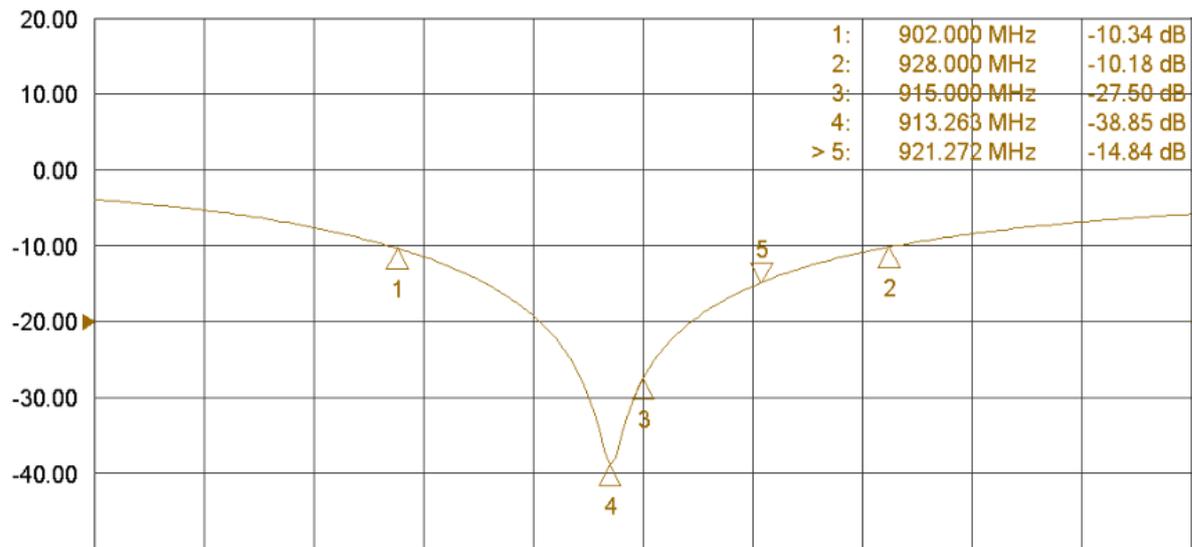
O resultado da etapa relacionada com construção do protótipo, evidenciada na Figura 5, permitiu a última etapa do modelo *Desenvolvimento e Testes*.

Figura 5 –Protótipo desenvolvido: (A) Vista frontal do protótipo desenvolvido; (B) Vista traseira do protótipo desenvolvido; e (C) Detalhe das dobradiças responsáveis pela articulação dos refletores articulados.



Os primeiros testes foram realizados com analisador vetorial marca HP-Agilent, modelo PNA-L N5230C, configurado em modo S11 ajustado com potência de 10dB, em uma faixa de varredura de 800 MHz a 1GHz. Foram registrados dados de três frequências principais: 902 MHz (início da faixa), 915 MHz (nominal) e 928 MHz (final da faixa), ver Figura 6. A análise permitiu a verificação das características básicas da antena como a SWR (Relação de Ondas Estacionárias), RL (Return Loss/Perda por Retorno) e Z (Impedância). Esta análise revelou a necessidade de ser reduzido o comprimento físico do irradiante.

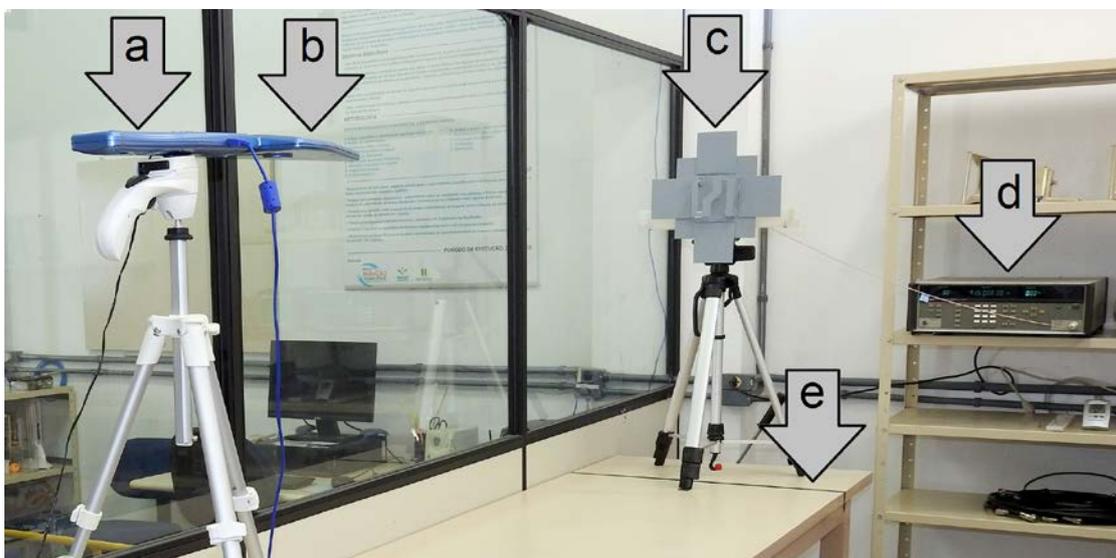
Figura 6 – Resultado inicial do ensaio com analisador vetorial (RL – Return Loss/Perda por Retorno)



O protótipo desenvolvido foi comparado com antenas comerciais, para isso foi montado um sistema de ensaios capaz de bloCAR as variáveis ambientais da área de testes, como ilustra a Figura 7.

Duas antenas comerciais foram utilizadas para comparação com o protótipo proposto, a saber: i) Antena marca MTI, modelo MT-262010/TRLH/A/K/Q essa antena foi escolhida por ser utilizada nos estudos de Rosa et al. (2015b), Marques (2012) e Azambuja (2011) como padrão de análise para seus ensaios; ii) Antena marca Acura, modelo bistatic, essa antena foi escolhida por ter sido utilizada por Jung et al. (2012) em pesquisa para monitoramento de linhas produtivas em um ambiente industrial.

Figura 7 – Equipamentos e posição correspondente na área de testes experimentais: (a) Analisador de espectro, marca: AARONIA, modelo SPECTRAN HF-60100 V4; (b) Antena HyperLOG, Modelo 60100; (c) Protótipo desenvolvido; (d) Gerador de Sinais, marca: Fluke, modelo: 6060B; (e) Linha de referência da antena.



Para realização dos testes, o gerador de sinal foi ajustado para frequência de 915 MHz e potências de 10 dB e 0 dB, sendo conectado ao protótipo ou às antenas comerciais durante os ensaios. A antena conectada ao analisador de espectro foi utilizada na polarização vertical e horizontal permanecendo fixa nas posições desejadas durante todo o experimento, a uma distância de 1,7 metros da linha de referência. Em todos os ensaios, as antenas comparadas foram posicionadas com o lóbulo de radiação alinhado em altura com o centro do lóbulo de radiação da antena conectada ao analisador de espectro.

Inicialmente as antenas a serem analisadas foram testadas com seu lóbulo de radiação alinhado com a linha de referência, no entanto, na segunda série de testes, elas foram rotacionadas  $45^\circ$  à direita e, para a terceira série de testes, as antenas analisadas foram rotacionadas mais  $45^\circ$  à direita, de forma que o alinhamento dos lóbulos de radiação ficasse posicionado de forma perpendicular à linha de referência.

O resultado das três séries de testes originou dados para análise comparativa entre a antena desenvolvida e os dois outros modelos; esses dados também serviram de base para validação dos resultados da pesquisa.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Durante os testes realizados no Analisador Vetorial, necessários para ajuste fino da frequência, enfrentou-se uma grande dificuldade em compatibilizar as características do protótipo desenvolvido com as características necessárias para fins comerciais de uma antena para sistemas RFID, a saber: i) Impedância de 50 Ohms; e ii) Mínimo RL de -10 dB (Return Loss/Perda por retorno), ver Figura 8. Foi evidenciado que, quanto maior é a inclinação dos refletores da antena, maior é o aumento da taxa de retorno da energia (R.O.E) da antena, o que resulta em uma diminuição da eficiência do protótipo desenvolvido. Porém, essa diminuição representa uma redução de eficiência inferior ao ganho proporcionado pela alteração do lóbulo de radiação, evidenciada na comparação entre as Figuras 9 e 10, que apresentam o resultado da simulação do lóbulo de radiação do protótipo desenvolvido, em duas configurações diferentes, que permitem atingir áreas com diferentes intensidades de sinal.

Figura 8 – Resumo dos resultados obtidos na primeira sequência de testes.

Inclinação dos refletores	902 MHz			915 MHz			928 MHz		
	Ganho (db)	Impedância ( $\Omega$ )	R.O.I	Ganho (db)	Impedância ( $\Omega$ )	R.O.I	Ganho (db)	Impedância ( $\Omega$ )	R.O.I
0°	-10,34	34,73	1,87	-27,5	49,17	1,09	-10,18	27,53	1,9
45°	-9,54	38,33	1,97	-15,41	54,79	1,4	-6,84	20,39	2,66
90°	-9,64	40,07	1,99	-13,69	56,46	1,54	-5,99	18,39	3,02

Figura 9 – Lóbulo de radiação simulado com refletores do protótipo a 0°, sendo: a) Lóbulo de radiação e b) Lóbulo de radiação com posicionamento do protótipo.

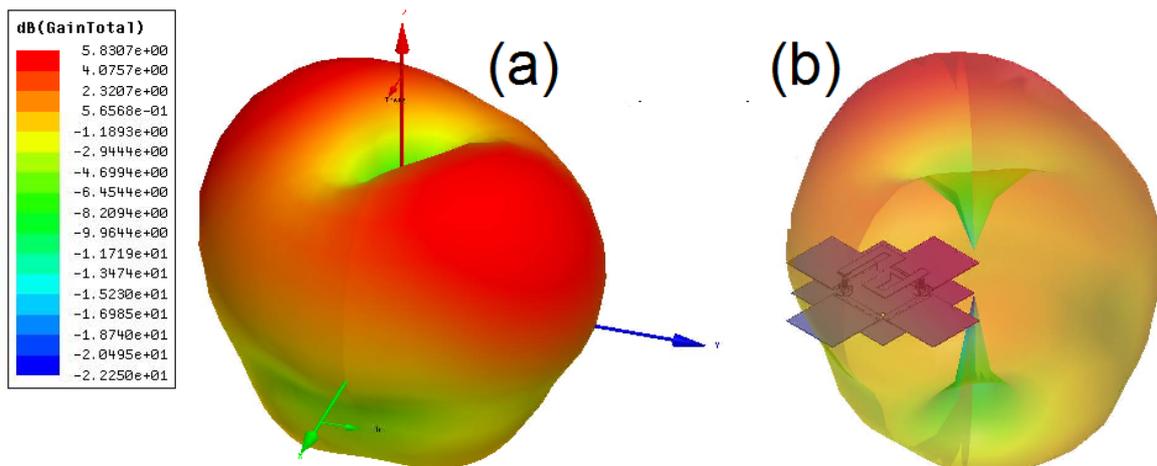
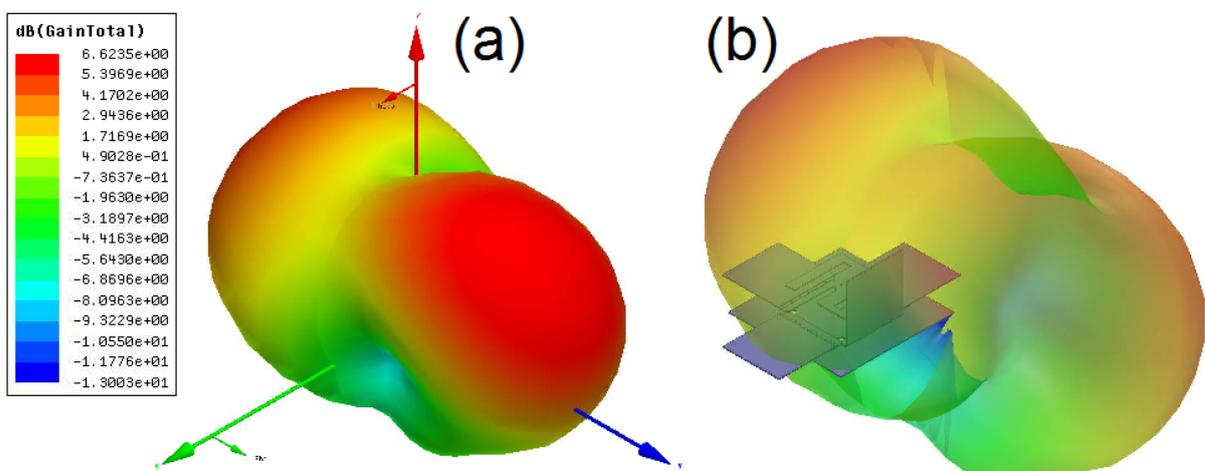


Figura 10 – Lóbulo de radiação simulado com três refletores do protótipo a 0° e um refletor a 90°, sendo: a) Lóbulo de radiação e b) Lóbulo de radiação com posicionamento do protótipo.



Ao analisar os diagramas de radiação apresentados na Figura 9, constatou-se um comportamento do lóbulo de sinal semelhante ao lóbulo de irradiação de antenas omnidirecionais (com plano de terra). Nessa configuração, a antena deixa de ter um comportamento de antena direcional distribuindo a energia em uma área lateral ao radiante e apresentando uma zona de baixa intensidade de sinal ao topo do irradiante, o que indica a necessidade de uma fixação com refletor principal, alinhado paralelo ao solo. Já a Figura 10 evidencia uma configuração do protótipo com um refletor articulado em 90 graus, o que reestrutura a configuração da distribuição da energia ao redor da antena, direcionando a energia para duas áreas distintas específicas, tornando-se uma antena direcional, o que confirma a capacidade do protótipo desenvolvido de alterar seu diagrama de radiação e também indica uma capacidade de atuar tanto como antena direcional, como antena omnidirecional.

O ganho do protótipo quando configurado com refletores em  $0^\circ$  e posicionado alinhado com a linha de referência, ver Figura 7, foi inferior aos resultados comparativos com as antenas comerciais, como registrado na Figura 10, isso pode ser explicado pelo formato escolhido de radiante e pela configuração analisada, que não representa a melhor configuração para essa forma de instalação. Na configuração de ensaio descrita, a melhor configuração da antena projetada refere-se ao posicionamento dos refletores laterais e superior em  $90^\circ$  e refletor inferior em  $0^\circ$ . Isso resultou em um aumento de eficiência de 18,41 dBm na polarização horizontal do protótipo. Apesar da melhor eficiência, o protótipo apresentou um resultado de 1,7 dBm inferior a antena comercial. Convém salientar que as características de instalação utilizados durante os testes, que resultaram nos dados apresentados na Figura 10, representam uma típica instalação em que uma antena fica alinhada com uma possível etiqueta a ser detectada.

Figura 10 – Resultado do ensaio comparativo entre o protótipo e as antenas comerciais.

Antenas alinhadas com a linha de referência			
Polarização Horizontal	Protótipo com refletores em 90°	Protótipo com refletores em 45°	Protótipo com refletores em 0°
	-32,72 dBm	-34,07 dBm	-42,98 dBm
Polarização Vertical	Protótipo com refletores em 90°	Protótipo com refletores em 45°	Protótipo com refletores em 0°
	-43,77 dBm	-46,07 dBm	-32,57 dBm
Polarização Horizontal	Protótipo com refletor inferior a 0° e demais a 90°	Antena comercial Acura	Antena comercial Mti
	-24,57dBm	-23,27 dBm	-22,87 dBm
Polarização Vertical	Protótipo com refletor inferior a 0° e demais a 90°	Antena comercial Acura	Antena comercial Mti
	-33,80 dBm	-18,98 dBm	-22,19 dBm

Os dados apresentados na Figura 11, representam uma instação em que existe a necessidade detectar um objeto com uma etiqueta RFID que se encontra não exatamente a frente da antena, mas em uma área lateral a antena situada a 45° onde a fixação da base da antena do leitor não permita sua inclinação. Nesta situação os dados apresentados na Figura 11 evidencia uma maior eficiência da antena projetada sobre as antenas comerciais.

Figura 11 – Resultado do ensaio comparativo entre o protótipo e as antenas comerciais com inclinação de 45°.

Antenas inclinadas a 45° em relação à linha de referência			
Polarização Horizontal	Protótipo com refletor horizontal direito a 90° e demais a 0°	Antena comercial Acura	Antena comercial Mti
	-30,68dBm	-44,41 dBm	-32,08 dBm
Polarização Vertical	Protótipo com refletor horizontal direito a 90° e demais a 0°	Antena comercial Acura	Antena comercial Mti
	-28,48dBm	-31,68 dBm	-32,90 dBm

Quando o protótipo é comparado com as antenas comerciais em uma configuração de instalação típica, como a parede lateral de um corredor, onde o irradiante fica posicionado a 90° em relação ao movimento da Etiquetas, o protótipo passa a possuir uma intensidade de sinal de 8,55dBm superior ao melhor valor apresentado por antenas comerciais, na configuração horizontal como podemos constatar ao analisarmos a Figura 12.

Figura 12 – Resultado do ensaio comparativo entre o protótipo e as antenas comerciais com inclinação de 90°.

Antenas inclinadas a 90° em relação à linha de referência			
Polarização Horizontal	Protótipo com refletor horizontal direito a 90° e demais a 0°	Antena comercial Acura	Antena comercial Mti
	-34,59dBm	-44,14 dBm	-43,14 dBm
Polarização Vertical	Protótipo com refletor horizontal direito a 90° e demais a 0°	Antena comercial Acura	Antena comercial Mti
	-31,46dBm	-43,88 dBm	-35,75 dBm

A habilidade de alterar o lóbulo de radiação do protótipo desenvolvido pode ser utilizada para evitar que uma ou mais áreas recebam níveis de energia significativos de duas ou mais antenas, o que contribui para a redução da intermodulação de sinais oriundos da comunicação utilizada por sistemas RFID.

## 5 CONCLUSÕES

Esse artigo apresentou uma pesquisa exploratória-experimental que teve por finalidade desenvolver uma antena na faixa de frequência UHF para sistemas RFID com diagrama de radiação ajustável.

O estudo proporcionou o desenvolvimento de um novo produto a partir do resultado das pesquisas de Rosa et al. (2015) e Wu et al. (2006). Foi utilizado o modelo de desenvolvimento de produtos eletrônicos proposto por Jung, Caten e Ribeiro (2010).

Foram realizados testes comparativos entre o protótipo e dois modelos de antenas comerciais, onde o protótipo apresentou resultados inferiores em determinadas configurações de instalação e superiores em outras configurações de instalações. No entanto, o protótipo desenvolvido demonstrou a capacidade de permitir o ajuste de seu lóbulo de radiação, o que pode ser utilizado para redução dos efeitos de intermodulação entre equipamentos utilizados em sistemas RFID.

O protótipo proposto demonstrou a capacidade de ser utilizado tanto como antena direcional quanto como antena omnidirecional, de acordo com a necessidade em ambientes comerciais e/ou industriais alterando a configuração de instalação. Essa possibilidade pode proporcionar uma série de futuras pesquisas, como: i) verificação da existência de antenas configuráveis simultaneamente como omnidirecionais e direcionais; ii) desenvolvimento de um irradiante para utilização em antenas configuração omnidirecional e direcional para sistemas RFID; iii) desenvolvimento de um sistema de configuração automático do lóbulo de radiação ajustável; e iv) investigação de novas possibilidades de uso.

## 6 REFERÊNCIAS

- AZAMBUJA, M. C. Modelo e Técnicas para Simulação de Sistema UHF de Identificação por Rádio Frequência (RFID). Tese de Doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2011.
- BARROS, V. F. *Estudo do efeito de substrato metamateriais em parâmetros de antenas de microfita*. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- BREIER, G. P. Abordagem Ecoinovadoras Para o Desenvolvimento de Novos Produtos. Tese – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.
- BERZ, E. L. Predição do funcionamento de Sistema RFID aplicado a crachás inteligentes. Dissertação de Mestre em Ciências da Computação na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2011.
- CHEN, C.; Design of a Child Localization System on RFID and Wireless Sensor Networks. Hindawi Publishing Corporation Journal of Sensors. 2010.
- CORRIJO, G. D. Estudo de antenas para etiquetas do sistema de identificação por radiofrequência. Monografia de trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, 2009.
- DELGADO, M. V. B.; FERRERO, R.; GANDINO, F.; PAVON-MARINO, P.; REBAUDENGO, M. A geometric distribution reader anti-collision protocol for RFID dense reader environments. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. 10, n. 2, 2013.
- DEWES, F. NEVES, F. M. JUNG, C. F. CATEN, C. S. T. Ambientes e Estímulos Favoráveis à criatividade aplicada a processos de inovação de produtos. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto – CBGDP, 2011.
- GRILO, M. *Uma Antena de Banda Dupla para RFID*. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2012.
- HOUARI, M. Detecção e identificação múltipla de pessoal e material para a RFID em navios da marinha. Dissertação para obtenção do título de mestre em Ciências Militares Navais, na especialização de Engenheiros Navais de Armas e Eletrônica. Portugal, 2015.
- HIGGINS. J.P.T, GREEN, S. Cochrane, Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.10. Atualizada: Março 2011. Disponível em: [www.cochrane-handbook.org](http://www.cochrane-handbook.org). Acesso em: 5 out. 2013.
- JUNG, C. F. CATEN, C. S. T. A Method of R&D electronic product for application by independent engineers designers and inventors. XV International conference on industrial engineering and operations management. Salvador, Brasil October, 2009.
- JUNG, C. F. CATEN, C. S. T. RIBEIRO, J. L. D. A Method of R&D electronic product for application by independent engineers designers and inventors. Brazilian journal of operations & production management. V. 7, n. 2, 2010, p. 153 – 173.
- JUNG. C. F, Análise de Artigos de Revisão e Elaboração de Artigos Científicos. Edição 2013 Disponível em: [www.metodologia.net.br](http://www.metodologia.net.br). Acesso em: 1 out. 2013.
- KRAUS, J. D. *Antenas*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1983. 516 p.
- LAZARO, A.; GIRBAU, D.; VILLARINO, R. Effects of interferences in UHF RFID systems. *Progress In Electromagnetics Research*, v. 98, p. 425-443, 2009.
- LIMA, M. K; BAHR, W.; et al. RFID in the warehouse: A Literature Analysis (1995–2010) of Its Applications, Benefits, Challenger and Future Trends. *Int. J. Production Economics*, 145, 2013.

- MARQUES, J. M. C. Análise dos Fatores que Influenciam a Eficiência da Tecnologia RFID Aplicada a Sistemas de Produção. Porto Alegre, RS: FEENG/UFRGS, PPGE/UFRGS, 2012.
- MOTAMEDI, A.; SOLTANI, M. M.; HAMMAD, A. Localization of RFID-Equipped Assets During the Operation Phase of Facilities. *Advanced Engineering Informatics*, v. 27, n. 4, p. 566–579, 2013.
- PRADO, N. R. S. A.; PEREIRA, N. A.; POLITANO, P. R. Dificuldades para a adoção de RFID nas operações de uma cadeia de suprimentos. *Anais do XXVI ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Fortaleza, 2006.
- RIOS, L. G.; PERRI, E. B. *Engenharia de antenas*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1982. 186p.
- ROSA, F. L.; JUNG, C. F.; RIBEIRO, J. L. D. Análise de pesquisas sobre intermodulação entre antenas de leitores rfid aplicados a sistemas de produção. *Iberoamerican journal of industrial engineering*, Florianopolis-sc, Brasil vol. 7, p.22-40, 2015, issn 2175 -8018
- SILVA, I. C. Controle de banco de horas e acesso utilizando etiquetas RFID. Bacharel em Ciências da Computação. Lavras, 2014.
- YANG. Lei, HAN. Jinsong, QI. Yong, WANG. Cheng, GU. Tao, LIU. Yunhao, Season: Shelving Interference and Joint Identification in Large-scale RFID Systems. This Paper was Presented as Part of the Main Technical Program at IEEE INFOCOM, 3092-3100, Hong Kong - 2011.
- WANG. Dingwei, IP. W. H, Review on Modeling and Optimization Problems about RFID Technology and Applications. 25th Chinese Control and Decision Conference, 1258- 1263, China -2013.
- WU, N.C.; NYSTROM, M.A.; LIN, T.R.; YU, H.C.; Challenges to Global RFID Adoption. *Technovation*. 26, 2006.
- ZANLOURENSI, L. G. *Identificação por rádio frequência - RFID*. 2011. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- ZHU, L.; YUM, T. S. A critical survey and analysis of RFID anti-collision mechanisms. *Communications Magazine, IEEE*, v. 49, n. 5, p. 214-221, 2011.

## CAPÍTULO 3

### 3.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Em relação ao objetivo específico de analisar pesquisas sobre intermodulação entre antenas de leitores RFID aplicados a sistemas de produção, identificar e classificar as técnicas utilizadas para evitar a intermodulação, o artigo 1 apresentou uma revisão sistemática que analisou 37 pesquisas selecionadas das plataformas IEEE Periodicals, Emerald Management e Journals, SciVerse ScienceDirect (Elsevier) e SciVerse Scopus (Elsevier), sendo selecionados 37 trabalhos.

Percebe-se que 32% das publicações estão concentradas nos Estados Unidos da América e 70% em cinco países: (i) Estados Unidos da América; (ii) Taiwan; (iii) China; (iv) Coreia; e (v) Hong Kong. Dessa forma, infere-se que existe uma concentração de desenvolvimento de tecnologia voltada à redução de interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID.

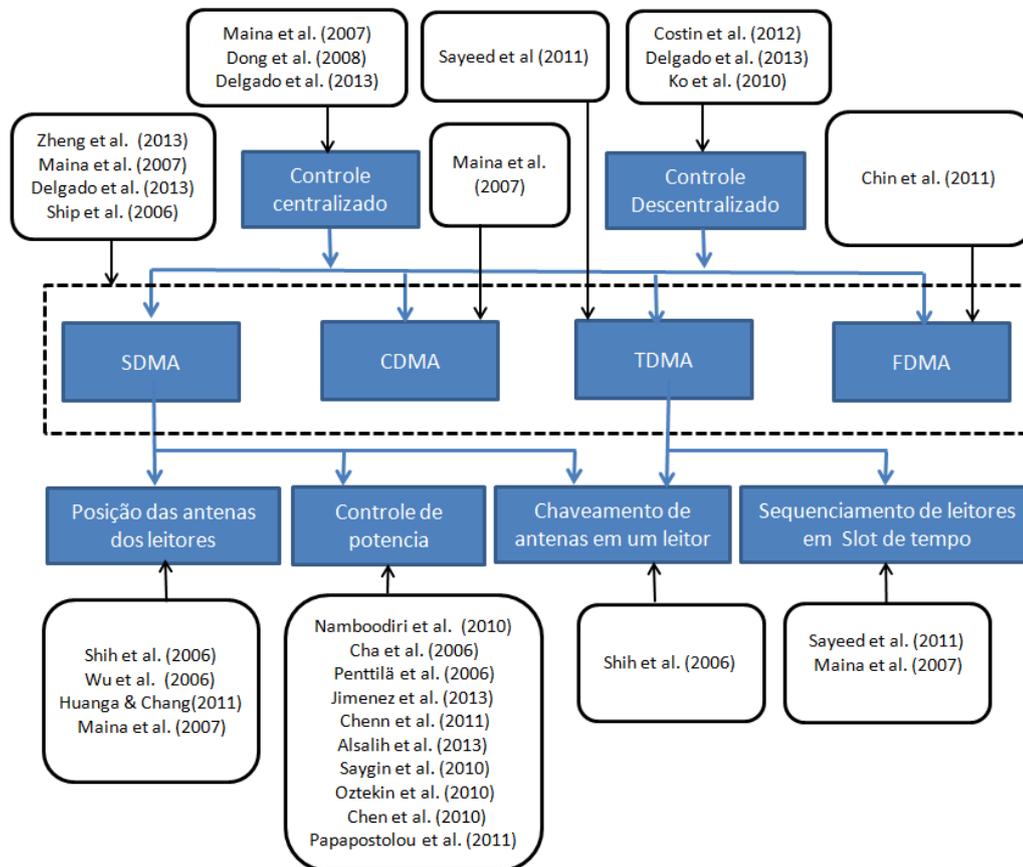
Identificou-se que o estudo de tecnologias voltadas à redução de interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID é recente, pois 49% das publicações selecionadas ocorreram nos no período de pesquisa até 2013. Além disso, 40% dos artigos faziam uso de dados obtidos através de simulação e 43% tiveram seu foco na adequação ou criação de soluções para setores ou áreas específicas. Esses fatos podem indicar que essa parte da tecnologia RFID ainda está em uma fase inicial do desenvolvimento e que necessita de um estudo especificamente voltado para medir o seu grau de desenvolvimento.

Verificou-se que 27% das pesquisas selecionadas utilizaram algum método para controle da potência fornecida pelo leitor à antena. Porém, apenas Wu et al, (2006) relata em suas conclusões a necessidade de utilizar, em pesquisas futuras, as características das antenas,

como a capacidade de direcionar a energia em uma área específica, para reduzir a intermodulação entre as antenas acopladas a leitores RFID.

No artigo 1, foi identificado que diversos autores apresentavam e classificavam os sistemas anticolisão utilizados em sistemas RFID, porém nenhum dos modelos permitiam a classificação de todos os tipos de intermodulação para sistemas RFID. Nesse contexto, a pesquisa, apresentada no artigo 1, reuniu os métodos de classificação de técnicas utilizadas para eliminar ou atenuar a intermodulação de forma a se complementar, dando origem a uma nova proposta de classificação de modelos utilizados para classificação de técnicas empregadas para redução da intermodulação em sistemas que utilizam a tecnologia RFID, como evidencia a Figura 3.

Figura 3 – Classificação dos tipos de algoritmos anticolisão segundo as publicações.



Em relação ao objetivo específico de desenvolver e construir um protótipo de antena direcional na faixa de UHF aplicada a sistemas RFID, com lóbulo de radiação ajustável, o artigo 2 apresentou o desenvolvimento de uma antena com diagrama de radiação ajustável para a faixa de frequência uhf de sistemas rfid destinada a sistemas produtivos, desenvolvido através modelo P&D de produtos eletrônicos proposto por Jung et al., (2010).

A partir dos testes realizados no protótipo desenvolvido, verificou-se que a capacidade de alterar seu lóbulo de radiação permite a configuração de inúmeras formas de instalação e

inúmeras possibilidades de direcionamento da energia. Como o irradiante do protótipo desenvolvido foi fixado a uma distância cinco vezes mais longa em relação ao refletor quando comparado com as antenas analisadas no estudo, obteve uma antena com características tanto de uma antena omni direcional, quando seus refletores estão com ângulos próximos a zero graus, e características de uma antena direcional, quando um ou mais refletores são articulados, portanto, aproximados do topo do radiante. Essa habilidade descrita flexibiliza muito as possibilidades de uso desse novo modelo de antena, principalmente, em relação a sua capacidade de atenuar ou mesmo evitar a intermodulação, pois permite que o instalador direcione a ação da antena para uma área específica, evitando que duas ou mais antenas instaladas afetem o mesmo local e causem a intermodulação de seus sinais ou mesmo necessitem utilizar alguma técnica anticolisão.

### **3.2 CONCLUSÕES**

Essa dissertação versou sobre a análise e contribuições para redução de intermodulação entre antenas de leitores utilizados em sistemas RFID. Foram realizadas duas pesquisas para obtenção dos resultados apresentados. Os estudos abordaram temas que abrangem aspectos técnico-científicos relativos à intermodulação entre equipamentos utilizados em sistemas RFID.

A pesquisa de revisão sistêmica realizada verificou que 70% das publicações relacionadas ao desenvolvimento de tecnologia voltada à redução de interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID analisadas estavam concentradas em apenas cinco países e 49% das publicações selecionadas ocorreram nos últimos três anos. Também foi identificado que diversos autores apresentavam e classificavam os sistemas anticolisão utilizados em sistemas RFID, porém nenhum dos modelos permitiam a classificação de todos os tipos de intermodulação para sistemas RFID. Nesse contexto, foram reunidos os métodos de classificação de técnicas utilizadas para eliminar ou atenuar a intermodulação de forma a se complementar, dando origem a uma nova proposta de classificação de modelos utilizados para classificação de técnicas utilizadas para redução da intermodulação em sistemas que utilizam a tecnologia RFID.

A pesquisa de revisão sistemática realizada não identificou nenhuma forma de eliminação da intermodulação em sistemas RFID que não acarrete em prejuízo para alguma característica importante do sistema ou aumento de custo de implementação, o que motivou o desenvolvimento de uma antena para a faixa de frequência UHF destinada a sistemas RFID

com diagrama de radiação ajustável, que pode permitir o direcionamento da energia da antena para áreas específicas, atenuando ou mesmo eliminando assim a intermodulação ocorrida entre os componentes de um sistema RFID.

O protótipo desenvolvido para realização dos testes e consequentes análises apresentou características de antena omnidirecional com seus refletores articulados abertos e características de antena direcional quando um ou mais refletores são aproximados do topo do irradiante.

Também foi constatado que a antena desenvolvida permite sua instalação em situações que antenas comerciais não foram projetadas para atender.

### **3.3 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

Em relação a pesquisa – Análise de Pesquisas sobre Intermodulação entre Antenas de Leitores RFID Aplicados a Sistemas de Produção, sugere-se a continuidade do estudo em função das possíveis publicações realizadas a partir de 2013, devido ao número de pesquisas em andamento.

Em relação a pesquisa - Desenvolvimento de Antena na Faixa de frequência UHF Para Sistemas RFID com Diagrama de Radiação Ajustável, sugere-se o aprofundamento do estudo nos seguintes temas: i) Verificação da existência de antenas capazes de operar tanto como omnidirecionais e direcionais; ii) desenvolvimento de um radiante com características ainda melhores para o sistema; iii) desenvolvimento de um sistema de configuração automático do lóbulo de radiação ajustável; e iv) investigação de novas possibilidades de uso para a antena proposta.

## REFERÊNCIAS

- AZAMBUJA, M. C. Modelo e Técnicas para Simulação de Sistema UHF de Identificação por Rádio Freqüência (RFID). Tese de Doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2011.
- BERZ, E. L. Predição do funcionamento de Sistema RFID aplicado a crachás inteligentes. Dissertação de Mestrado em Ciências da Computação na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2011.
- CARBUNAR, B. C.; RAMANATHAN, K.; KYUTÜRK, M.; JAGANNATHAN, S.; GRAMA, A.; Efficient tag Detection in RFID Systems. *J. Parallel Distrib. Comput.* 69, 2009.
- CHA, K.; ZAWODNIOK, M.; RAMACHNDRAN, A.; SARANGAPANI, J.; Interference mitigation and Read Rate Improvement in RFID-Based Network-Centric Environments. Emerald Group Publishing Limited. 2006.
- CHEN, H.; ZHU, Y.; HU, K.; Multi-colony Bacteria Foraging Optimization With Cell-to-Cell Communication for RFID Network Planning. *Applied Soft Computing*. 10, 2010.
- DELGADO. M. Victoria Bueno, FERRERO. Renato, GANDINO. Filippo, MARIANO. Pablo. Pavon, REBAUDENGO. Maurizio, A Geometric Distribution Reader Anti-Collision Protocol for RFID Dense Reader Environments, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, VOL. 10, NO. 2, April 2013.
- HIGGINS. J.P.T, GREEN, S. Cochrane, *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.10*. Atualizada: Março 201. Disponível em: [www.cochrane-handbook.org](http://www.cochrane-handbook.org). Acesso em: 5 out. 2013.
- JUNG, C. F. CATEN, C. S. T. RIBEIRO, J. L. D. A Method of R&D electronic product for application by independent engineers designers and inventors. *Brazilian journal of operations & production management*. V. 7, n. 2, 2010, p. 153 – 173.
- JUNG. C. F, *Análise de Artigos de Revisão e Elaboração de Artigos Científicos*. Edição 2013. Disponível em: [www.metodologia.net.br](http://www.metodologia.net.br). Acesso em: 1 out. 2013.
- JUNG, C. F; ROSA, F. P; CATEN, C. S. T. Desenvolvimento de matriz aplicada à produção de absorvedores piramidais de radiações eletromagnéticas. XIV SEPROSUL – Semana de la producion sudamericana, mayo, 2014.
- LAZARO. A, GIRBAU. D, VILLARINO. R, Effects of Interferences in UHF RFID Systems, *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 98, 425-443, - Spain 2009.
- LIMA, M. K; BAHR, W.; et al. RFID in the warehouse: A Literature Analysis (1995–2010) of Its Applications, Benefits, Challenger and Future Trends. *Int. J. Production Economics*, 145, 2013.
- OCDE. *Manual de Oslo: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação*. (2007) 3ª.ed. (trad.) FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, Brasil: MCT/BRASIL.
- MARQUES, J. M. C. *Análise dos Fatores que Influenciam a Eficiência da Tecnologia RFID Aplicada a Sistemas de Produção*. Porto Alegre, RS: FEENG/UFRGS, PPGE/UFRGS, 2012.
- MOTAMEDI. Ali, SOLTANI. Mohammad. Mostafa, HAMMAD. Amin, Localization of RFID-Equipped Asset During the Operation Phase of Facilities, *Advanced Engineering Informatics xxx (2013) xxx-xxx* – Canada, 2013.
- ROSA, F. L; JUNG, C. F; RIBEIRO, J. L. D. Análise de pesquisas sobre intermodulação entre antenas de leitores rfid aplicados a sistemas de produção. *Iberoamerican journal of industrial engineering*, Florianopolis-sc, Brasil vol. 7, p.22-40, 2015, issn 2175 -8018
- ROUSSOS, G.; KOSTAKOS, V.; RFID in Pervasive Computing: State-of-the-art and outlook. *Pervasive and Mobile Computing*. 5, 2009.
- WANG. Dingwei, IP. W. H, Review on Modeling and Optimization Problems about RFID Technology and Applications. 25th Chinese Control and Decision Conference, 1258- 1263, China -2013

WU, N.C.; NYSTROM, M.A.; LIN, T.R.; YU, H.C.; Challenges to Global RFID Adoption. Technovation. 26, 2006.

YANG. Lei, HAN. Jinsong, QI. Yong, WANG. Cheng, GU. Tao, LIU. Yunhao, Season: Shelving Interference and Joint Identification in Large-scale RFID Systems. This Paper was Presented as Part of the Main Technical Program at IEEE INFOCOM, 3092-3100, Hong Kong - 2011.

ZHU. Lei, YUM. Tak. Shing. Peter, A Critical Survey and Analysis of RFID Anti-Collision Mechanisms. IEEE Communications Magazine, 214-221, The Chinese University of Hong Kon, Hong Kong - 2011.

[Robert Tiernay](http://www.google.com/patents/US7772977) 2009 <http://www.google.com/patents/US7772977>