



Érico de Souza Pastana

# **Metodologia para Aplicação de RFID em Automação: Estudo de Caso em um Sistema de Gestão**

92/2012

CAMPINAS  
2012



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Érico de Souza Pastana

# **Metodologia para Aplicação de RFID em Automação: Estudo de Caso em um Sistema de Gestão**

Orientador: Prof. Dr. João Maurício Rosário

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO ÉRICO DE SOUZA PASTANA E ORIENTADA PELO PROF. DR. JOÃO MAURÍCIO ROSÁRIO.

  
.....  
ASSINATURA DO ORIENTADOR

CAMPINAS, 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

P268m Pastana, Érico de Souza  
Metodologia para aplicação de RFID em automação:  
estudo de caso em um sistema de gestão / Érico de Souza  
Pastana. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: João Maurício Rosário.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Rádio frequência. 2. Sistemas de comunicação  
sem fio. 3. Sistema de informação gerencial. 4.  
Automação. 5. Rádio frequência - Metodologia. I.  
Rosário, João Maurício, 1959-. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia  
Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Methodology for RFID implementation in automation: case  
study in a management system

Palavras-chave em Inglês: Radio frequency, Wireless communication systems,  
Management information system, automation, Radio  
frequency - Methodology

Área de concentração: Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Antônio Batocchio, Leonimer Flavio de Melo

Data da defesa: 02-07-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE PROJETO MECÂNICO**

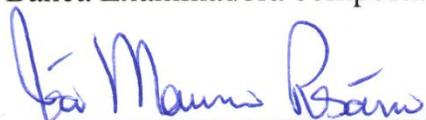
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

# **Metodologia para Aplicação de RFID em Automação: Estudo de Caso em um Sistema de Gestão**

Autor: Érico de Souza Pastana

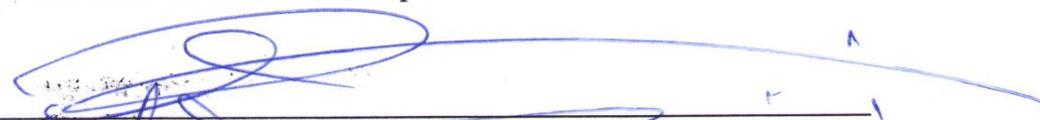
Orientador: Prof. Dr. João Maurício Rosário

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



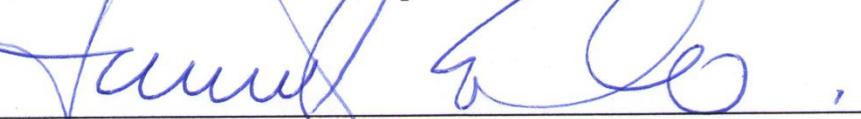
---

Prof. Dr. João Maurício Rosário  
Universidade Estadual de Campinas



---

Prof. Dr. Antonio Batocchio  
Universidade Estadual de Campinas



---

Prof. Dr. Leonimer Flavio de Melo  
Universidade Estadual de Londrina

Campinas, 02 de Julho de 2012

## **Dedicatória:**

*Dedico este trabalho à minha família e amigos.*

*“Nem todos os livros, pela sua natureza, são próprios para serem oferecidos.*

*Êste é, certamente, daqueles que não se oferecem, mas dedicando-vo-lo só tive em vista compensar-vos um pouco das horas que me afastei do vosso convívio, absorvido neste trabalho.”*

***F. Caetano Dias***

## **Agradecimentos**

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto meus sinceros agradecimentos:

Aos meus pais Vera e Luiz, pelo apoio incondicional, sempre.

Ao meu irmão Luís, por ser inigualável na árdua tarefa de ser meu irmão.

Ao professor, amigo e orientador, Dr. João Maurício Rosário, em primeiro pela confiança e paciência, e em segundo por ter me guiado e orientado, mesmo antes de iniciarmos o mestrado.

Ao professor e amigo, Dr. Antônio Batocchio, pela inabalável disposição e eterna boa vontade.

Ao amigo J.C. Gomes, por ser “mestre” no trabalho, na ciência e na vida.

Aos colegas do Departamento de Projeto Mecânico, do Laboratório de Manufatura Assistida – RFID e do Laboratório de Automação Integrada e Robótica da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp, pela presença, pela ajuda e principalmente pelos bons momentos.

*“Cada pessoa que passa em nossa vida, passa sozinha, é porque cada pessoa é única e nenhuma substitui a outra! Cada pessoa que passa em nossa vida passa sozinha e não nos deixa só porque deixa um pouco de si e leva um pouquinho de nós. Essa é a mais bela responsabilidade da vida e a prova de que as pessoas não se encontram por acaso.”*

*Charles Chaplin*

## Resumo

Identificação por Radiofrequência (RFID) é uma tecnologia emergente, com um enorme potencial de aplicação. Pode ser utilizada onde há a necessidade de identificação à distância de objetos, de forma sem fio, com transmissão de dados por sinais de rádio que, armazenados e processados por sistemas computacionais, ficam disponíveis para uso futuro.

À medida que seu uso permeia diversos segmentos de negócio da economia, uma demanda por melhores práticas e soluções de RFID também ocorre, acelerando seus desenvolvimentos e aumentando a demanda por profissionais e metodologias que sejam capazes de promover seu uso correto e inteligente.

Neste contexto, este trabalho apresenta características de sistemas de RFID e métodos orientativos para sua melhor seleção e aplicação. Ao levantar pontos chave de cada método, artigo e texto estudado, propõe-se e aplica-se uma metodologia, desenvolvida através da compilação de pontos fortes e fracos levantados da bibliografia, avaliando suas capacidades, limitações e características principais, procurando combiná-los para gerar uma metodologia mais abrangente, que considere tanto questões tecnológicas quanto de negócios, como custos, logística de obtenção de insumos e equipamentos, além de outras necessidades que podem ser colocadas pelas partes interessadas em um projeto e/ou aplicação da tecnologia RFID.

Os estudos são complementados pelo levantamento de características de sistemas RFID e seus desempenhos sob o ponto de vista de diversos autores e, ainda, pela realização de um estudo de caso na seleção de tecnologias RFID para compor a identificação por rádio frequência de um sistema de gestão de pneus, permitindo verificar a adequação da metodologia proposta a um caso real.

Como contribuição final, esta dissertação demonstra a potencialidade de uma metodologia para seleção e aplicação de tecnologia RFID em automação.

*Palavras Chave:* RFID, metodologia para seleção, aplicação de RFID, automação, gestão.

## **Abstract**

Radio-frequency identification (RFID) is an emerging technology with enormous potential for application. It can be used where there is a need to identify distant objects, wirelessly, with data transmission via radio signals, followed by its storage and process on computer systems, making them available for future use.

As its applications permeates many business segments of the economy, a demand for best practices and RFID solutions also occurs, accelerating their development and increasing the demand for professionals and methodologies that are capable of promoting its correct and intelligent use.

In this context, this paper presents characteristics of RFID systems and orientative methods for its better selection and application. By raising key points of each studied method, paper and texts, it proposes and applies a methodology, developed through the compilation of the strengths and weaknesses arising from the literature, assessing their capabilities, limitations and key features, intending to combine them to generate a more comprehensive methodology, considering both technological and business issues, such as costs, logistics for obtaining supplies and equipment, and many other necessities that can be placed by stakeholders on a project and/or application of RFID technology.

The studies are complemented by lifting characteristics of RFID systems and their performance from several authors point of view, and also by conducting a case study in the selection of RFID technology to form the radio frequency identification component in a tyre management system, making it possible to check the adequacy of the proposed methodology to a real case.

As a final contribution, this work demonstrates the potential of a new methodology for the selection and application of RFID technology for automation.

*Keywords:* RFID, selection methodology, RFID application, automation, management.

## Lista de Ilustrações

1.1 Atividades Realizadas para Conclusão desta Dissertação de Mestrado .....	6
2.1 Funcionamento típico de Sistemas RFID (Adaptada de FINKENZELLER, 2003).....	10
2.2 Tags RFID e seus principais componentes.....	12
2.3 Classificação de tags – adaptado de Sushim e Nemaï (2010) .....	12
2.4 Tags Ativos em diversos formatos .....	14
2.5 Quadro Resumo da história da Tecnologia RFID segundo Landt (2001) e Glover e Bhatt (2007).....	20
3.1 Diagrama de Método de Desenvolvimento de Produtos - Adaptado de Willie e Willie (2005) .....	38
3.2 Regiões do Mundo com larguras de banda de funcionamento RFID em comum, adaptada de Wikimedia Commons (2012).....	47
3.3 Distribuição dos principais grupos de frequência e suas respectivas localizações no espectro de frequências de comunicação.....	47
3.4 Antenas RFID em diversos produtos e formatos.....	51
3.5 Principais interferências relacionadas à aplicações de identificação por radio-frequência.....	56
4.1 Esquema de metodologia proposta para seleção e aplicação de RFID.....	59
4.2 Diagrama da Fase 1 da metodologia proposta - Caracterização do Problema .....	61
4.3 Diagrama de questionamentos para Fase II da metodologia proposta .....	64
4.4 Diagrama representativo da Fase III do método proposto.....	66
5.1 Diagrama do Ciclo Típico Vida do Pneu Comercial no Brasil .....	75
5.2 Principais processos ligados à gestão de pneus em empresas transportadoras .....	78
5.3 Diagrama de Partes Interessadas (relativo ao processo de gestão de pneus) e suas classificações.....	79
5.4 Exemplo de Presença de Massas Metálicas em composição veicular.....	85
5.5 Processos decisórios relativos a fonte de energia e frequências de operação. ....	96

B.1 Resultado de teste de Distâncias de leitura 100 tags operando em 125 KHz – Gráfico	
Distância de Leitura por Amostra .....	110
B.2 Resultados de Experimentos realizados com tags de 125 KHz na presença de meios aquosos .....	111
B.3 Resultados de Experimentos realizados com tags de 125 KHz na presença de massas metálicas.....	111

## Lista de Tabelas

2.1 RFID vs Código de Barras – Vantagens e Desvantagens.....	18
3.1 Compilação de Dados de Referências Bibliográficas do Capítulo 3.....	42
3.2 Comparativo e Referências Bibliográficas – Tags Ativos vs Tags Passivos .....	43
3.3 Comparativo e Referências Bibliográficas - Sistemas RFID de Baixa Frequência (LF) vs Sistemas RFID de Alta Frequência (HF) .....	48
3.4 Desempenho de sistemas RFID operando em UHF quando em proximidade a massas metálicas e meios aquosos .....	50
3.5 Variação de Desempenho de sistemas RFID em diversas frequências em função da presença de massas metálicas e/ou meios aquosos .....	50
4.1 Questões a serem consideradas para seleção e aplicação de RFID x Fases do Método Proposto .....	60
5.1 Ramo de Atividades e número de veículos de empresas visitadas.....	71
5.2 Atividades realizadas por empresa visitada.....	71
5.3 Partes Interessadas, principais problemas e soluções.....	80
5.4 Descrição de Problemas Chave Partes Interessadas.....	83
5.5 Matriz de Decisão para seleção entre tags ativos e tags passivos .....	90
5.6 Critérios de Peso para Matriz de Decisão para seleção entre tags ativos e tags passivos.....	90
5.7 - Critérios de Avaliação para Matriz de Decisão para Seleção entre tags ativos e tags passivos .....	90
B.1 Resultados de testes de distância de leitura para tags na frequência 134,2 KHz e características dos tags .....	106
B.2 Resultados de testes de distância de leitura para tags na frequência 125 KHz.....	107
B.3 Dimensão dos tags 125 KHz Testados.....	108
B.4 Resultados Teste de Distância de Leitura para tags na frequência de 13,56 MHz .....	108
B.5 Resultados de Teste de Distâncias de leitura para tags em 125 KHz .....	109

## Lista de Abreviaturas e Siglas

### *Letras Latinas*

.....

### *Letras Gregas*

.....

### *Superescritos*

.....

### *Subescritos*

.....

### *Abreviações*

RFID – Identificação por Rádio Frequência (*Radio Frequency Identification*)

EPC – Código Eletrônico de Produto (*Electronic Product Code*)

COE – Centro de Excelência (*Center of Excellence*)

ID – Identificação

WWW – *World Wide Web*

LF – Baixa Frequência (*Low Frequency*)

HF – Alta Frequência (*High Frequency*)

UHF – Ultra Alta Frequência (*Ultra High Frequency*)

MW – Micro Ondas (*Microwaves*)

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	MOTIVAÇÃO .....	2
1.2	OBJETIVOS .....	4
1.3	METODOLOGIA DE PESQUISA .....	5
1.4	CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO .....	7
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA: A TECNOLOGIA RFID</b> .....	<b>9</b>
2.1	COMPONENTES E FUNCIONAMENTO .....	9
2.2	TECNOLOGIAS DE IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA (AUTO-ID) .....	17
2.3	HISTÓRICO E PERSPECTIVAS .....	18
2.4	FREQUÊNCIAS DE OPERAÇÃO E SUAS CARACTERÍSTICAS .....	21
2.4.1	Baixas Frequências.....	21
2.4.2	Altas Frequências .....	22
2.4.3	Ultra Altas Frequências.....	23
2.4.4	Micro-ondas .....	24
2.5	DESAFIOS DA TECNOLOGIA.....	24
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	26
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA: CARACTERÍSTICAS, MÉTODOS E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE SISTEMAS RFID.</b> .....	<b>29</b>
3.1	MÉTODOS E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE RFID .....	30
3.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE A SELEÇÃO DE TAGS RFID.....	42
3.2.1	Seleção segundo a Fonte de Energia: Tags Ativos vs Tags Passivos .....	43
3.2.2	Seleção segundo Frequências de Operação.....	46
3.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE A SELEÇÃO DE ANTENAS RFID .....	51
3.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS .....	54
3.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE MEDIÇÕES DE DESEMPENHO EM SISTEMAS RFID.....	56
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	57

<b>4</b>	<b>PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ORIENTAÇÃO NA SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA RFID .....</b>	<b>59</b>
4.1	FASE I: CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	60
4.2	FASE II: DETERMINAÇÃO DE REQUISITOS DE PROJETO .....	62
4.3	FASE III: PROJETO DO SISTEMA .....	65
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	66
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA .....</b>	<b>69</b>
5.1	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA .....	70
5.1.1	Aplicação Fase I da Metodologia: Caracterização do Problema.....	70
5.1.2	Aplicação da Fase II da Metodologia: Determinação de Requisitos .....	84
5.1.3	Aplicação da Fase III da Metodologia: Projeto do Sistema.....	89
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	95
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS.....</b>	<b>99</b>
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	100
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>101</b>
	<b>APENDICES .....</b>	<b>105</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A competitividade entre empresas cresce a cada dia, e com ela a necessidade da redução dos custos operacionais, melhorando o gerenciamento e promovendo práticas mais eficientes de utilização dos recursos disponíveis. As empresas especializadas em determinado conhecimento, ou seja, focadas em suas competências essenciais, precisam aliar-se a outras empresas para atender completamente os requisitos de novos produtos e serviços demandados pelo mercado (ROJAS, 2010).

Investimentos em inovação e tecnologia representam um papel importante neste aspecto, pois são capazes de promover novas formas de atuar sobre os problemas existentes nas organizações, sendo fontes de melhorias e de mudanças de cultura organizacional, que promovem a melhor utilização de recursos, aperfeiçoando-os e levando as empresas a operarem em um nível de custo menor, aumentando a eficiência do sistema como um todo.

Tais investimentos geralmente estão relacionados ao surgimento de uma série de desafios que o corpo gestor de um negócio deve enfrentar para mantê-lo competitivo, como melhoria em produtos e serviços, aumento da qualidade, da flexibilidade, redução custos, melhorias na velocidade de resposta aos problemas internos e de clientes, necessidade de inovação, da boa gestão de recursos e de ativos, de processos e de conhecimento. A capacidade das empresas e de seus gestores em transpor esses desafios é uma questão chave para o sucesso da unidade de negócios que, se tornando mais competitiva, pode gerar mais valor para seus clientes.

De maneira especial, a utilização de tecnologia permite um diferencial competitivo importante, sendo mais difícil de ser copiada (ou imitada) do que o diferencial baseado em alguma técnica ou política (por exemplo, baseada em custos). Esse é um dos aspectos que induzem as empresas a investirem porcentagem de seu faturamento em desenvolvimento tecnológico (pesquisa e desenvolvimento), buscando novas tecnologias e/ou novas aplicações tecnológicas. Por ser um processo caro, muitas vezes elas se associam a universidades e/ou centros de pesquisas, buscando redução de tempo de desenvolvimento e, também, o compartilhamento de risco.

É nesse contexto que este estudo pretende entender a tecnologia de identificação por rádio frequência (RFID – *Radio Frequency Identification*) e suas principais metodologias e características de seleção e aplicação, visando encontrar as variáveis chaves que determinam a eficiência de um sistema RFID sob o ponto de vista da concepção e aplicação, com foco em automação. O estudo procura entender e avaliar os métodos atuais que orientam o passo a passo na seleção e aplicação da tecnologia, considerando tanto questões tecnológicas quanto do negócio propriamente dito, como custos, logística de obtenção dos equipamentos e tantas outras que podem ser colocadas pelas partes interessadas em um projeto e/ou aplicação da tecnologia.

Tecnologicamente o desafio se encontra em entender e selecionar os componentes atualmente disponíveis para sistemas RFID que melhor satisfaçam os requisitos técnicos de determinada aplicação. Do ponto de vista do negócio, deve-se lembrar de que a tecnologia ainda não está completamente difundida e consolidada pelo globo, e que os custos (de insumos, mão de obra qualificada, transporte, etc.) e a dificuldade de implementação imputam variáveis que não podem ser subestimadas durante os processos decisórios que tangem as escolhas e aplicações desta tecnologia relativamente nova no campo empresarial e industrial.

O presente capítulo apresenta uma visão geral sobre a tecnologia RFID, seu desenvolvimento e suas aplicações. Também é apresentada a motivação deste projeto, assim como são enunciados os objetivos, metodologia de pesquisa e o conteúdo principal dos capítulos desta dissertação de mestrado.

## **1.1 Motivação**

RFID é uma tecnologia emergente, com um enorme potencial de aplicação, já tendo sido aplicada com sucesso na gestão da cadeia de suprimentos, manufatura e logística, e sua gama de aplicação se estende além destas áreas (HEINRICH, 2005). Pode ser utilizada onde há a necessidade de identificação à distância de objetos, de forma sem fio, com transmissão de dados sobre tais objetos por sinais de rádio, armazenados e processados por sistemas computacionais, ficando disponíveis para uso futuro (HANSEN E GILLERT, 2008).

À medida que seu uso permeia diversos segmentos de negócio da economia, uma demanda por melhores práticas e soluções também ocorre, acelerando seus desenvolvimentos e aumentando a demanda por profissionais que sejam capazes de promover seu uso correto e inteligente, através da integração de sistemas RFID que propiciem melhorias e ganhos para as empresas. Como de costume na engenharia, tanto quanto cresce a demanda por melhorias, cresce a necessidade de normas e métodos bem definidos, assim como a quantidade de estudos, artigos e publicações que procuram compilar e gerar conhecimentos, colocando a RFID em pauta em congressos e feiras especializadas em diversos lugares do mundo. Mais do que isso, empresas de tecnologia de ponta como HP, Microsoft, Siemens e Google, além de Universidades conceituadas mundialmente, têm equipes e departamentos especialmente criados para tratar do tema de identificação por radiofrequência e suas diversas vertentes de aplicação, colocando-o em acelerado desenvolvimento.

Segundo Swedberg (2011) a empresa Google, por exemplo, disponibilizou em Portland, Austin, um sistema RFID que permite que lojas e pontos comerciais forneçam dados de seus serviços através do uso de tecnologia RFID incorporada a celulares. Segundo a Microsoft (2004), desde março de 2004 a Microsoft se filiou à EPC Global para trabalhar em normas e padrões relativos à tecnologia RFID. No mesmo mês, a empresa também realizou a primeira reunião do Conselho Consultivo de Parceiros com objetivo de definir uma estratégia para plataformas RFID, o que resultou em parcerias que possibilitaram a criação de um Centro de Excelência (COE) em RFID, para desenvolver e testar soluções.

Esta busca por métodos e formas de selecionar e aplicar essa tecnologia leva a uma diversidade complexa de estudos e conclusões, nem sempre convergentes. É o caso, por exemplo, da variação de conclusões a respeito das distâncias de leitura esperadas entre tags e antenas RFID operando em baixas frequências (ver Tabela 3.4), ou o caso da disponibilidade ou não de tecnologias de anti-colisão<sup>1</sup> para determinadas frequências da onda portadora. Esta dissertação demonstra que a compilação destes estudos permite utilizá-los de forma complementar para a realização e o desenvolvimento metodológico de projetos baseados no uso de RFID para a solução de problemas.

---

<sup>1</sup>**Anti-colisão:** Consiste em evitar que diversas etiquetas de Rádio-Frequência (tags RFID) se comuniquem ao mesmo tempo no mesmo canal, evitando que o leitor não consiga identificá-las.

A motivação para a realização o presente estudo advém, então, da necessidade de se entender mais sobre a seleção e determinação de características para um sistema RFID, dado uma determinada funcionalidade e aplicação desejada. Como o tema está de fato em pauta tanto na comunidade científica quanto na comunidade técnica/empresarial, há também o propósito de contribuir e facilitar futuras aplicações e estudos sobre a tecnologia.

A partir do exposto, neste trabalho será proposta uma metodologia que permite aumentar a sistematização da seleção e aplicação de tecnologia RFID, melhorando o nível de automação na identificação e aquisição de dados de objetos identificados com a tecnologia de RFID.

## **1.2 Objetivos**

Esta dissertação tem por objetivo propor uma metodologia para seleção e aplicação de RFID em automação, e realizar estudo de caso, aplicando a metodologia na especificação das características principais de um sistema RFID para o aumento do nível de automação de um sistema de identificação e gestão de pneus.

O trabalho é realizado através do levantamento e análise de métodos e estudos existentes sobre o tema, e do entendimento dos elementos básicos a serem considerados na escolha e aplicação de hardwares e softwares para integrarem sistemas baseados nesta tecnologia.

Eliminando os pontos fracos possivelmente encontrados em determinada bibliografia com pontos fortes de outra, pretende-se que a metodologia a ser sugerida auxilie na seleção e aplicação adequada de RFID.

A metodologia será testada a partir de estudo de caso direcionado à área de automação da identificação e gestão de ativos, onde o método proposto é aplicado com o intuito de averiguar sua eficácia, utilizando-o para entender as decisões tomadas por uma empresa de Tecnologia da Informação durante o projeto de um sistema de gerenciamento de pneus baseado em tecnologia RFID.

Dentre os objetivos específicos deste projeto, destacam-se:

- Entender e apresentar características e potencialidades de sistemas baseados em tecnologia RFID;
- Entender as principais características de influência na escolha de componentes para sistemas de RFID;
- Entender e apresentar os métodos e critérios para seleção e aplicação da tecnologia RFID encontrados na bibliografia;
- Propor um método de apoio para decisões relativas à escolha e aplicação da tecnologia RFID para gerenciamento de ativos;
- Testar a metodologia através de estudo de caso de aplicação do método proposto, com base na seleção de características e componentes para um sistema de RFID para aumentar o nível de automação na identificação e gerenciamento de pneu;
- Finalizar o estudo, apresentando conclusões advindas dos assuntos examinados nesta dissertação.

### **1.3 Metodologia de Pesquisa**

Para realização desta pesquisa diversas atividades foram executadas, possibilitando classificá-la segundo os seguintes pontos de vista (L.S., Edna; M.M., Estera, 2001):

Do ponto de vista da natureza, esta pesquisa é uma Pesquisa Aplicada, pois gera conhecimentos dirigidos à solução de problemas específicos, com aplicação prática. Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, esta pesquisa pode ser classificada como Qualitativa, uma vez que gera interpretação e atribuição de significados que não são traduzidos diretamente em números. Do ponto de vista dos objetivos, pode ser classificada como Exploratória, envolvendo explicitação de problemas e estudo de caso. Do ponto de vista de procedimentos técnicos, pode-se classificar esta pesquisa como Bibliográfica, seguida de Estudo de Caso.

As atividades realizadas para confecção deste estudo e dissertação foram, entre outras:

- Pesquisa bibliográfica sobre o tema RFID e suas principais características tecnológicas e métodos de aplicação;
- Estudos em laboratório e em campo com diversos componentes de sistemas RFID, sempre com o objetivo de entender o estado da arte das soluções para gerenciamento de ativos utilizando esta tecnologia;
- Desenvolvimento de método de apoio para escolha de componentes tecnológicos para aplicação de sistemas RFID;
- Estudo de caso com base em produto inovador de mercado, onde se realizaram visitas à empresa desenvolvedora e também a seus clientes.

A Figura 1.1 apresenta um esquemático das atividades realizadas para conclusão desta dissertação de mestrado.

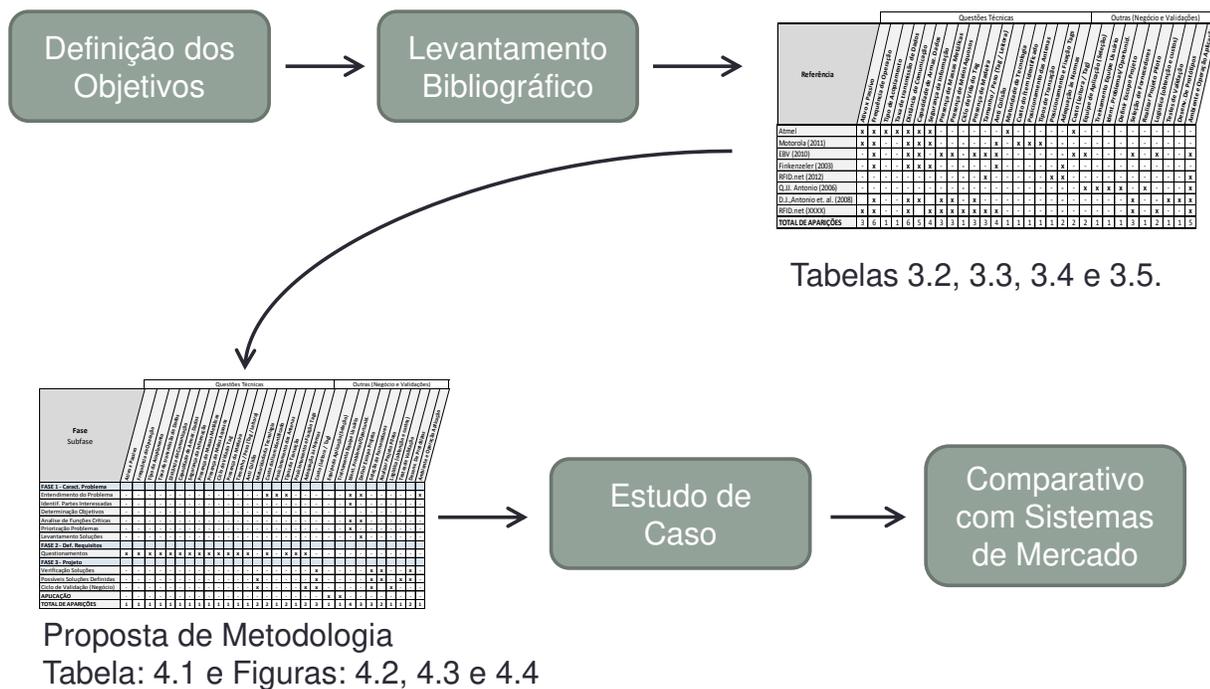


Figura 1.1 - Atividades Realizadas para Conclusão desta Dissertação de Mestrado

## 1.4 Conteúdo da Dissertação

Esta dissertação de mestrado é dividida em oito capítulos:

O Capítulo I contém uma breve introdução sobre a aplicação de RFID, contextualizando o leitor ao tema. Em seguida, é apresentada a motivação e os objetivos do estudo, assim como a metodologia de pesquisa utilizada nesta dissertação.

O Capítulo II aborda a Tecnologia RFID, apresentando pesquisa bibliográfica sobre o tema com histórico, previsões de uso, funcionamento básico, principais componentes de Hardware e Software e suas aplicações e principais desafios relacionados à tecnologia.

O Capítulo III apresenta e analisa diversos métodos, critérios e características para seleção e aplicação de sistemas RFID, obtidos através de pesquisa bibliográfica. O capítulo é concluído com a apresentação de uma tabela resumo as características de cada método apresentado.

O Capítulo IV apresenta uma proposta de método para orientação na seleção e projeto de sistemas baseados em tecnologia RFID, proposto através a combinação de pontos fortes dos métodos levantados no Capítulo III.

O Capítulo V apresenta a aplicação do método proposto, utilizando-o para realizar a seleção de tecnologias RFID adequadas para compor um projeto de um sistema de gestão de pneus. O sistema é proposto sob a ótica do método apresentado no capítulo IV.

O Capítulo VI apresenta as conclusões dos estudos realizados e apresentados nesta dissertação, procurando levantar as oportunidades de melhorias e enumerar possíveis trabalhos futuros baseados nesta dissertação.

Finalmente, são apresentados apêndices relacionados aos experimentos realizados em laboratório.



## **2 REVISÃO DA LITERATURA: A TECNOLOGIA RFID**

RFID é um acrônimo para “Radio-Frequency Identification”, que pode ser traduzido para português como Identificação por Radiofrequência. Trata-se de uma forma de se realizar a identificação automática através de sinais de rádio trocados entre um leitor e uma etiqueta (tag RFID).

A tecnologia RFID permite identificar e localizar objetos automaticamente, mesmo que não estejam dentro do campo de visão do utilizador, trazendo grande vantagem potencial para diversos campos e processos industriais, empresariais e sociais, como logística, controle de ativos, automação de linhas de produção, identificação de animais, identificação de pessoas, restrição de acesso, controle de estoque, etc.

Seu desenvolvimento e aplicação requerem a seleção de componentes e características tecnológicas complexas e muito variadas, implicando conhecimentos e estudos de projeto de antenas, propagação de ondas rádio, técnicas de produção de circuitos integrados de baixo custo, métodos de codificação de dados, encriptação e protocolos de segurança, materiais e projetos específicos, e o correto tratamento e integração de diversas áreas da tecnologia (ROUSSOS, KOSTAKOS, 2008).

Apesar desta complexidade, os conceitos básicos que regem o funcionamento de sistemas RFID podem ser entendidos de forma simples, e serão apresentados nas próximas seções deste capítulo.

### **2.1 Componentes e Funcionamento**

A base de um sistema RFID é um dispositivo de armazenamento de memória, com capacidade para certa quantidade de dados tais como o número de identificação do produto, preço, custo, produção, data, local e inventário, que pode facilitar o trabalho de identificação de objetos (Chao, Yang e Jen, 2007).

Suas capacidades fundamentais são, segundo Ferrer, Dew e Apte (2010):

- Ser um meio sem fio para identificar pessoas e objetos, tendo como vantagem a capacidade de identificar as coisas sem manipulação humana;
- Gerar automaticamente dados que podem ser usados para rastrear e localizar itens marcados, diferindo entre si pelas capacidades de aplicação dependendo de seu alcance e modo de funcionamento;
- Monitorar as condições do ambiente. Alguns tipos de tags podem, por exemplo, reconhecer temperatura, atuando como sensores móveis sem fio.

Finkenzeller, K. (2003) explica o funcionamento de sistemas RFID de forma bastante simples:

- O leitor emite um sinal que questiona tags encontrados dentro do seu alcance;
- Estes tags, caso sejam passivos, aproveitam a energia desse sinal para energizarem seus circuitos, respondendo com a emissão de um sinal que contém a informação guardada no seu micro-chip. Os tags ativos não utilizam a energia do sinal emitido pelo leitor para alimentarem seus circuitos, pois possuem fonte própria de energia;
- O leitor recebe e processa o sinal emitido pelo tag, enviando-o para o restante sistema de processamento.

A Figura 2.1, adaptada de Finkenzeller, K. (2003), mostra o funcionamento típico de um sistema RFID.

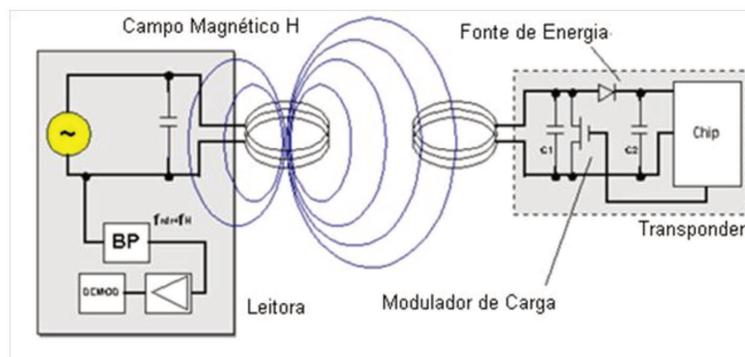


Figura 2.1 – Funcionamento típico de Sistemas RFID (Adaptada de FINKENZELLER, 2003)

Na figura podem ser observados o leitor e o tag (transponder). O campo magnético gerado pela antena é responsável por gerar corrente nos circuitos do tag, alimentando-o eletricamente e permitindo que o mesmo responda ao chamado da antena (por exemplo, através do envio de seu número de identificação – ID).

Segundo Roussos, Kostakos (2008), um sistema RFID consiste basicamente de um tag RFID e um leitor. O leitor é aquele que questiona e processa as informações enviadas pelo tag, sendo a principal ligação com sistemas externos de processamento de dados. É considerado o componente central dos sistemas de RFID, contendo os seguintes componentes:

- Uma ou mais antenas, que podem ser externas ou integradas no leitor;
- Sistema Eletrônico responsável pela modulação e demodulação do sinal de rádio, bem como a sua transmissão e recepção;
- Sistema de controle, o qual consiste de um microprocessador e interfaces para ligação a sensores, aparelhos adicionais e periféricos. A função deste sistema é de controlar a comunicação com o tag.

O tag RFID comunica-se com o leitor através de sinais de rádio, tendo uma identidade costumeiramente chamada apenas de “ID”. Esta ID pode ser transmitida para o leitor, que deve operar na mesma frequência que o tag (NGAI et al., 2008).

Segundo Roussos, Kostakos (2008), o tag é formado pelos seguintes componentes:

- Uma ou mais antenas;
- Um capacitor que armazena a energia do sinal recebido, ou baterias;
- Um micro-chip, que é o seu processador;
- Material de proteção para a antena, comumente chamado de carcaça.

A Figura 2.2 apresenta diversos tags e seus componentes.

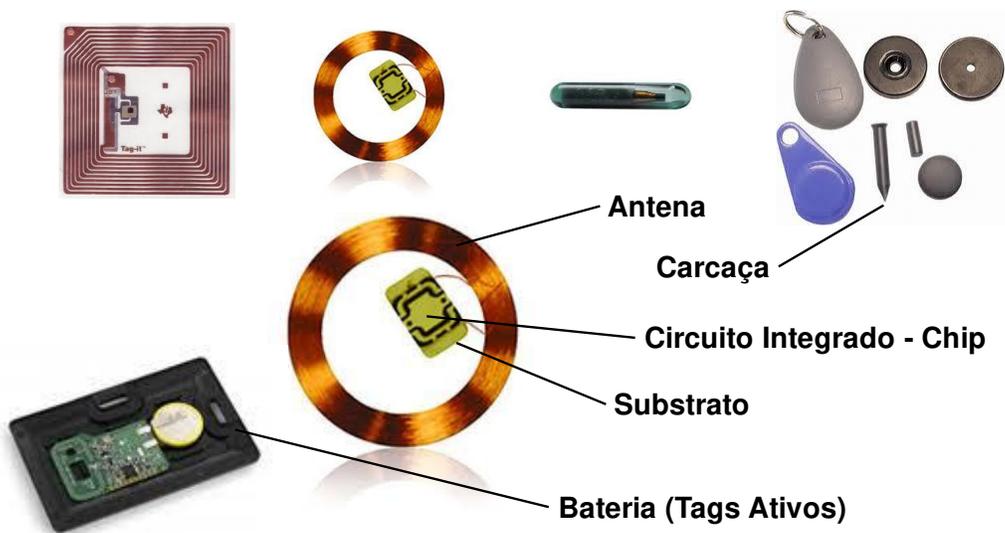


Figura 2.2 - Tags RFID e seus principais componentes

Sushim e Nemaï (2010) classificam tags segundo o esquema apresentado na Figura 2.3, onde se observa a classificação para tags RFID por: Fonte de Energia, Frequência de Operação, Protocolo e tipo de Transferência de Energia e Comunicação.

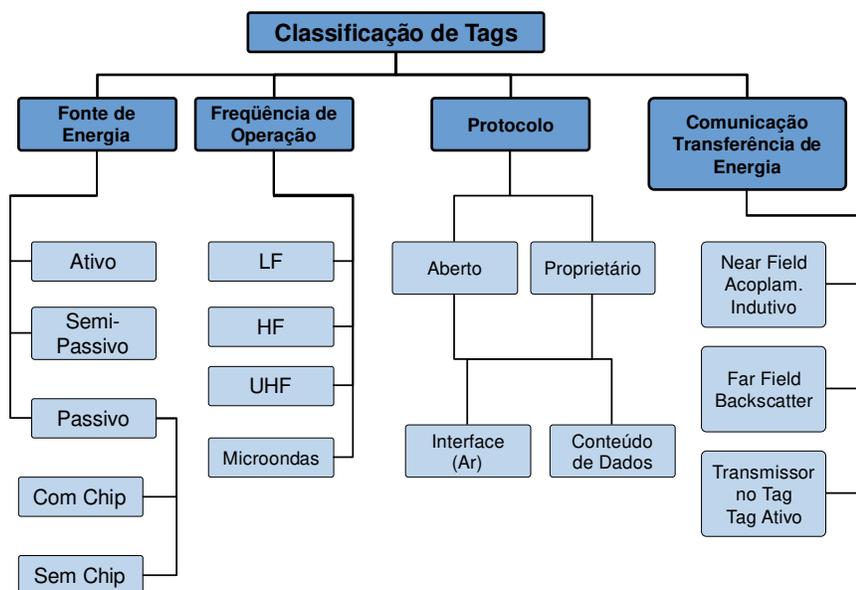


Figura 2.3 - Classificação de tags – adaptado de Sushim e Nemaï (2010)

Os mesmos autores levantam também a necessidade de se conhecer questões relativas à modulação e codificação presentes no sistema. Para a comunicação na tecnologia RFID, as frequências disponíveis são chamadas de frequências portadoras. A onda portadora carrega informação na forma de códigos binários, por meio de modulação (mudanças) da onda. Esta onda modulada é transmitida, recebida e então decodificada. A modulação pode ser de diferentes tipos, como modulação por amplitude, por frequência, por fase e assim por diante. Dentre os esquemas de codificação estão NRZ, Manchester e outros.

Quanto à fonte de energia, os tags são chamados de passivos quando aproveitam a energia do sinal enviado pelo leitor para processar e transmitir os dados recolhidos e armazenados em seu microchip. Este tipo de tag é considerado simples e possui elementos reduzidos.

Os tags passivos possuem um sistema que modula o sinal recebido pelo leitor e uma unidade lógica capaz de processar informações. Possuem memória interna para armazenamento de dados entre os quais se encontra o código de identificação do tag. Além da recepção e envio de dados entre o tag e o leitor, sua antena também tem como função recolher a energia do sinal recebido do leitor e funcionar como fonte de alimentação para o tag. De maneira geral, o tamanho da antena é muito maior do que o tamanho do tag, razão pela qual a antena determina o tamanho do tag. Uma de suas principais características é que, ao contrário do código de barras, o tag não precisa de contato visual direto com o leitor para poder ser lido, ou seja, o tag pode estar dentro de uma caixa e ser lido normalmente, bastando apenas estar no campo de atuação do leitor. (ROUSSOS, KOSTAKOS, 2008, GOMES, 2007).

Segundo Li, H (2009), para um sistema RFID passivo, a comunicação entre o leitor e o tag é totalmente controlada pelo leitor, ou seja, a tag não pode enviar dados a não ser desencadeada pelo leitor. O comunicação do leitor para o tag é referido como o link para frente, enquanto o comunicação do tag para o leitor é referido como a ligação inversa.

Um tag passivo é simples em sua construção e não contém partes móveis. A utilização de uma carcaça apropriada pode tornar sua vida útil extremamente longa. Geralmente, é bem resistente a condições adversas de ambiente e são bastante utilizados em aplicações que não requerem grandes distâncias para leitura. Dentre estas aplicações destacam-se:

- **Cartões Inteligentes sem Contato (*Contactless Smart Card*):** Trata-se de um tipo especial de tag passivo, no formato de um cartão, amplamente utilizado em diversos tipos de

aplicações, como por exemplo, no controle de acesso, onde os dados armazenados no cartão são lidos quando ele estiver próximo ao leitor. Segundo Gomes (2011), no Brasil todo o processo de micro pagamento eletrônico no transporte urbano de passageiros é baseado nesta tecnologia (13,56 MHz, família Mifare, tecnologia NXP-PHILIPS).

- Identificação Animal (*Animal ID*): Tipo de tag passivo que é fixado em animais, nas orelhas ou subcutâneo, podendo ter até 10 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro, utilizados costumeiramente para rastreamento de gado.
- Identificadores parafusados ou pregados: Muito usados na indústria para identificação de itens de madeira e metais.
- Código Eletrônico de Produto (*EPC: Eletronic Product Code*) vem se tornando um dos padrões do mercado para cadeia de distribuição e logística de produtos para o consumidor final.
- Comunicação por Campo Próximo (*NFC: Near Field Communication*), para transações financeiras utilizando equipamentos eletrônicos pessoais (p.e. celulares) que contenham tecnologia NFC embarcada.

Os tags também podem ser classificados como ativos, ou seja, têm uma fonte de energia própria entre seus componentes. Tal fonte de energia alimenta todos os circuitos do tag, garantindo a recepção e envio de dados de e para o leitor. Assim, o tag ativo não necessita de energia externa (da energia emitida e propagada pela onda portadora emitida pelo leitor) para funcionarem, tornando-se dispositivos independentes. (ROUSSOS, KOSTAKOS, 2008). Vários modelos de tags ativos são mostrados na Figura 2.4:



Figura 2.4 - Tags Ativos em diversos formatos

Os tags ativos têm, em geral, maior capacidade de armazenamento de dados quando comparados a tags passivos e, além disso, suportam componentes periféricos como sensores, leds e outros dispositivos. O seu microchip tem tamanho maior quando comparado ao de um tag passivo e, pelo fato de sua alimentação interna fornecer maior energia, os tags ativos podem ser lidos a grandes distâncias e podem permanecer ligados o tempo todo, ou ainda ficarem desligados até que recebam algum sinal do leitor, economizando energia. Outra função de alguns modelos destes tags é a possibilidade de enviar sua localização em intervalos pré-determinados, facilitando sua rastreabilidade. (ROUSSOS, KOSTAKOS, 2008, GOMES, 2007).

Um tag ativo pode ser utilizado no rastreamento de, por exemplo, vagões de trem e contêineres, que exigem grandes distâncias de leitura. Pela habilidade de poder iniciar a comunicação, eles podem ser divididos em dois grupos:

- **Transponders Ativos:** Os tags pertencentes a essa categoria só são ativados quando recebem um sinal do leitor. Esse modo de operação prolonga a vida da bateria. Normalmente esses tags são utilizados em aplicações como sistemas de coleta de pedágio ou de controle de acesso, nos quais o tag apenas estará ativo quando se aproximar de um leitor;
- **Beacons:** Os tags que são denominados de beacons emitem sinal em intervalos de tempo pré-determinados. Os beacons são muito utilizados em sistemas de localização em tempo real (RTLS – *Real Time Localization Systems*), nos quais, por um sistema de triangulação de leitores, sabe-se exatamente a posição do tag em um determinado espaço. A grande maioria dos tags ativos é utilizada em aplicações que operam na faixa de frequência UHF.

Segundo Sushim e Nemaï (2010), há ainda os tags classificados como semi-passivos, ou tags assistidos por baterias. Esses tags são munidos de baterias que fornecem energia para seu circuito todo o tempo, permitindo que sejam lidos a distâncias superiores de até 30 metros, além de serem muitas vezes utilizados como sensores.

Em relação aos tipos de acoplamento estão disponíveis principalmente nos seguintes formatos (SUSHIM E NEMAI, 2010):

**Campo Próximo/Acoplamento Indutivo (*Near Field*):** Acoplamento é o nome que se dá à transferência de energia eletromagnética de um meio (tag/leitora) para outro meio (tag/leitora). *Near Field* (campo próximo) é o espaço tridimensional que circunda a antena, onde o plano da onda (frente da fase da onda) ainda não se desenvolveu completamente e se separou da antena. A

distribuição da onda neste espaço é considerada praticamente omnidirecional, e a potência se atenua proporcionalmente à sexta potência da distância até a antena. A operação é limitada para as frequências LF e HF, pois o comprimento de onda precisa ser muito maior do que a antena e do que a zona de interrogação. De uma maneira generalista, as antenas utilizadas neste tipo de acoplamento funcionam mais como transformadores do que como transdutores reais. O uso desta tecnologia está associado à etiqueta animal (Animal Tag), etiqueta para itens, sistemas de bases de dados para bibliotecas, prateleiras de supermercados, etc.

Campo Distante /Acoplamento por *Backscatter* (*Far Field*): O espaço tridimensional presente após o Campo Próximo é chamado de Campo Distante (*Far Field*). Neste caso, a comunicação entre a antena e o tag ocorre por acoplamento *Backscatter* através de radiação eletromagnética. Energia eletromagnética é emitida contínua e radialmente pela antena, com atenuação de potência diretamente proporcional ao inverso do quadrado da distância em relação à antena. A energia eletromagnética encontra a antena do tag, onde é refletida ou absorvida dependendo da seção transversal radar (Radar Cross Section – RCS) ou seção transversal de reflexão. O Circuito integrado do tag, dependendo dos dados a serem transmitido à leitora, alterna entre circuito aberto e em curto, controlando a onda refletida. Esta técnica de mudar a seção transversal radar da antena do tag é chamada de “Modulação da Carga da Antena” (*Antenna Load Modulation*). Esta onda eletromagnética refletida, cuja magnitude é pequena em comparação à da onda incidente, é detectada na antena da leitora, amplificada e decodificada para permitir a extração dos dados enviados pelo tag. Este tipo de comunicação é prevalente em UHF e faixas de frequência de micro-ondas de tags RFID passivas.

Também é comum encontrar na literatura a referência a uma parte de sistemas RFID que é chamada de *middleware*. Segundo Fauzi (2009), *middleware* é um software e/ou hardware dedicado, que visa consolidar os dados dos sistemas RFID, agregando e filtrando informações de forma a torná-las úteis.

Nesta dissertação não são tratadas questões relativas a protocolos de comunicação (proprietários ou abertos).

## 2.2 Tecnologias de Identificação Automática (Auto-ID)

Segundo Patrick (2005), a tecnologia RFID faz parte de uma gama de tecnologias agrupadas sob a função de proverem identificação automática, chamada de tecnologias Auto-ID.

Tais tecnologias estão presentes em diversas atividades que realizamos no dia a dia. Por exemplo, quando realizamos uma compra no supermercado, quando entramos e saímos de um ambiente controlado ou quando um operador de linha de produção faz a escolha e montagem de uma peça de manufatura.

Dentre as tecnologias utilizadas para realizar esta identificação estão leitores biométricos de impressão digital, leitores de características oculares, reconhecimento de voz, reconhecimento de face, sensores magnéticos e identificação por código de barras, sendo esta última a de maior destaque nas últimas décadas.

Segundo Brown et al. (2007), o código de barras começou a ganhar espaço no mercado no final da década de 60 e início dos anos 70. Segundo Finkenzeller (2003), o código de barras desencadeou uma revolução nos sistemas de identificação, sendo considerada uma tecnologia onipresente no mundo. Devido ao seu baixo custo e alta versatilidade, garantiu o volume de negócios de cerca de três bilhões de Marcos Alemães no início da década de 90, apenas considerando a Europa Ocidental.

Apesar deste imenso sucesso do código de barras, atualmente os sistemas RFID crescem em tecnologia e em número de aplicações, enquanto o código de barras é cada vez mais considerado inadequado, principalmente devido ao fato de terem baixa capacidade de armazenamento de dados e não poderem ser reprogramados (Finkenzeller, K., 2003), características nas quais é largamente superado pela tecnologia RFID.

A Tabela 2.1, adaptada de BROWN, M. et al. (2007), apresenta uma comparação entre sistemas de identificação por radiofrequência e sistemas de código de barras.

Tabela 2.1 – RFID vs Código de Barras – Vantagens e Desvantagens

<b>RFID</b>	<b>Código de Barras</b>
Não é necessário campo de visão	Campo de visão é necessário
Identifica de forma única itens, caixas, palets	Identifica apenas itens
Orientação do ítem não tem grande importância para a leitora	Requer orientação apropriada
Identificação simultânea	Identificação de apenas um ítem por vez
Capacidade dinâmica de leitura e escrita	Não há capacidade de escrita (informação estática)
Pode ser utilizado em ambientes hostis	Etiquetas sujas são muito difíceis de serem lidas
Maior capacidade de armazenamento de dados	Capacidade bastante limitada de armazenamento de dados
Normas mundiais ainda estão em processo de criação e implantação	Normas mundiais bem definidas
Mais caro: mínimo \$0,10 - mais os custos de fixação do tag	Mais barato para produzir: \$0,001
Necessita de dois passos para aplicação: Criação do Tag e Fixação do Tag	Apenas um passo para aplicação - é facilmente impressa diretamente nas embalagens

Apesar de a tecnologia RFID ter ganhado maior visibilidade apenas nas últimas uma ou duas décadas, sua história é dada como tendo início na década de 1940 (Landt, 2001), juntamente à Segunda Guerra Mundial. A seguir será apresentada a história da tecnologia RFID.

### **2.3 Histórico e Perspectivas**

Glover e Bhatt (2007) dividem a história do RFID em diversos períodos, cada qual com características marcantes para a tecnologia e sua aplicação. Os autores classificam, além de períodos passados, as previsões de desenvolvimento e uso da tecnologia para o futuro. Segundo eles, a história da tecnologia RFID pode ser dividida nos seguintes períodos:

- Período Proprietário – com início após a Segunda Guerra Mundial, o período foi marcado pelo início da aplicação de RFID para identificação de itens de alto valor, propiciado pela redução do tamanho dos componentes dos circuitos de radiofrequência e pelo aumento de sua vida útil. Na década de 80, iniciou-se a utilização para identificação e registro de vagões de veículos ferroviários, chassis de automóveis, identificação de gado (dispositivo RFID instalado na orelha do gado, e muito utilizado no Brasil) e também de peças em células de manufatura. Neste período foi muito comum a reutilização dos tags RFID.
- Período de Compatibilidade (atual) – iniciando-se ao final do século XX com o barateamento nos preços de elementos semicondutores e também com a comoditização da internet banda larga, o período se estende até a atualidade. No período, importantes consumidores potenciais da tecnologia passaram a demandar de seus fornecedores a identificação com tags RFID, tanto para a identificação e rastreamento de itens quanto para carregamentos maiores, aumentando assim significativamente o consumo e o uso da tecnologia.
- Período do RFID nas Empresas – Período previsto para o futuro, onde o RFID substitui a identificação por código de barras, possibilitando a identificação de diversos itens de uma só vez (“varredura”). Ainda nesta fase deve ocorrer uma significativa queda nos preços de componentes eletrônicos, com implementação e melhoria de tecnologias de sensoriamento e de vencimento de produtos perecíveis. As portas dos estabelecimentos e dos estoques estarão munidas de dispositivos RFID permitindo o registro automático de entrada e saída de itens. Outra característica apontada para o período se refere à normatização da tecnologia, que deve sofrer grandes avanços no período, porém ainda com certas dificuldades e barreiras associadas principalmente a questões de segurança.
- Período do RFID nas Indústrias – Nesta fase a integração entre as cadeias de suprimento das empresas e indústrias deverá ocorrer de forma abrangente, uma vez que os padrões e regras de negócio que tangenciam a tecnologia deverão estar bem definidos. Boa parte das questões de privacidade e segurança da informação deverão ter sido respondidas. Deverá haver aumento da produtividade, redução de estoques e de custos diretamente relacionados à aplicação da tecnologia RFID.

- Período de RFID e Internet – Nesta fase a presença da tecnologia deverá ser muito intensa, com alta disseminação nos mais variados campos de aplicação em negócios, indústrias, agropecuária e casas, principalmente devido à redução dos custos de produção e aplicação da tecnologia, unidos ao aumento generalizado da demanda. Segundo os autores, ocorrerá grande integração entre a tecnologia RFID e a internet, através da rede mundial de computadores (WWW) e do projeto de produtos que incluem a tecnologia RFID desde a concepção.

Segundo Guedes (2009), a tecnologia demorou cerca de 60 anos para desenvolver-se de forma a poder ser aplicada em larga escala. Landt (2001) apresenta em seus estudos os principais desenvolvimentos da tecnologia RFID de forma cronológica. A Figura 2.5 apresenta esta cronologia, juntamente com um quadro resumo sobre o histórico e previsões para o futuro da tecnologia.



Figura 2.5 – Quadro Resumo da história da Tecnologia RFID segundo Landt (2001) e Glover e Bhatt (2007)

## **2.4 Frequências de Operação e suas Características**

As seguintes seções abordam as principais características de bandas de frequência disponíveis para utilização em sistemas RFID.

### **2.4.1 Baixas Frequências**

Segundo Jamali (2010), tags RFID de baixa frequência eram os mais comuns no início dos desenvolvimentos da tecnologia RFID. Estes tags operam principalmente nas frequências de 125,0 e 134,2 KHz e, devido às características de seus campos eletromagnéticos, estes tags podem ser lidos quando fixados em objetos contendo água, tecidos animais, metais, madeira e líquidos. Ainda, tais tags tem a menor taxa de transferência de dados entre todas as frequências de RFID e usualmente são capazes de guardar apenas uma pequena quantidade de dados.

As principais características de tags de baixa frequência são enunciadas abaixo. As referências são apresentadas em detalhe na Tabela 2.1.

Range de leitura relativamente baixo quando comparado a outras frequências de operação, sendo 60 cm o maior valor encontrado nas bibliografias consultadas.

Os desempenhos em proximidade a líquidos e metais, ou seja, em ambientes com grandes quantidades de massas metálicas e/ou meios aquosos, é o maior entre todas as frequências, tornando-a interessante para uso em ambientes industriais.

Tamanho relativamente grande quando comparado a tags de alta frequência. Aqui vale ressaltar que tags ativos tem tamanho normalmente maior do que tags passivos, uma vez que contam com presença de bateria em seus circuitos eletrônicos, além de que tags HF tem tradicionalmente formatos achatados, porém cumpridos ou largos.

Custo alto, decorrente principalmente da quantidade de cobre utilizado em suas antenas, cujos inlays são formados por bobinas construídas através do enrolamento de centenas de voltas de fio de cobre. Ressalta-se que o custo também é dependente de diversas outras características, dentre elas a facilidade de obtenção (logística), especificidades da carcaça de proteção e formas de montagem do tag (fixação do chip no inlay). O custo está também associado à necessidade de importar ou não o tag com chip já montado no inlay, ou ainda a compra de tags de mercado, completos com E-Unit e carcaça.

Em relação à normatização, as frequências baixas de 125 KHz e 134,2 KHz são aceitas por todo o mundo.

As aplicações são bastante variadas, destacando-se a identificação animal e imobilização de veículos, mas incluindo também aplicações de controle de acesso.

#### **2.4.2 Altas Frequências**

Segundo Jamali (2010), tags de alta frequência (UHF) operam tradicionalmente na frequência de 13,56 MHz, são passivos e operam em acoplamento indutivo em campo próximo (*Near-Field*). A tecnologia é menos madura do que as que utilizam baixa frequência, porém tem mais utilização de anti-colisão, onde diversos tags podem ser lidos ao mesmo tempo. Estes tags também têm caracteristicamente bobinas com apenas três a sete voltas, o que pode diminuir seu custo em relação à tags LF. Podem ainda ser utilizados eficazmente em ambientes contendo água e madeira, mas mudam bruscamente seu comportamento na presença de massas metálicas. Estão entre os tags mais utilizados no mundo atualmente.

As principais características de tags de alta frequência são enunciadas abaixo. As referências são apresentadas em detalhe na Tabela 3.4.

Range de leitura mais alto quando comparado a tags LF, sendo 1,5 m o maior valor encontrado nas bibliografias consultadas.

Os desempenhos em proximidade a líquidos e metais é considerado bom, mas é relativamente menor quando comparada a tags LF. De fato, autores divergem quanto a esta

informação, sendo que alguns afirmam que o desempenho é bom, enquanto outros afirmam que a tecnologia sofre grande queda de desempenho na presença de água e metais.

Tamanho é considerado médio, mas deve-se atentar para os formatos tradicionalmente disponíveis no mercado, que em grande parte são do tamanho de um cartão de crédito, seguindo norma ISO especificamente determinada para este fim.

Custo baixo quando comparado a tags LF, devido principalmente à quantidade de material utilizado em suas antenas que são construídas através de poucas voltas e, ainda, podem ter o formato plano.

Em relação à normatização, tags de frequências altas de 13,56 KHz são aceitas por todo o mundo.

As aplicações são bastante variadas, destacando-se o controle de acesso, controle de pagamentos, identificação de objetos em prateleiras, controle de bagagens e outras.

### **2.4.3 Ultra Altas Frequências**

Segundo Jamali (2010), tags que operam na faixa de ultra-alta frequência (UHF) utilizam as frequências de 433MHz ou a faixa de frequências de 860 a 960 MHz, e são encontradas nos formatos de tags passivos, semi-passivos e ativos. O uso de mais do que uma frequências UHF operando num mesmo ambiente de aplicação não é aconselhável, uma vez que podem gerar interferências. As distâncias de leitura variam bastante em função da fonte de energia utilizada, sendo que tags passivos e semi-passivos podem atingir distâncias de leitura de até 6 metros. Nesta frequência, os protocolos de anti-colisão são bem definidos, permitindo a leitura de múltiplos tags simultaneamente, porém estes tags não possuem bom desempenho quando em proximidade a massas metálicas e meios aquosos.

A maturidade tecnológica é menor do que o das tags HF, mas a normatização através do EPC Global Geração 2 deu um grande impulso a esta tecnologia, acelerando seu amadurecimento. Ainda assim, a faixa disponível para aplicação varia de país para país.

#### **2.4.4 Micro-ondas**

Segundo Jamali (2010), tags que operam na banda de micro-ondas (MW) estão disponíveis nas frequências de 2.4 e 5.8 GHz, sendo passivos, semi-passivos ou ativos. Têm o menor tamanho entre os tags disponíveis e permitem a distância de leitura de até 4,5 metros para tags passivos, 30,5 metros para tags semi-passivos e 100 metros para tags ativos. Por motivos de frequência extremamente alta, suas zonas de interrogação costumam ser muito bem definidas e pouco abertas, e os tags trabalham bem em proximidade a metais.

Vale ressaltar que diversos outros sistemas como redes sem fio, telefones sem fio e aparelhos que utilizam tecnologia Bluetooth geram ruídos e interferências para estas frequências de operação.

Dentre as principais aplicações estão a coleta de dados em rodovias, identificação de veículos de frotas veiculares e sistemas de localização em tempo real.

#### **2.5 Desafios da Tecnologia**

Apesar do grande envolvimento e compromisso de instituições públicas e privadas de todo o mundo para a viabilização de aplicações RFID em larga escala, atualmente a tecnologia ainda possui diversos desafios a serem transpostos para que se torne uma unanimidade entre os provedores de soluções de identificação automática.

Guedes (2009), a exemplo disto, afirma que os desafios relativos à tecnologia RFID estão intrinsecamente ligados a distorções de sinais, que por sua vez estão relacionadas ao ambiente que rodeia tanto o tag como o leitor, ou ainda a interferências de outros sinais também presentes no ambiente. Segundo o autor, estes são desafios que devem ser solucionados de modo a que a tecnologia passe a ter uso consistente, propiciando popularidade para aplicações variadas.

Muitos desafios se apresentam não somente como dificuldades técnicas, mas também como dificuldades relacionadas às práticas do mercado. Guedes (2009), Smanhoto (2009) e Couto (2008) levantam e apresentam alguns desafios da tecnologia RFID:

- **Preço:** Colocado como a principal barreira da evolução do RFID, e como o maior desafio para a indústria do setor. O possível alto custo de uma solução de RFID, principalmente quando comparado a outros sistemas como os de etiquetas comuns, muitas vezes inviabiliza a implantação do RFID, ou limita sua aplicação ao monitoramento e/ou rastreamento de produtos de alto valor, ou conjuntos de produtos. Atualmente, os desenvolvimentos da tecnologia estão possibilitando a obtenção de preços competitivos ao ponto de substituir, em algumas aplicações, as etiquetas com códigos de barras para produtos de baixo valor. Porém, de maneira geral, a substituição vem ocorrendo a partir de produtos com maior valor agregado.
- **Distância de leitura:** Algumas aplicações RFID requerem que a identificação de produtos seja feita a distâncias muito elevadas, algumas vezes maiores que 100 metros. Esta solução pode ser atingida por alguns sistemas, mas em geral são extremamente caros e podem tornar o investimento inviável.
- **Fornecimento de energia:** Para tags ativos o tempo de vida da bateria ainda é um problema. De fato este é um problema generalizado entre os dispositivos móveis, quer computacional ou não. A capacidade de fornecimento de energia da bateria limita o desenvolvimento de novas aplicações e dispositivos, pois estes requerem uma maior capacidade de processamento e logo um maior fornecimento de energia, o que trona o tempo de duração da bateria muito baixo. Para tags passivos, embora estes obtenham a sua energia na comunicação com o leitor, a carga obtida é proporcional à distância entre a etiqueta RFID e o leitor, de modo a que quanto mais distante menor é a carga obtida. Este problema também limita o desenvolvimento de novas aplicações, pois, para funcionarem corretamente, os tags têm que estar obrigatoriamente perto do leitor, garantindo que a carga recebida seja a suficiente para o processamento ocorrer.
- **Miniaturização:** Embora os dispositivos sejam suficientemente pequenos para serem colocados em tags, algumas aplicações podem necessitar de etiquetas RFID imperceptíveis à visão e ao tato, para permitirem a total integração na rotina das pessoas. Outras podem

necessitar um número elevado de etiquetas num só local, fazendo com que mesmo etiquetas de tamanho pequeno não sejam viáveis para este tipo de aplicação.

- **Precisão:** A necessidade cada vez maior de confiabilidade e precisão das informações obtidas pelos sistemas de coleta de dados exige um constante aprimoramento dos mesmos. Este é um dos principais desafios para os fabricantes de leitores e tags, que precisam manter-se continuamente atualizados, visando assegurar a precisão absoluta nos processos em que são aplicados tais componentes.
- **Integração das empresas:** A relação entre empresas ainda não está bem definida no que tange a tecnologia. Isto, pois com a falta de padronização das informações e de normas comuns adotadas globalmente para o RFID, muitas empresas do setor encontram dificuldades na adaptação de seus sistemas às novas exigências tecnológicas.
- **Tags para cada tipo de material e ambiente:** O desempenho de um sistema de RFID depende do tipo de objeto que está sendo monitorado, bem como do ambiente onde o sistema está implantado. Dessa forma, objetos que contenham materiais como metais ou líquidos, que interferem na eficiência da transmissão de energia de radiofrequência emitida por um leitor comum, comprometem a aplicabilidade da solução de RFID. Para que haja tal implantação, se faz necessária utilização de tags adequados para cada tipo de material e ambiente. Isso representa um grande problema para a afirmação da tecnologia, visto que uma empresa que possua diversos tipos de produtos, e que deseje instalar um sistema de RFID, possivelmente precisará adquirir e lidar com diversos tipos de tags, o que torna a solução muito complexa e, na maioria das vezes, cara e inviável.

## **2.6 Considerações Finais do Capítulo**

Este capítulo apresentou os conceitos básicos que regem o funcionamento de sistemas RFID, seus principais componentes e os principais critérios utilizados para sua classificação, posicionando ainda a RFID dentro do contexto de sistemas de identificação automática (AUTO-ID). O histórico da tecnologia foi apresentado em um escopo generalista, juntamente com suas

perspectivas de desenvolvimento e utilização futura. Foram apresentadas e caracterizadas as principais frequências disponíveis sob o ponto de vista da aplicação, esclarecendo suas principais diferenças e principais usos. Além disso, os principais desafios tecnológicos relacionados à tecnologia foram levantados e apresentados.

Levantados os pontos citados acima, é possível estabelecer as bases de conhecimento necessárias para entender as principais características, métodos e critérios para seleção e aplicação de sistemas RFID, tema principal do próximo capítulo.



### **3 REVISÃO DA LITERATURA: CARACTERÍSTICAS, MÉTODOS E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE SISTEMAS RFID.**

Este capítulo apresenta estudo bibliográfico sobre características, métodos e critérios referenciados e/ou elaborados por diversos autores para seleção e aplicação de sistemas RFID na resolução de problemas, principalmente relacionados à gestão, identificação e localização automatizada de objetos. O texto apresentado procura evidenciar as principais características tecnológicas que influenciam no desempenho de sistemas RFID e como o conhecimento dessas características, quando associado ao entendimento dos requisitos da aplicação, pode ajudar na seleção e determinação do sistema RFID adequado para um projeto. Os estudos realizados formam a base para a metodologia proposta no próximo capítulo desta dissertação.

São apresentadas diversas características e suas influências, através da análise de 8 métodos e textos explicativos, apresentado um total de 30 diferentes questões a serem observadas durante a seleção e aplicação de sistemas baseados em tecnologia RFID.

Para cada caso analisado, foram levantados e expostos os pontos principais, procurando extrair os pontos fortes de cada um deles, e evidenciar o que se considerou pontos fracos através de análises comparativas.

Além disso, são apresentadas considerações a serem feitas especificamente para seleção de tags e antenas RFID, incluindo levantamento bibliográfico e tabelas comparativas entre as diversas opções de escolha, e considerações sobre interferências eletromagnéticas e medidas de desempenho de sistemas.

Os resultados destas pesquisas são apresentados a seguir, iniciando-se por artigo publicado pela Atmel, uma das empresas líderes mundiais no ramo de semi-condutores, e que possui uma linha de produtos centrada na tecnologia RFID.

### 3.1 Métodos e Critérios para Seleção e Aplicação de RFID

Atmel (2011) apresenta diversas considerações para seleção de tecnologias RFID, afirmando que são os requisitos da aplicação que determinam a tecnologia que melhor se enquadra para cada caso. O artigo descreve o que considera ser as características mais importantes para a seleção da correta tecnologia de forma assertiva, enumerando-as:

- Tipo de tag (Ativo ou Passivo);
- Frequência de Operação (LF, HF, UHF, Micro-ondas);
- Tipo de Acoplamento (Indutivo ou Backscatter);
- Taxa de Transmissão de Dados;
- Distância de Comunicação;
- Capacidade de Memória;
- Segurança;
- Maturidade Tecnológica;
- Custo da Leitora.

O artigo apresenta ainda conclusão interessante, afirmando que:

1. Aplicações que necessitem de alta taxa de transferência de dados e alta segurança devem necessariamente utilizar sistemas que estejam de acordo com a norma ISO14443;
2. Aplicações que necessitem de altas distâncias de comunicação deverão utilizar necessariamente tecnologia UHF ou micro-ondas;
3. Para sistemas de média distância de comunicação, tanto tecnologias HF quanto LF podem ser utilizadas.

Apesar de apresentar diversas características tecnológicas de sistemas RFID, o artigo não apresenta, por exemplo, questões sobre tamanho, peso e custo dos tags, ou sobre a forte relação que a presença de certos materiais no ambiente (como metais e água) tem com o desempenho dos sistemas. Outra questão não tratada no artigo é a disponibilidade e maturidade de funcionalidades de anti-colisão para os sistemas em certas bandas de frequência, como LF por exemplo. Aliás, a

literatura por diversas vezes trata a opção de anti-colisão como indisponível para tags que operem na banda de frequência baixa, o que não traduz a realidade da tecnologia disponível atualmente.

Já a Motorola (2011) propõe que a escolha da tecnologia de rádio frequência certa para automatizar negócios seja feita a partir de uma série de perguntas, as quais devem ser feitas no momento da escolha da melhor tecnologia para uma aplicação. Em seguida o artigo apresenta características para os diversos tipos de sistemas, diferenciando-os a partir da frequência da onda portadora e atrelando a frequência às distâncias mínima e máxima de leitura, enunciando ainda que *“as distâncias de leitura indicadas são comuns e típicas, e são dependentes de especificidades dos tags RFID, do ambiente ao seu redor e da operação”*.

Abaixo são enunciadas as perguntas sugeridas por Motorola (2011). Observando cada uma delas através do ponto de vista técnico, é possível evidenciar que as respostas levam, em realidade, ao entendimento de requisitos do sistema que permitirão a escolha da correta tecnologia para o sistema. São as perguntas:

- Qual a menor e maior distância entre tags e as Leitoras?

Análise: A maior distância entre tag e antena determina (ou elimina) bandas de frequência adequadas para a aplicação. Já a menor distância entre dois tags influencia diretamente na escolha de equipamentos que contemplem ou não tecnologia de Anti-Colisão. Vale ressaltar, ainda, que nem sempre uma maior distância de leitura possível é característica boa para o sistema.

- É necessário ler um tag por vez ou vários simultaneamente?

Análise: A necessidade de ler um ou mais tags por vez determina a necessidade ou não de tecnologia Anti-Colisão, característica que para ser utilizada deve estar presente tanto nas características tecnológicas do tag quanto da antena.

- O monitoramento e controle será feito para itens que tem relativamente alto ou baixo custo?

Análise: O custo dos itens influencia diretamente na escolha da tecnologia RFID adequada (em custo) para o sistema. Por exemplo, para equipamentos de alto custo, há

maior liberdade para escolhas de tecnologias RFID mais caras, enquanto para identificar equipamentos de baixo custo, é ideal que se utilize tecnologias mais baratas ou mesmo controlar e monitorar os equipamentos através de carregamentos maiores (contêineres, por exemplo).

- Quanta informação será armazenada na memória do tag?  
Análise: Tags em frequências diferentes e com características de fonte de energia diferentes, também possuem diferentes capacidades e formas de armazenamento de dados. Tags de baixa frequência, por exemplo, possuem costumeiramente menor capacidade de armazenamento de dados do que tags de frequências mais altas. Assim, a quantidade de dados a ser armazenada pode ser fator determinante para a escolha da frequência de operação, assim como para o tipo de tag, ativo ou passivo.
- Serão realizados pagamentos e/ou outras transações utilizando equipamentos com tecnologia RFID incorporada?  
Análise: Existem tecnologias RFID especificamente desenvolvidas para garantir precisão e segurança para transações eletrônicas, costumeiramente são tags de alta frequência, 13.56 MHz, com tecnologia Passiva (é o caso dos cartões Visa e Master Card, por exemplo).
- Onde se deseja realizar a leitura dos tags? Entradas e saídas de edifícios? Meio do caminho? Etc.  
Análise: Esta questão é importante para a escolha das antenas de leitura (fixas ou móveis, posicionamento, frequência de operação, características anti-colisão e outras).
- Quão sensível são os dados armazenados no tag? Qual o nível de segurança que é necessário para o dado?  
Análise: A escolha de tecnologia com distância de leitura adequada, tamanho e peso adequados, além de frequência adequada, não necessariamente garante que sua adequação para a realização segura e precisa de certas operações (p.e. transações financeiras e

controle de acesso a áreas restritas). Existem sistemas que possuem algoritmos criptográficos e verificação por senha (autenticação), entre outras, que aumentam a segurança da informação contra cópia e uso indevido, porém são mais caros do que sistemas mais simples, onde a segurança do dado não é tão importante.

Assim, através de perguntas e respostas simples, o artigo da Motorola permite determinar uma porção de características técnicas importantes para a seleção e aplicação de sistemas RFID.

A EBV Elektronik publicou, em setembro de 2010, um guia para seleção de componentes para sistemas RFID. Este guia contou com a participação das empresas Atmel, Fujitsu, NXP, ST e Texas Instruments, cinco das maiores empresas do mercado de RFID no mundo.

O texto apresentado mostra princípios básicos da tecnologia dos componentes de sistemas RFID, e discorre sobre seus critérios de seleção, apresentando vasta lista de características a serem observadas, dentre as quais se pode destacar:

- Distância de Leitura;
- Materiais presentes no ambiente;
- Memória;
- Frequência de Operação;
- Segurança;
- Quantidade e Custo do tag;
- Quantidade e Custo de Leitoras/Antenas;
- Dimensões (antena, tag, leitora);
- Requisitos Gerais
  - Robustez do tag
  - Requisitos de Anti-Colisão
  - Material do tag
  - Temperatura do Ambiente de Aplicação
  - Consumo de Energia do Sistema
  - Experiência da Equipe de Desenvolvimento
  - Leitora de Mercado ou Desenvolvimento Próprio

Apesar de ter uma lista bastante completa, o texto não aborda diretamente questões como a necessidade de se entender a maturidade tecnológica de determinada escolha, ou a facilidade/custos de se encontrar fornecedores, ou ainda questões relativas ao material/objeto a ser identificado.

Finkenzeller, K. (2003) apresenta critérios de seleção para sistemas RDIF, afirmando que os requisitos técnicos para aplicação RFID muitas vezes se sobrepõem, explicando:

*“... a classificação clara de sistemas RFID que se adequem a determinada aplicação não é uma questão simples. Para tornar as coisas mais difíceis, fora alguns casos especiais (identificação animal, Smart Cards de acoplamento a curta distância), não há normas vinculativas para sistemas de RFID.*

*É difícil, mesmo para um especialista, reter uma visão geral da gama de sistemas RFID atualmente em oferta. Portanto, nem sempre é fácil para os usuários selecionar o sistema que melhor se adéqua às suas necessidades.”*

Segundo Finkenzeller (2003), alguns pontos a serem considerados quando se seleciona tecnologias RFID são:

- Frequência de Operação – influencia diretamente nas distâncias de leitura e no desempenho do sistema, principalmente quando há presença de meios aquosos e massas metálicas;
- Distâncias de Leitura – A distância requerida por determinada aplicação depende de fatores como a precisão do posicionamento do transponder (tag), a distância mínima entre dois tags durante a operação normal do sistema e a velocidade com que o tag atravessa a zona de interrogação da antena de leitura;

- Requisitos de Segurança – Tratam de criptografia e autenticação, e devem ser avaliadas de forma precisa para que surpresas sejam evitadas no momento da aplicação. Deve-se avaliar quanto incentivo há para que um possível invasor em potencial tente obter dinheiro ou bens materiais de forma desonesta utilizando vulnerabilidades do sistema. O autor divide as aplicações em dois grandes grupos: Aplicações industriais ou fechadas, e aplicações públicas relacionadas com dinheiro e bens materiais.
- Capacidade de Memória – Deve ser analisada de forma precisa, uma vez que o tamanho do chip a ser utilizado no tag RFID e sua classe de preço são essencialmente determinados pela sua capacidade de memória. Por exemplo, a escolha de tags com armazenamento permanente de dados, com sistemas de somente leitura (Read Only tags), podem ser utilizados em aplicações sensíveis ao preço para compra em grande escala, e que tenham baixa necessidade de informação local no tag. Entretanto, muitas vezes uma quantidade baixa de dados fixos não supre as necessidades da aplicação (p.e. cartões de ônibus – onde devem ser armazenados dados financeiros), e há a necessidade de tags com capacidade de leitura e escrita em suas memórias, tudo de forma segura.

Apenas como observação, ressalta-se que o autor, apesar de dedicar uma seção inteira de seu livro aos critérios de seleção para sistemas RFID (acima citados), o livro trata de diversas outras características importantes em outras seções e capítulos.

Segundo RFID.net (2012), as seguintes questões devem ser consideradas, principalmente para sistemas RFID a serem aplicados para a área de logística e cadeia de suprimentos:

- Normas que regem sistemas RFID;
- Localização geográfica da aplicação (pois cada região do globo tem normas específicas regulando a emissão de ondas eletromagnéticas). As diferenças entre o funcionamento da leitora nas diversas regiões vai além da escolha da faixa de frequência a ser utilizada. Existem diferenças na potência emitida, como o leitor espera entre as frequências, e mais);
- Tamanho do tag;
- A orientação do tag;

- Temperatura, humidade e clima em que os tags vão operar. Deve-se considerar os extremos de temperatura e humidade, e dar especial atenção à forma de fixação, que pode ser inadequada para tais ocasiões extremas;
- Memória do tag - É essencial quando algumas informações não podem ser armazenadas em um banco de dados, mesmo que temporariamente;
- Necessidade de leitura, escrita ou ambos (em relação ao tag);
- Correta especificação do método e local de fixação do tag.

Além de esta lista de pontos a serem observados (apresentados acima), o texto expõe a necessidade de se entender a fundo a operação à qual será integrado o sistema RFID, descrevendo:

*"... em termos simples, a escolha do tag e seu posicionamento deve ser adequado para o ambiente mais desafiador do sistema, que é mais provável que se encontre fora de sua própria instalação e controle. Como o seu cliente de varejo tem pouco controle sobre o tag RFID utilizado e onde este é colocado, eles esperam que você etiquete os produtos corretamente".*

Ainda, o texto exemplifica que um produto, no momento da movimentação de uma instalação para outra, pode ser colocado lado a lado com outro produto que possua metais e água, por exemplo, ou ainda ser posicionado de forma que o tag fique fora do campo direto da antena. Dependendo da escolha do tag e seu posicionamento, estes casos podem prejudicar criticamente a aplicação.

Q.J.J. Antônio (2006) cita durante texto sobre a estratégia de implantação de sistemas RFID que

*"A abordagem mais eficaz para a implantação de RFID na cadeia suprimentos é a elaboração de um projeto piloto".*

O texto explica que o cruzamento de informações sobre implantações de sistemas RFID levou à identificação de diversas características relevantes. Entre elas:

- Criar uma equipe multidisciplinar, evitando que o projeto fique apoiado em apenas uma área da empresa que recebe o projeto do sistema. Afirma que as áreas operacionais, técnicas e gerenciais devem estar comprometidas com o resultado do projeto, caso contrário o sucesso estará comprometido;
- Treinar a equipe, tanto técnicos como gerentes, criando uma visão única do que é o projeto, quais os seus benefícios e quais serão os desafios que deverão ser ultrapassados;
- Identificar problemas e oportunidades, fase que geralmente já está pré-definida ou com metas pré-acordadas, pois foram estes argumentos (ou problemas) que levaram a empresa a pensar em começar um projeto de implantação de RFID. O autor sugere o uso de gráficos de Ishikawa e/ou FMEA;
- Definir o escopo de projeto, como a tecnologia será implantada, quais sistemas estarão envolvidos, que processos serão mudados, quais integrações serão necessárias e qual o roteiro de trabalho a ser seguido desde a construção da estrutura até a manutenção da mesma. O autor destaca ainda que o processo de visão do negócio é geralmente negligenciado e resume que, para definir o escopo do projeto são necessários: estudar o processo que será automatizado com foco no negócio e não na tecnologia; levantar a arquitetura atual e integrá-la com o processo e com a tecnologia de RFID; definir o nível de rastreamento que o processo irá suportar (itens, caixas, pallets , etc.); permitir que a solução seja capaz de tratar a grande quantidade de dados que serão gerados e problemas de gerenciamento com a utilização de um middleware apropriado.
- Realizar projeto piloto, destacando a observação das influências do ambiente, das limitações da tecnologia e da interação entre o sistema RFID e as operações cotidianas que ocorrem no local onde o mesmo está sendo implantado.

Observa-se que o autor dá ênfase às questões gerenciais do projeto de implantação da tecnologia RFID, uma vez que este é o foco de seu trabalho, e afirma:

“... para definir o escopo do projeto são necessários: estudar o processo que será automatizado com foco no negócio e não na tecnologia...”

Desta forma, fica claro que o foco do autor não está nas questões tecnológicas e de aplicação (seleção de frequência de operação, tamanho e peso do tag, posicionamento de antenas, etc.), mas sim no negócio em si.

Já Antônio, D.J., et. al.(2008) apresenta um sistema de controle de patrimônio através de RFID, descrevendo o método representado no diagrama da Figura 3.1, adaptada de Wille e Wille (2005), cujo foco está no desenvolvimento de produtos, o que o torna distinto dos demais apresentados.

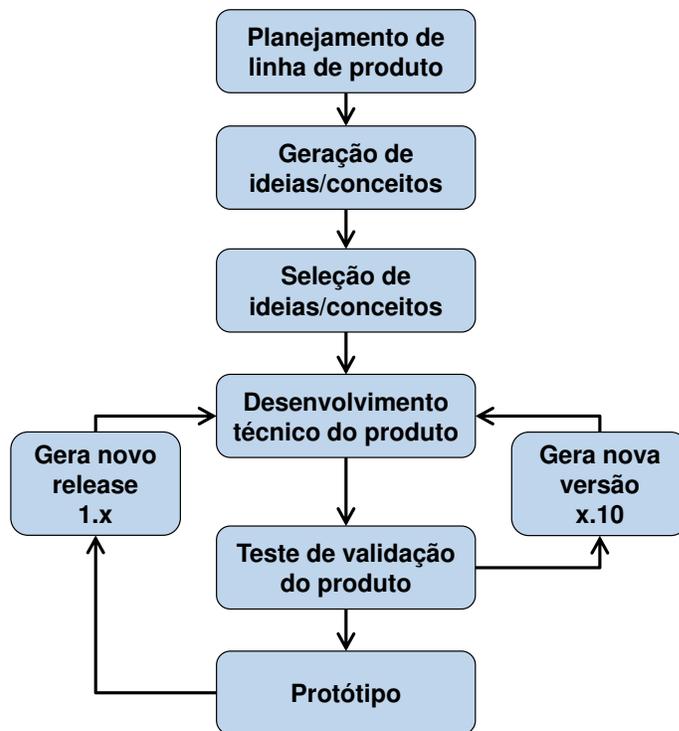


Figura 3.1 – Diagrama de Método de Desenvolvimento de Produtos - Adaptado de Willie e Willie (2005)

No artigo os autores propõem a utilização do método para o desenvolvimento de um produto baseado em RFID. No caso apresentado, tal desenvolvimento é, em suma, um projeto e aplicação de sistema RFID, incluindo seleção e teste de tecnologias. O grande diferencial neste caso é que a aplicação – um produto – é desenvolvida para ser produzida em série, enquanto um projeto generalista pode ser desenvolvido de forma customizada para uma aplicação específica. Assim, o método apresentado trata questões como geração de ideias e conceitos além de planejamento da linha de produto. As seguintes fases são apresentadas para este desenvolvimento (D.J.,Antônio et. al.,2008):

**Fase 1** - Planejamento de Linha de Produto: estudo científico do foco do produto, auxiliado pelas consultorias e empresas que apoiam o projeto;

**Fase 2** - Geração de ideias/conceitos: utilizando-se de técnicas existentes, levanta-se sugestões, opiniões e necessidades do mercado, para identificação de referências e estimativas que contribuam para a criação do produto;

**Fase 3** - Seleção de ideias/conceitos: estudo, tabulação e conclusão das etapas anteriores, definindo o objeto/produto a ser desenvolvido.

**Fase 4** - Desenvolvimento técnico do produto:

- a) Soluções e seleção de equipamentos e componentes eletrônicos;
- b) Identificação de Fornecedores;
- c) Aquisição de materiais;
- d) Implementação na aplicação.

**Fase 5** – Teste e validação do produto:

- a) Análise de Confiabilidade de leitura e aquisição de dados;
- b) Integridade da comunicação de dados;
- c) Integração das soluções com softwares embarcados e de banco de dados.

**Fase 6** – Protótipos: Montagem de protótipos.

Apesar de a metodologia ser apresentada de forma relativamente simplificada no artigo, a Fase 5 – teste e validação do produto - levanta diversas características importantes para o desenvolvimento de projetos RFID. Dentre os testes realizados e apresentados destacam-se verificações de distâncias de leitura quando o sistema é submetido a diversos ambientes e

condições, por exemplo: Testes com presença de massas metálicas (tag sob metal), testes com obstruções entre tag e antena (corpo humano, metais, madeira com grande e pequena espessura e líquido), testes com tag em movimento relativo à antena, tag submerso em água, e outros. Em uma visão geral, o artigo apresenta a utilização de um método que inclui testes de diversas características de sistemas RFID, que são fortemente influenciadas pelo ambiente de aplicação, fazendo pouca menção às fases 1, 2 e 3 do método apresentado no artigo.

Segundo RFID.net (2012), as seguintes informações devem ser obtidas antes de contatar um fornecedor de tags RFID, pois as respostas a estas questões afetarão diretamente o projeto do tag. São elas:

- Quais são as dimensões máximas e mínimas que o tag pode ter?
- A que distâncias se necessita que a antena possa ler o tag?
- Quantos tags se deseja ler ao mesmo tempo e quanto tempo hábil há para isso?
- Em que superfície você fixará o tag e de qual material a mesma é feita?
- O tag será plano ou haverá elevações e/ou dobras?
- Uma vez aplicado, o tag terá que ser removido algum dia?
- Há requerimentos de segurança? Ou seja, se o tag for removido, é necessário que ele não funcione mais?
- Quanto à leitura e gravação, métodos típicos incluem usar uma impressora RFID ou gravadora RFID, um aplicador rápido de etiquetas, uma leitora RFID handheld ou uma leitora de RFID fixa. Como você vai codificar (escrever dados) nos tags?
- É necessário que algo seja impresso no tag? (marca, data, etc.)
- Se você vai usar uma impressora RFID ou uma aplicadora rápida de etiquetas, qual será a marca e modelo utilizada?
- Quão longo é o ciclo de vida do tag? Quanto tempo você espera de vida útil para o tag? A escolha errada para o material da antena pode fazer com que ela oxide com o tempo, matando o tag.
- Quais as condições do ambiente ao qual o tag será submetido durante sua vida útil? Deve-se observar a temperatura, humidade e carga eletrostática. Ele será lavado com água e sabão?

- Quantos tags você precisa? Fazer uma previsão do consumo de tags é importante, pois isto afeta diretamente o preço do tag, assim como a capacidade do fornecedor de entregar da quantidade certa e no local certo, no momento certo.

Algumas questões são bastante diretas, mas suas respostas podem levantar fatores limitantes quanto à liberdade de escolha da tecnologia. Por exemplo, tags ativos costumam ser grandes quando comparados a tags passivos, assim uma pergunta sobre seu tamanho máximo e mínimo pode eliminar a possibilidade de uso de tags ativos para o projeto. O tamanho das antenas também sofre bastante variação dependendo da frequência de operação escolhida e da distância de leitura desejada. Já quando são questionadas as distâncias de leitura, as respostas podem limitar ou ampliar o escopo de tecnologias relacionadas principalmente à frequência de operação, tamanho dos tags, tipo de antena, entre outras. Questões que tratam da necessidade de se ler um ou mais tags por vez estão relacionadas principalmente à disponibilidade ou não de tecnologias de anti-colisão no sistema. Esta tecnologia não está disponível para todos os tipos e tamanhos de tags e antenas e influencia diretamente no custo dos equipamentos e nos seus desenvolvimentos. Questões sobre a presença de materiais são muito importantes. Mesmo que o tag tenha sido escolhido para trabalhar em uma faixa de frequência adequada para estar na presença de diversos materiais (p.e. massas metálicas e meios aquosos), é possível que seja necessário aferi-lo, assim como suas antenas de leitura. Outras questões visam entender questões de segurança, possibilidades e necessidades de regravação, produção dos tags e vida útil. Cada uma das respostas, em realidade, gera requisitos específicos para o projeto. Pela sua característica didática, a abordagem de perguntas e respostas será uma das utilizadas no método proposto no próximo capítulo desta dissertação.

Compilando os dados obtidos nas referências nesse levantamento bibliográfico, é possível verificar o que cada texto propõe que seja observado, assim como o número de vezes que essa proposta ocorre. A Tabela 3.1 apresenta esta compilação de dados e evidencia ainda que em nenhum caso estudado todas as questões (técnicas, de negócio e testes) são apresentadas dentro do mesmo método ou estudo.

Tabela 3.1 - Compilação de Dados de Referências Bibliográficas do Capítulo 3.

Referência	Questões Técnicas															Outras (Negócio e Validações)														
	Ativo x Passivo	Frequência de Operação	Tipo de Acoplamento	Taxa de transmissão de Dados	Distância de Comunicação	Capacidade de Comunicação	Segurança de Armaz. Dados	Presença de Informação	Presença de Massas Metálicas	Ciclo de Vida do Tag	Presença de Madeira	Tamanho / Peso (Tag / Leitora)	Anti Colisão	Maturidade da Tecnologia	Custo do Item Identificado	Posicionamento das Antenas	Tipos de Transação	Posicionamento e Fixação Tags	Adequação às Normas	Custo (Leitora / Tag)	Equipe de Aplicação (Seleção)	Trinamento Equipe Usuário	Ident. Problemas/Oportunid.	Definir Escopo Projeto	Seleção de Fornecedores	Realizar Projeto Piloto	Logística (obtenção e custos)	Testes de Validação	Desenv. De Protótipos	Ambiente e Operação Aplicação
Atmel	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Motorola (2011)	x	x	-	-	x	x	x	-	-	-	-	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EBV (2010)	-	x	-	-	x	x	-	x	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x
Finkenzeller (2003)	-	x	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RFID.net (2012)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Q.JJ. Antonio (2006)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-	x
D.J.,Antonio et. al. (2008)	x	x	-	-	x	x	-	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	x	x	x
RFID.net (2012)	x	x	-	-	x	-	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x
TOTAL DE APARIÇÕES	3	6	1	1	6	5	4	3	3	1	3	3	4	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	1	2	1	1	5

### 3.2 Considerações sobre a Seleção de Tags RFID

A seleção do tag RFID correto para determinada aplicação não é tarefa simples, possuindo uma grande variedade de propriedades cujas escolhas são muito significativas para usos específicos (HANSEN, H-R e GILLERT, F., 2008).

Ainda, segundo Finkenzeller (2003), são três as características consideradas como principais para diferenciar sistemas RFID:

- Frequência de Operação
- Distância de Leitura
- Requisitos de Segurança

As seções a seguir apresentam estudos e comparações de características de tags RFID essenciais para sua seleção. O estudo inclui quadros comparativos sobre características relacionadas à fonte de energia e frequências de operação. Conforme será apresentado, distâncias de leitura estão intimamente ligadas a estas duas características e também ao ambiente de aplicação.

### **3.2.1 Seleção segundo a Fonte de Energia: Tags Ativos vs Tags Passivos**

As principais vantagens dos tags passivos em relação aos tags ativos estão relacionadas ao seu custo baixo, permitindo que seja aplicado em várias situações. Outras vantagens dizem respeito à vida útil quase ilimitada, visto que não possuem bateria interna, ou seja, não há a necessidade de substituição. Além disso, não necessitam de manutenção e são relativamente leves e pequenos, característica ressaltada pela sua construção monolítica.

Por outro lado, a não existência de bateria interna se apresenta como desvantagem em relação às distâncias de leitura, que são consideradas curtas quando comparadas às distâncias que podem ser atingidas por tags ativos.

Pelo fato de possuírem energia interna, os tags ativos podem funcionar sem a proximidade de um leitor. Podem monitorar, por exemplo, um determinado parâmetro de sistema ou do ambiente. Além disso, suas características permitem melhores aplicações de segurança.

Os tags ativos não suportam condições adversas de uso, pois têm baterias e circuitos mais complexos e delicados. Além disso, necessitam de troca ou recarga da fonte de energia própria, com periodicidade dependente da aplicação.

Os tags passivos são mais baratos do que tags ativos e suas características são adequadas para variadas aplicações. Por esta razão, de maneira geral, os tags ativos somente são utilizados quando não há um sistema com tags passivos que satisfaça as necessidades. Muitas vezes deixam de ser utilizada pela não necessidade de suas funções mais rebuscadas ou também pela inviabilidade de seu uso pelo alto custo da implantação do projeto.

A Tabela 3.2 (a), (b) e (c) apresentam um resumo das pesquisas realizadas para tags ativos e passivos, evidenciando suas principais diferenças e a bibliografia utilizada como referência.

Tabela 3.2(a) – Comparativo e Referências Bibliográficas – Tags Ativos vs Tags Passivos

<b>Característica</b>	<b>Referência Bibliogr.</b>	<b>Tag tipo passivo</b>	<b>Tag tipo ativo</b>
Fonte de Alimentação	Guedes (2009)	Recebe Energia Gerada Pelo Leitor	Possui fonte de energia própria (bateria)
	Sybase Portugal (2006)		
	Finkenzeller (2003)		
	Gomes (2007)		
	Lahiri (2006)		
	Manish (2005)		
	Sanguera (2007)		
	Roussos (2008)		
	Savi Tech. (2002)		
Comunicação	Guedes (2009)	Deve ser iniciada pelo leitor	Responde a sinal gerado pelo leitor ou inicia comunicação solo
	Finkenzeller (2003)		
	Gomes (2007)		
	Lahiri (2006)		
	Manish (2005)		
	Sanguera (2007)		
	Savi Tech. (2002)		
Disponibilidade de Energia	Sybase Portugal (2006)	Sempre, na presença do leitor.	Continua (enquanto houver energia na armazenada na bateria)
	Finkenzeller (2003)		
	Gomes (2007)		
	Roussos (2008)		
	Savi Tech. (2002)		
Tamanho Médio	Guedes (2009)	Pequeno	Grande
	Sybase Portugal (2006)		
	Lahiri (2006)		
	Manish (2005)		
	Sanguera (2007)		
Distância de Leitura	Guedes (2009)	Curto Alcance	Grande Alcance
	Sybase Portugal (2006)		
	Finkenzeller (2003)		
	Gomes (2007)		
	Roussos (2008)		
	Savi Tech. (2002)	< 3m	0 a > 100 m
	Manish (2005)	Curto Alcance	Grande, podendo atingir mais de um quilômetro.
	Sanguera (2007)		
	Lahiri (2006)		
Motorola (2011)	de 2,54 cm a 1 m	de 2,54 cm a 1,6 Km	

Tabela 3.2(b) Cont. Comparativo e Referências Bibliográficas – Tags Ativos vs Tags Passivos

<b>Característica</b>	<b>Referência Bibliogr.</b>	<b>Tag tipo passivo</b>	<b>Tag tipo ativo</b>
Capacidade de Armazenamento de Dados (Memória)	Gomes (2007)	128 bytes	Até > 128KBytes
	Savi Tech. (2002)		
	Lahiri (2006)	Normalmente 128 bytes, mas alguns casos até 64kbytes.	Até > 8MBytes
	Manish (2005)		
	Sanguera (2007)		
Custo	Guedes (2009)	Baixo custo	Alto custo (Bateria, circuitos)
	Sybase Portugal (2006)		
	Lahiri (2006)		
	Manish (2005)		
	Sanguera (2007)		
Vida Útil	Guedes (2009)	Quase Ilimitada	Baixa De acordo com a bateria
	Lahiri (2006)	Longa	Em torno de 5 a 10 anos
	Manish (2005)		
	Sanguera (2007)		
Características de Aplicação Levantadas pelos Autores	Gomes (2007)	Processos Comerciais com Regras Fixas: requerem baixa quantidade de dados no tag	Processos Comerciais com Regras Dinâmicas: requerem alta quantidade de dados no tag - log
	Savi Tech. (2002)	Adequado quando a circulação de bens (c/ etiquetas) é altamente consistente e controlada, e pouco ou não é necessário armazenamento de segurança.	Processos dinâmicos, com circulação de bens variável, com necessidade de segurança sofisticada, assim como grau de armazenamento de dados.
	Lahiri (2006)	Processos que incluem substâncias químicas, corrosivas, ácidos, alta temperatura.	Vagões de trem, contêineres. Muitas aplicações que operam em UHF
	Manish (2005)		
	Sanguera (2007)		

Tabela 3.2(c) Cont. Comparativo e Referências Bibliográficas – Tags Ativos vs Tags Passivos

<b>Característica</b>	<b>Referência Bibliogr.</b>	<b>Tag tipo passivo</b>	<b>Tag tipo ativo</b>
Uso em alta velocidade.	Savi Tech. (2002)	Difícil e muitas vezes não confiável	Mais confiável
Multi tag (Anti-Colisão) com e sem velocidade relativa	Gomes (2007)	Limitado	Confiável
	Savi Tech. (2002)	Centenas de tags dentro de 3 metros quadrados. 20 tags a 3mhp ou menos.	1000 tags em uma área de mais de 7 hectares, com um único leitor. 100 tags a mais de 100mhp.
Segurança	Gomes (2007)	Existente, mas básica.	Sofisticada
Capacidade de Sensoriamento	Savi Tech. (2002)	Propicia registro de entrada e saída, somente quando o tag é excitado pelo leitor.	Monitoramento contínuo da entrada do sensor, podendo registrar dados e data/hora para os acontecimentos.

### 3.2.2 Seleção segundo Frequências de Operação

Os sistemas RFID funcionam normalmente em bandas de frequência ISM (*Industry Scientific Medical*), sendo comumente agrupados em três grupos dependendo de suas frequências de operação.

Os sistemas de baixa frequência (LF) situam-se entre os 30khz e 300khz, os sistemas de alta frequência (HF) entre 3MHz e 30MHz e, os de ultra-alta frequência (UHF), entre 300MHz e 3 GHz. (FINKENZELLER, 2003). Há ainda a classificação conhecida como micro-ondas (*Microwave*), possuindo duas frequências úteis para a RFID (2.4 e 5.8 GHz). A União Internacional de Telecomunicações (*ITU - International Telecommunication Union*) divide o globo em três regiões para normatização do uso dessas frequências, conforme indica a Figura 3.2. Os

países que pertencem a uma determinada região são convidados a respeitar todas as indicações do regulador dessa região, esperando-se assim um consenso mundial no futuro (GUEDES, 2009).

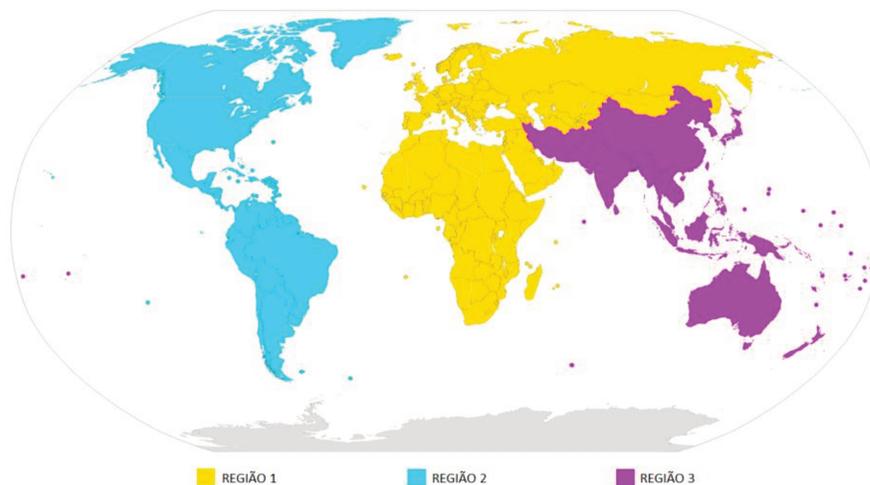


Figura 3.2 – Regiões do Mundo com larguras de banda de funcionamento RFID em comum, adaptada de Wikimedia Commons (2012).

Ainda, em virtude da existência de normas e regulamentos especificamente criados para controlar dispositivos de identificação por radiofrequência, apenas algumas frequências nessas bandas estão disponíveis para uso:

- Baixa Frequência (Low Frequency – LF): 125 – 134 KHz
- Alta Frequência (High Frequency – HF): 13,56 MHz
- Ultra-Alta Frequência (Ultra-High Frequency – UHF): 433 MHz e 860-960 MHz
- Micro-ondas (Microwaves): 2.4 e 5.8 GHz

A Figura 3.3 mostra a distribuição dos principais grupos de frequência e suas respectivas localizações no espectro de frequências de comunicação.

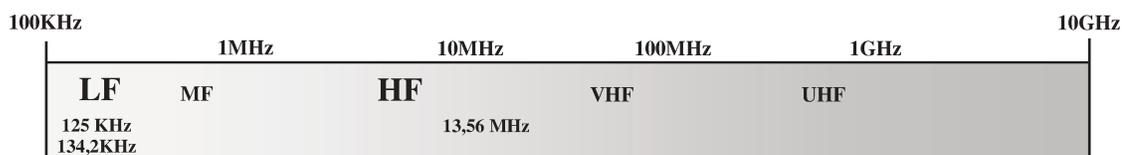


Figura 3.3 - Distribuição dos principais grupos de frequência e suas respectivas localizações no espectro de frequências de comunicação

### 3.2.2.1 Comparativo entre Frequências LF (134,2 e 125 KHz) e HF (13,56 MHz)

Devido à similaridade entre diversas características de tags LF e HF, diversos autores apresentam estudos comparativos entre essas tecnologias. A Tabela 3.4 apresenta uma compilação de estudos encontrados em diversas referências. Para as principais frequências utilizadas em bandas baixas, 125 KHz e 134,2 KHz, as consultas bibliográficas não evidenciaram diferenciação de desempenho, o que sugere que neste caso o desempenho talvez não seja o ponto chave na tomada de decisão entre uma ou outra tecnologia.

Tabela 3.3(a) – Comparativo e Referências Bibliográficas – Sistemas RFID de Baixa Frequência (LF) vs Sistemas RFID de Alta Frequência (HF)

<b>Característica</b>	<b>Referência</b>	<b>LF</b>	<b>HF</b>
Distância de Leitura ( <i>Read Range</i> )	Gomes (2007)	< 10 cm	< 1 m
	Finkenzeller (2003)	0 a 15 cm	0 a 1 m
	Cunha (20__)	< 0,5 cm	< 1 m
	Monarch (2006)	Até 1 m	Até 1,5 m
	Magellan Tech. (2006)	15 cm	1 m
	Lahiri (2006)	< 0,6 m	< 1 m
	Motorola (2011)	De 2,54 cm a 0,45 m	De 2,54 cm a 1 m
Desempenho em proximidade a massas metálicas e meios aquosos	Gomes (2007)	Muito Bom	Bom
	Finkenzeller (2003)		
	Monarch (2006)		
	Magellan Tech. (2006)		
	Lahiri (2006)		
	Guedes (2009)		
Cunha (20__)	Melhor Disponível	Média	
Tamanho	Cunha (20__)	Grande	Médio
	Guedes (2009)		
Custo do Tag	Monarch (2006)	Alto (varia com espira antena)	Alto ou Alto +
	Magellan Tech. (2006)		
	Guedes (2009)		
	Cravo (2007)		

Tabela 3.3(b) – Comparativo e Referências Bibliográficas – Sistemas RFID de Baixa Frequência (LF) vs Sistemas RFID de Alta Frequência (HF)

<b>Característica</b>	<b>Referência</b>	<b>LF</b>	<b>HF</b>
Normatização	Gomes (2007)	Aceita em todo o mundo para RFID	Aceita em todo o mundo para RFID
	Cunha (20__)		
	Lahiri (2006)		
	Guedes (2009)		
	Finkenzeller (2003)	Reservado um range de frequência (ISM)	Reservado um range de frequência (ISM)
Características de Aplicação Levantadas pelos Autores	Finkenzeller (2003)	Animal ID, controle de Acesso, imobilização de veículos.	Bagagem aérea, cartões inteligentes ( <i>smart cards</i> ), bibliotecas, controle de acesso, identificação de itens.
	Guedes (2009)		
	Cunha (20__)	Controle de acesso, identificação de animais e rebanhos (especialmente 134,2 KHz)	Controle de acesso, controle de pagamentos, controle de itens, lavanderias.
	Roberts (2006)		
	Gomes (2007)	A maior parte das aplicações no mundo são relacionadas a controle de animais	Bibliotecas, hospitais (não interfere no funcionamento de equipamentos médicos).

### 3.2.2.2 Questões Relativas ao uso de Tecnologias UHF para RFID

A Tabela 3.5 apresenta uma série de autores que afirmam que tags que trabalham na faixa de frequência UHF não apresentam bom desempenho em presença de meios aquosos e massas

metálicas. Por consequência esses tags deixam de satisfazer requisito fundamental em diversos projetos. Já a Tabela 3.6 apresenta relação de autores cujos textos afirmam que o desempenho de sistemas RFID, quando na presença de metais e meios aquosos, varia ótimo para ruim, conforme se sobe na escala de frequências.

Tabela 3.5 – Desempenho de sistemas RFID operando em UHF quando em proximidade a massas metálicas e meios aquosos

<b>Característica</b>	<b>Referência</b>	<b>UHF</b>
Desempenho em proximidade a Massas Metálicas e Meios Aquosos	Finkenzeller (2003)	Baixo ou Ruim
	Rei, A. J. (2010)	
	Hunt, Puglia (2007)	
	Gomes (2007)	
	Magellan Tech. (2006)	
	Guedes (2009)	
	Sybase Portugal (2006)	

Tabela 3.6 – Variação de Desempenho de sistemas RFID em diversas frequências em função da presença de massas metálicas e/ou meios aquosos

<b>Característica</b>	<b>LF</b>	<b>HF</b>	<b>UHF</b>
Desempenho em proximidade a Massas Metálicas e Meios Aquosos	Ótimo < ----- > Ruim		

Assim, os tags RFID pertencentes à faixa de ultra-alta frequência podem ser descartados do processo de escolha tecnológica quando se tratam de sistemas com alta quantidade de massas metálicas ou de meios aquosos, como é o caso a ser apresentado no Estudo de Caso dessa

dissertação. Quando se tem este tipo de ambiente, podem ser utilizadas tecnologias cujas frequências são mais baixas, como LF e HF.

### 3.3 Considerações sobre a Seleção de Antenas RFID

Em sistemas RFID as antenas são responsáveis pelo envio e recebimento de energia eletromagnética a partir e para o espaço em torno de si. Segundo Sushim e Nemaï (2010), qualquer estrutura condutiva pode ser chamada de antena, mas a eficiência com que cada estrutura transforma esta energia é a chave para se determinar quão eficientemente a comunicação pode ser estabelecida no sistema. A Figura 3.4 apresenta antenas RFID de diversos formatos:

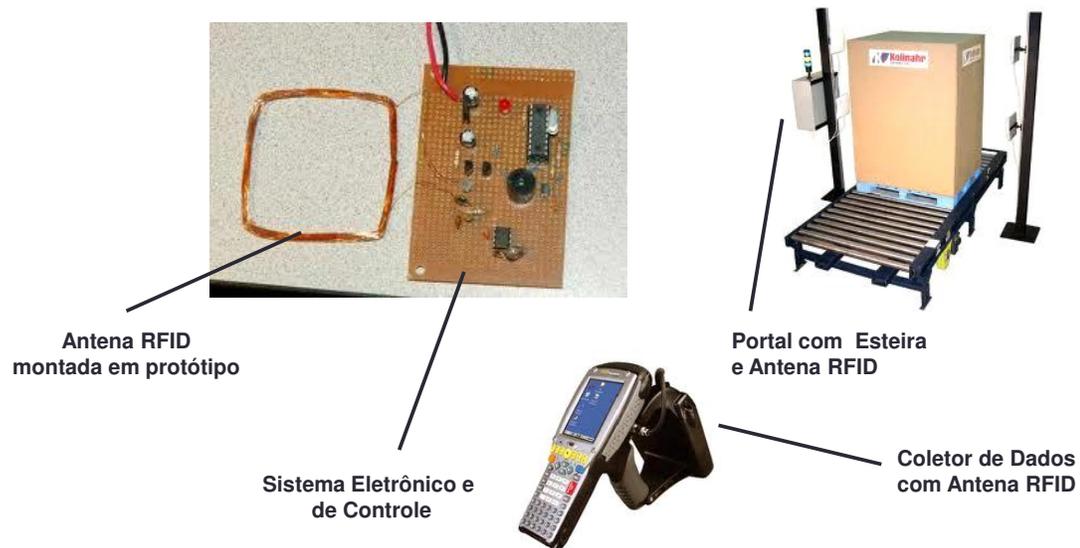


Figura 3.4 – Antenas RFID em diversos produtos e formatos

De acordo com as Leis de Faraday, quando uma antena é banhada por um campo eletromagnético que varia em função do tempo, uma variação de potencial elétrico é induzida em seus terminais, fazendo com que a antena haja como receptora.

Diversas características são importantes no momento da seleção e do projeto de uma antena para um sistema RFID. Sushim e Nemaï (2010) destacam as seguintes características:

- **Frequência de Ressonância:** São as frequências em que a antena recebe e/ou transmite energia de forma mais eficiente em relação ao sistema;
- **Largura de Banda (*Bandwidth*):** Faixa de frequências em torno da frequência de ressonância, nas quais a eficiência da antena é próxima de 90% (-10dB). Esta definição pode variar de acordo com requisitos de projeto;
- **Impedância:** A impedância da antena é a combinação de suas resistências Radiativa, Resistiva e Reativa. A impedância radiativa é responsável por absorver e/ou transmitir energia eletromagnética, e é diretamente proporcional ao tamanho da antena. A resistência resistiva é composta por parte indutiva e capacitiva, absorvendo energia e a dissipando em forma de calor, sendo indesejada no sistema. Quando a antena recebe ou transmite energia com onda portadora na frequência de ressonância, a capacitância e a indutância praticamente cancelam uma a outra, e assim a eficiência da antena é máxima nesta frequência;
- **Parâmetro de Espalhamento (*Scattering Parameter*):** É uma estimativa sobre a eficiência da antena quanto à sua transmissão e recebimento de energia. A indústria normatiza a taxa de reflexão em relação à onda incidente, chamado de *Reflective Loss* (RL), que deve ser no máximo 10dB, ou seja, 90% da onda incidente é absorvida e apenas 10% é refletida;
- **Ganho:** É a taxa que relaciona a potência transmitida por uma antena em uma dada direção, com a potência transmitida por uma antena isotrópica (antena idealizada que tem como característica a emissão omnidirecional esférica com intensidade equivalente em todas as direções). Veja que uma antena real pode ter altos ganhos em uma dada direção, porém deve ter baixos ganhos em outras, garantindo assim o respeito à Lei da Conservação da Energia. Um alto ganho reduz a necessidade de suprimento de energia, o

que está relacionado com a durabilidade da vida dos equipamentos, além de o alto ganho também proporcionar melhor qualidade do sinal e assim um sistema mais preciso;

- **Padrão de Radiação:** É a representação gráfica, no formato tridimensional, do padrão de distribuição de energia radiada por uma antena. Nenhuma antena real tem emissão perfeitamente esférica e omnidirecional. De maneira geral há transmissão com maior potência em certas direções e, em compensação, menor potência em outra. O Padrão de radiação é dividido em um lóbulo principal (máxima intensidade) e lóbulos secundários;
- **Diretividade, Largura do Feixe (*Beamwidth*):** A largura do feixe é tomada plotando-se o padrão de radiação do lóbulo principal e encontrando-se o ângulo onde o nível de energia cai para a metade da energia máxima (-3dB de Largura de Feixe). Isto também determina a diretividade da antena. Em sistemas RFID, as antenas leitoras devem ser projetadas para se obter o máximo ganho e diretividade, enquanto os tags devem ser projetados para se obter o máximo de omnidirecionalidade possível em seu padrão de radiação. A alta diretividade de antenas pode, por outro lado, provocar uma grande quantidade de lóbulos secundários e, conseqüentemente, causar problemas de interferência quando do uso de sistemas em proximidade;
- **Polarização:** Uma onda eletromagnética emitida por uma antena tem associada, sempre, um campo magnético e um campo elétrico perpendiculares entre si. Suas amplitudes aumentam e diminuem em magnitude, senoidalmente, conforme a onda eletromagnética é emitida. A polarização da antena é definida como circular ou linear, de acordo com a orientação do campo elétrico a ela associado.

Quando a antena tem polarização linear, seu campo elétrico emitido deve ser necessariamente horizontal ou vertical em relação ao solo. Quando a antena tem polarização circular, o campo elétrico emitido varia circularmente com o tempo, na direção do campo eletromagnético.

A diferença entre os tipos de polarização recaem diretamente sobre a aplicação a ser realizada. Em antenas com polarização linear, por exemplo, o feixe tem largura estreita, alta diretividade e penetração, sendo apropriado para aplicações onde antenas com polarização circular não seriam adequadas, uma vez que têm o feixe largo e com baixa penetração. Por outro lado, a polarização circular seria bastante apropriada para realizar a leitura de tags cujo posicionamento e direção não estão bem definidos, mas que requerem menos penetração.

### **3.4 Considerações sobre Interferências Eletromagnéticas**

Quando duas ou mais ondas eletromagnéticas com características diferentes se combinam para formar uma onda completamente nova/diferente, diz-se que ocorreu o fenômeno de interferência (Sushim e Nemaï, 2010).

Questões relativas a interferências são muito importantes e devem ser levadas em consideração quando se faz o entendimento do ambiente de aplicação ao qual o sistema RFID será inserido.

Sushim e Nemaï (2010) enumeram uma lista de termos que permitem classificar e enumerar diversos fenômenos de interferência eletromagnética. Se tais fenômenos puderem ser antecipados durante o desenvolvimento do sistema RFID, as chances de sucesso da aplicação são aumentadas.

Segundo Sushim e Nemaï (2008), os principais fenômenos de interferência são:

- **Múltiplos Caminhos (Multipath):** Ocorre quando uma onda em propagação toma diferentes trajetórias e, após a ocorrência de fenômenos como interferência, reflexão e outros, suas diversas partes se encontram novamente com fases diferentes, criando áreas no espaço onde a onda resultante é fraca ou forte quando comparada à onda incidente original.

- Reflexão: Ocorre quando a área dos objetos na trajetória da onda é grande em comparação ao comprimento da onda, fazendo com que a onda reflita (como a luz no espelho). Metais agem como bons refletores enquanto não metais (materiais dielétricos) permitem a passagem da onda após alguma perda de energia.
- Espalhamento (Scattering): Ocorre quando as áreas dos objetos na trajetória da onda são pequenas quando comparadas ao comprimento da onda, e o número de objetos é bastante grande, fazendo com que a onda seja refletida em diversas direções, espalhando-se.
- Difração: Ocorre quando uma onda de radiofrequência encontra em sua trajetória um objeto delgado, acertando-o e tendendo a sofrer um desvio direcional.
- Refração: Quando uma onda eletromagnética troca de um meio de propagação para outro cuja densidade dielétrica é diferente, modificando sua velocidade e direção.
- Enfraquecimento (Fading): Ocorre quando a força do sinal de radiofrequência varia com o tempo. Este fenômeno é completamente aleatório por natureza e depende de todos os fenômenos acima mencionados e, portanto, é muito difícil de ser previsto. O fenômeno Fading não é levado em conta quando se projeta um sistema RFID.

A Figura 3.5 apresenta ilustração das principais interferências relacionadas à aplicações de identificação por radio-frequência. Nela, “M1” está designando um material com propriedades refletivas para ondas eletromagnéticas, e “M2” uma material cujas características principais são de absorção. Ressalta-se que o tipo de interferência é função, dentre outras coisas, da frequência da onda portadora e das propriedades do material.

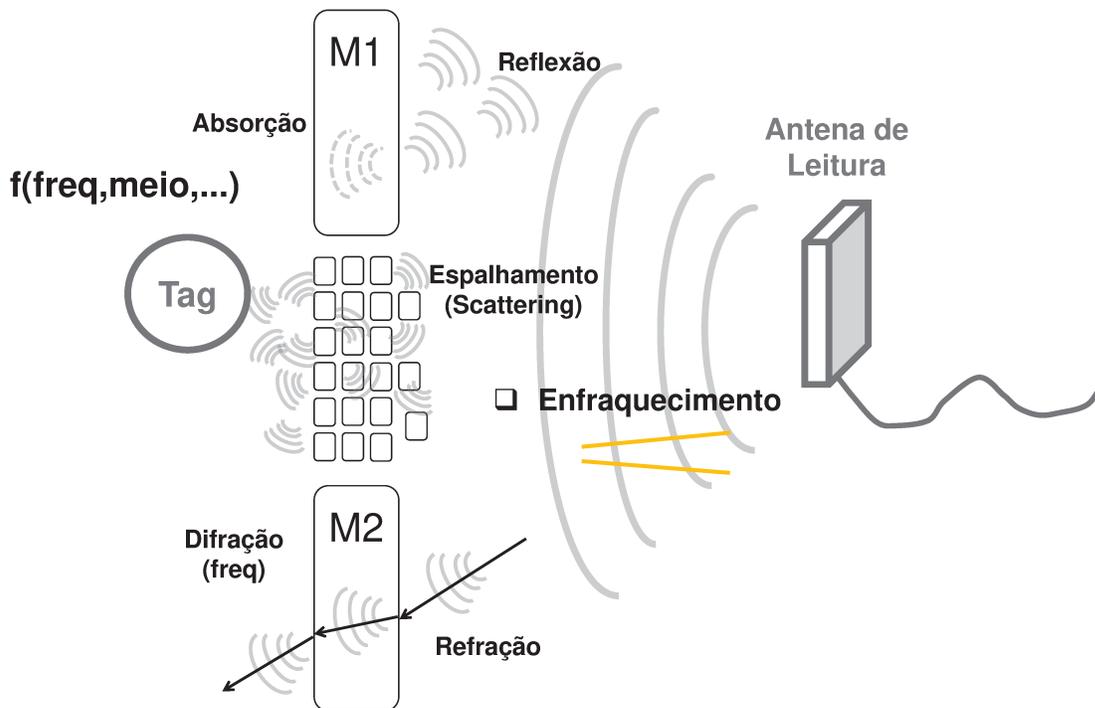


Figura 3.5 - Principais interferências relacionadas à aplicações de identificação por radio-frequência.

### 3.5 Considerações sobre Medições de Desempenho em sistemas RFID

Segundo Sushim e Nemaï, 2010, as seguintes ferramentas matemáticas podem ser utilizadas para medir o desempenho tecnológico/energético de sistemas RFID:

- Potencia Efetivamente Radiada (Effective Radiated Power – ERP) e Potência Isotrópica Efetivamente Radiada (Effective Isotropic Radiated Power - EIRP): A potência transmitida por uma antena, tomada em termos de potencia efetivamente radiada. ERP é o produto da potência transmitida para a antena, via cabo, e seu ganho em relação a uma antena dipolo. EIRP é o produto da potência entregue à antena e seu ganho em relação a um radiador eletromagnético isotrópico. Ambos se referem apenas às antenas das leitoras.

A importância do ERP e do EIRP está no fato de que as normas e regulamentações relativas a antenas tratam estritamente de um destes dois termos;

- Perdas e Ganhos de Potência (Link Budget) e Distância de Leitura: “Link Budget” em comunicação sem fio refere-se ao cálculo das perdas e ganhos de potência para o transmissor e para o receptor, ao ganho da antena e à potência efetiva isotrópica de radiação (EIRP). Estes valores são utilizados para calcular o ganho necessário da antena, em condições específicas, para que o sistema seja robusto e viável para comunicação sem fio. A comunicação da leitora para o tag é chamada de “downlink” e a comunicação do tag para a leitora é chamada de “uplink”. O cálculo é ainda utilizado para especificar a distância de leitura de sistemas RFID, levando em consideração a sensibilidade dos componentes, ruídos, perdas por cabeamento, perdas por espaços livre, e diversos outros parâmetros presentes comumente em aplicações de RFID.

Tais ferramentas podem ser aplicadas quando da produção de protótipos, testes em campo e em laboratório.

### **3.6 Considerações Finais do Capítulo**

Neste capítulo foram apresentadas diversas características de tecnologias RFID e suas influências no desempenho de aplicações, através da análise de diversos métodos e textos explicativos, consolidando diferentes observações a serem feitas durante a seleção e aplicação de sistemas baseados em tecnologia RFID.

Alguns métodos apresentaram pontos de vista claramente tomados a partir do negócio, tratando com menor abrangência a parte técnica da seleção e aplicação da tecnologia. Outros apresentaram pontos de vista com viés técnico, deixando de lado questões relativas ao negócio. Ainda, há os que mesclam os assuntos, abrangendo a tecnologia e o negócio, assim como há métodos que sugerem formas específicas para o processo de gestão da aplicação da tecnologia, e

outros para a gestão do desenvolvimento e implantação de sistemas. A um todo, em nenhum caso estudado todas as questões foram tratadas de uma só vez.

Além disso, as considerações sobre a seleção de tags e antenas RFID demonstrou que o desempenho final de sistemas RFID pode estar fortemente ligado à seleção adequada destas duas características da tecnologia RFID. As considerações sobre interferências eletromagnéticas e medidas de desempenho aumentam o entendimento sobre a tecnologia.

Os conhecimentos resultantes deste capítulo formam a base para o próximo, onde será proposta uma metodologia para orientação na seleção e aplicação da tecnologia RFID.

## 4 PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ORIENTAÇÃO NA SELEÇÃO E APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA RFID

Este capítulo apresenta uma proposta de metodologia para seleção e aplicação de tecnologia RFID, sendo baseado em conceitos encontrados na bibliografia e em processos decisórios intrinsecamente ligados à tecnologia RFID apresentados nos capítulos anteriores desta dissertação.

A proposta não tem a intenção de determinar todas as possíveis variáveis de projeto, e nem de ser a única fonte de informação para decisões. A metodologia proposta pretende, principalmente, servir como guia durante a realização de projetos de sistemas baseados em tecnologia RFID, pois abrange as principais questões tipicamente abordadas pela literatura tanto para seleção quanto das melhores tecnologias quanto para a aplicação em campo. A proposta é unir as diferentes visões apresentadas pelas diversas fontes, compilando-as em um único método orientativo, complementando os pontos fracos de uma abordagem com pontos fortes encontrados em outra abordagem.

Assim, a metodologia procura abordar, em suas três fases, cada uma das características ou processos de seleção apresentados pela bibliografia.

A Figura 4.1 apresenta um esquemático geral do método proposto.

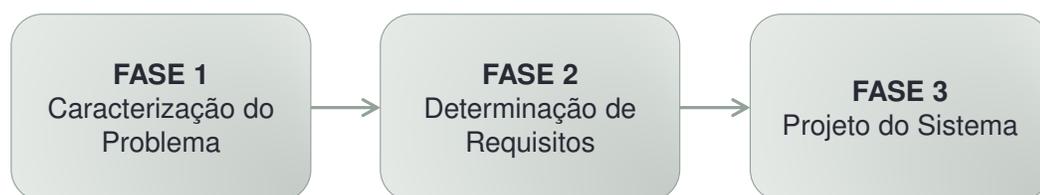


Figura 4.1 - Esquema de metodologia proposta para seleção e aplicação de RFID

A Tabela 4.1 apresenta em qual fase ou subfase do método é tratada cada questão apontada durante a pesquisa bibliográfica.



soluções de negócio para soluções puramente tecnológicas deve ocorrer na fase 3 da metodologia.

A Figura 4.2 apresenta um esquemático com as atividades propostas para a realização da Fase I. O próximo capítulo desta dissertação exemplifica a utilização da metodologia na prática, através de um estudo de caso no aumento da automação de um sistema de gestão através do uso de RFID.

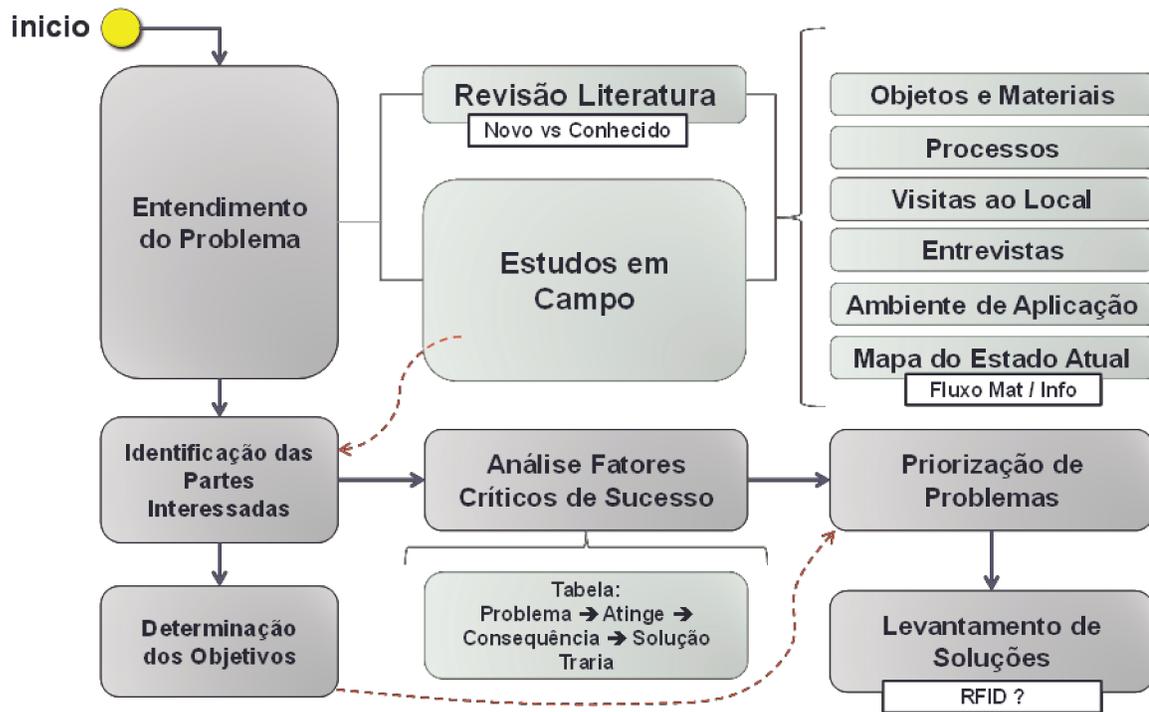


Figura 4.2 – Diagrama da Fase I da metodologia proposta - Caracterização do Problema

- Entendimento do problema como um todo, com objetivo de gerar uma proposta generalista de sistema. Esta atividade pode incluir pesquisas bibliográficas e estudos em campo, com entrevistas a partes interessadas e possíveis usuários finais do sistema. Tanto os materiais que serão identificados eletronicamente quanto os processos aos quais esses são submetidos devem ser estudados e possivelmente mapeados. O ambiente físico da aplicação deve ser também entendido. No estudo de caso apresentado no próximo capítulo, onde se estuda a aplicação de RFID à gestão de Pneus, foram realizados estudos de mercado, bibliográficos e em campo, além da determinação dos principais processos

ligados à gestão de pneus em empresas transportadoras através de um mapa da cadeia de valores (*Value Stream Map*).

- Identificação das partes interessadas e seus principais problemas e necessidades, assim como os potenciais impactos que o novo sistema trará quando da utilização pelo usuário final. É interessante que se faça análise das Funções Críticas de Sucesso para o projeto. No estudo de caso a ser apresentado, foram utilizados diagramas e processos para determinação de partes interessadas tipicamente utilizados em processos de engenharia de software, como o diagrama de círculos, tabela de problema-impacto-solução e tabela de problemas chave das partes interessadas.
- Determinação dos Objetivos do Projeto, evidenciando onde se deseja chegar e qual retorno se quer obter com a implementação de um sistema baseado em RFID.
- Priorização de Problemas (Análise de Funções Críticas de Sucesso) e levantamento de soluções, onde se evidencia os principais problemas das partes interessadas e suas soluções e, em seguida, classifica cada problema como diretamente relacionados à solução tecnológica de RFID ou não diretamente relacionados à solução de RFID.

## **4.2 Fase II: Determinação de Requisitos de Projeto**

De acordo com o corpo de conhecimento do guia de engenharia de software, o SWEBOK (2004), a área de conhecimento relativa à determinação de requisitos é dividida em elicitação, análise, especificação e validação de requisitos, no caso específico do SWEBOK, tais definições são sempre relativas ao desenvolvimento de softwares.

Para a metodologia proposta, o foco é a seleção e aplicação de RFID, o que envolve a determinação de características que levarão à definição das melhores tecnologias de sistemas RFID para uma determinada aplicação.

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, diversas características tecnológicas devem ser levadas em consideração na determinação das características para sistemas RFID. Dentre outras características, abaixo seguem as principais:

- A necessidade de ler um ou mais de um tag de uma só vez (anti-colisão);
- Características relativas à fonte de energia (tag Ativo x tag Passivo);
- O tipo de ambiente e objeto onde o sistema será aplicado – presença de massas metálicas, meios aquosos, madeira, corpo humano ou de outros animais;
- As distâncias de leitura necessárias – entendimento determinante para correta seleção de características das antenas, banda de frequência, necessidade de anti colisão, outros;
- O tamanho, peso e resistência (térmica, mecânica, etc) para o tag;
- A precisão do conhecimento, prévio ou não, da localização do tag - entendimento determinante para correta seleção de características das antenas, banda de frequência;
- Necessidades relativas à quantidade de dados a serem armazenados – entendimentos que permitem fazer a correta seleção do tag (frequência, chip, normas, outros);
- Questões de segurança – estão relacionadas à maioria dos componentes do sistema, sejam eles hardwares ou softwares. São determinantes para seleção das corretas características dos tags, antenas e sistemas de T.I. que suportam os dados sob gerenciamento.

A definição precisa destas características permite uma melhor especificação para o sistema RFID em desenvolvimento ou em fase de aplicação.

A Figura 4.3 apresenta esquemático com as questões a serem respondidas durante a fase 2 da metodologia proposta.

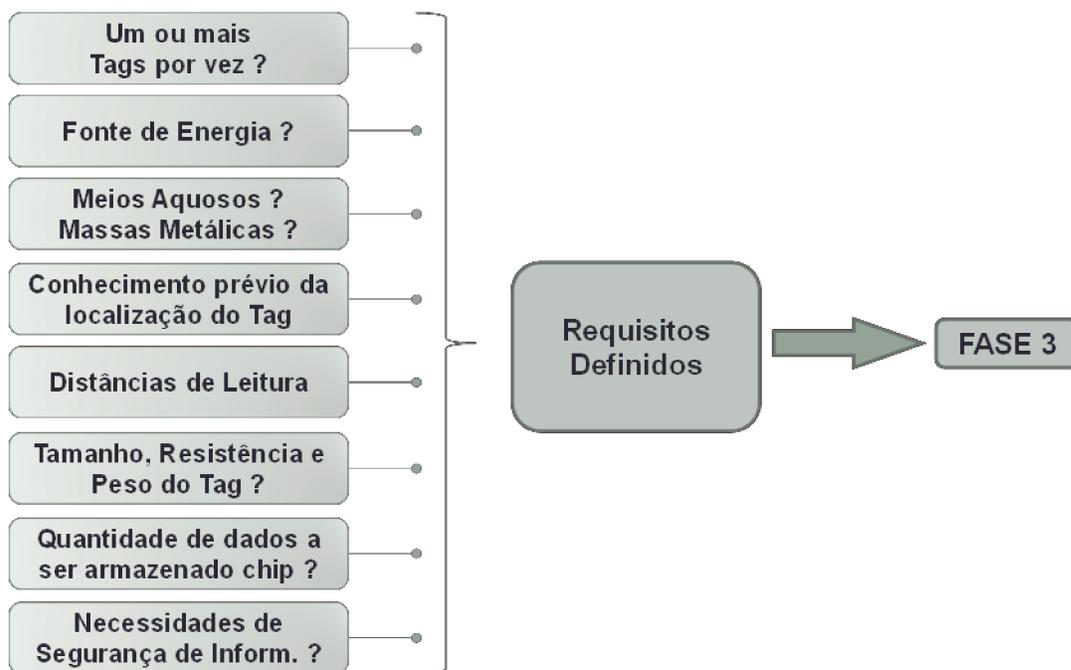


Figura 4.3 - Diagrama de questionamentos para Fase II da metodologia proposta

Além das características tecnológicas apresentadas, outras características também foram levantadas (Capítulo II e III) e devem ser observadas. Dentre elas:

- Preço/Custo, que segundo Guedes et al. (2009), é um dos principais desafios para implementação de sistemas RFID;
- Maturidade tecnológica, colocada diversas vezes por JAMALI, B (2010) em suas descrições para frequências de operação;
- Logística e facilidade de obtenção, questão colocada por diversos autores.

Tais características muitas vezes estão inter-relacionadas e são determinantes para o sucesso do projeto. Segundo Gomes (2011), o custo de um elemento base silício comum (i.e. chip RFID) é principalmente função da disponibilidade de mercado e da abundância de fabricação do mesmo. Da prática, sabe-se que para uma segunda vertente comparativa de custo de fabricação de um chip, há que se considerar a área de silício ocupada por cada unidade. A escolha do melhor chip deve considerar o compromisso de uma família de grande abundância de fabricação no

mercado mundial com a menor área de silício possível em sua composição. Além disso, outros fatores podem influenciar no preço de chips:

- Processo de encapsulamento do chip;
- Processo de montagem do chip sobre a antena;
- Visão do governo local sobre taxaço para processos de importação;
- Maturidade de desenvolvimento da família do chip;
- Tempo disponível do chip no mercado;
- Cadeia logística local;
- Suporte de aplicativos local;
- Funcionalidades do chip;
- Capacidade de memória do chip;
- Custos indiretos para sistemas periféricos;

### **4.3 Fase III: Projeto do Sistema**

O projeto do sistema é a fase onde os requisitos de projeto se transformam em características do sistema RFID.

Assim, nesta fase características como distância de leitura, conhecimento da localização do tag, necessidade de leitura de mais de um tag, tamanho e peso se transformam em definições relacionadas diretamente às características tecnológicas do sistema RFID a ser projetado.

A Figura 4.4 apresenta um esquemático com as atividades propostas para a fase 3 do método:

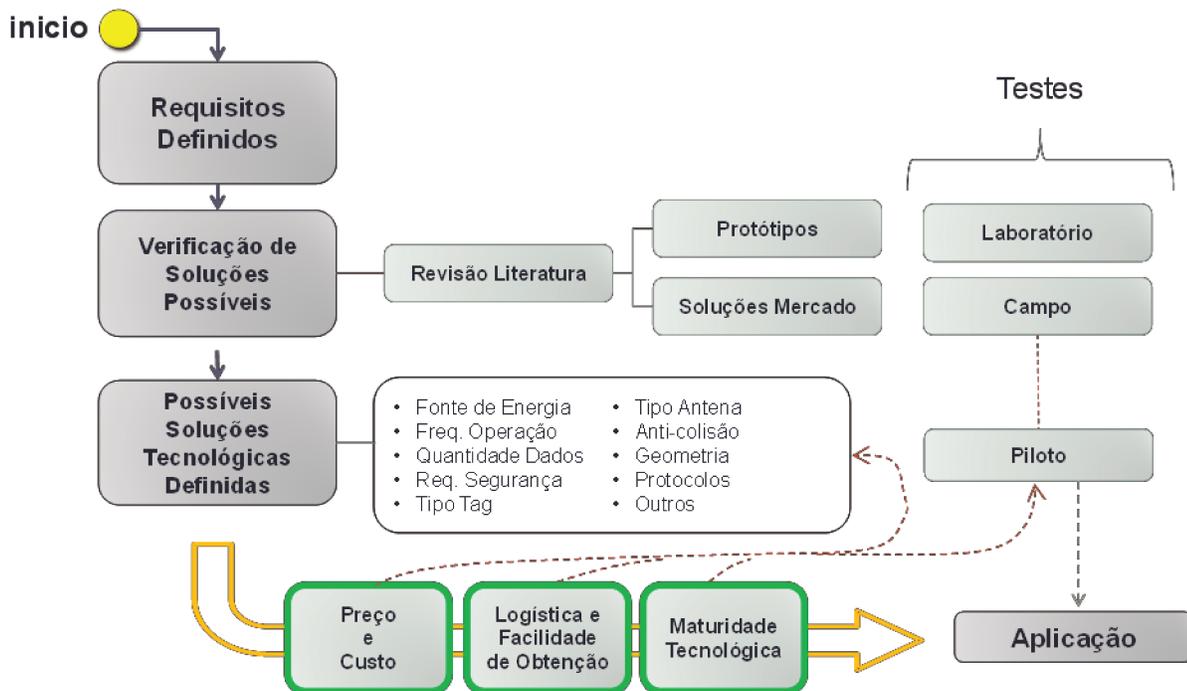


Figura 4.4 - Diagrama representativo da Fase III do método proposto

Características como resistência mecânica e térmica se transformam em características de carcaça de proteção e tipos de fio.

Pela enorme quantidade de possíveis aplicações, assim como pela variedade de informações bibliográficas nem sempre convergentes, é possível que durante a fase de projeto seja necessário a realização de testes específicos para um determinado sistema. Nestes casos pode haver apoio bibliográfico para a seleção de uma gama limitada de prováveis soluções tecnológicas, seguida de testes em laboratório e em campo.

#### 4.4 Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo apresentou uma proposta de metodologia para seleção e aplicação de tecnologia RFID, sendo baseado em conceitos encontrados na bibliografia e em processos decisórios intrinsecamente ligados à tecnologia RFID.

Uma visão generalista da metodologia pode ser encontrada observando-se as figuras 4.2, 4.3 e 4.4, as quais podem ser utilizadas como guia durante a seleção e aplicação de sistemas RFID.



## 5 ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

O estudo de caso apresentado neste capítulo consiste da utilização da metodologia proposta no capítulo anterior, para a determinação das tecnologias de RFID a serem utilizadas para automatizar processos de identificação de pneus, considerando a aquisição de dados que possibilitem sua utilização em um sistema de gestão desses ativos.

A identificação de pneus através de tecnologia RFID foi o tema escolhido por apresentar diversos desafios que permitiriam testar a metodologia de uma maneira consistente. Dentre eles:

- O pneu, em seu uso normal, é submetido a altos esforços mecânicos e de fadiga (GOMES, 2010).
- O ambiente de aplicação do pneu é bastante variado e apresenta diversos fatores que podem dificultar a seleção da tecnologia adequada (GOMES, 2010);
- A gestão de pneus é feita de forma rudimentar no Brasil (p.e. com papel e lápis), enquanto outras áreas de empresas de transporte (gestão financeira, de recursos humanos, etc) são geralmente bastante informatizadas, fazendo com que haja uma grande possibilidade de melhoria, cujos benefícios podem ser tanto financeiros quanto ambientais (FROTAS S&A, 2008; TRUCK & VAN, 2007; GOMES, 2010).

Além dos pontos apresentados acima, as seções seguintes mostrarão que o desafio de aplicar RFID para identificar pneus se estende para diversas outras áreas.

Em uma visão generalista, o sistema RFID para a identificação de pneus possui funcionalidades bastante simplificadas: tags RFID são instalados nos pneus de composições veiculares de carga e utilizados para agilizar e facilitar sua identificação. Tal identificação eletrônica é então utilizada para realizar a melhoria da gestão e do controle desses ativos, podendo se tornar parte intrínseca dos processos de manutenção veicular e controle de estoques.

Durante todo este capítulo, o foco será na determinação de componentes tecnológicos de identificação por radiofrequência que satisfaçam as necessidades do sistema como um todo, ou seja, componentes integrados que sejam capazes de prover dados para que outras partes do

sistema (p.e. sistemas bancos de dados, softwares computacionais, sistemas de B.I., etc) possam funcionar e realizar suas atividades de maneira adequada. Assim, ressalta-se que sistemas baseados em identificação por radiofrequência possuem diversos componentes de hardware e software, e nem todos não são escopo deste estudo.

Ainda, além de aplicar a metodologia proposta, espera-se prover um entendimento sobre os motivadores relativos à cada escolha realizada para o sistema RFID em estudo.

## **5.1 Aplicação da Metodologia Proposta**

As seções a seguir apresentam a aplicação de cada fase da metodologia proposta.

### **5.1.1 Aplicação Fase I da Metodologia: Caracterização do Problema**

A fase de caracterização do problema deve:

- Identificar o problema e levantar soluções;
- Definir o escopo de projeto;
- Entender o ambiente e os processos relacionados à aplicação.

Para isso, as seguintes atividades foram realizadas:

- Revisão bibliográfica e estudos em campo sobre o tema gestão de pneus, com foco no estado atual destas atividades no Brasil;
- Análise de processos de gestão de pneus (mapeamento de processos) e as respectivas partes interessadas (diagramas de partes interessadas), com levantamento de principais

problemas (tabelas de relacionamento entre problema, parte atingida, impacto e benefícios da solução);

- Priorização de problemas e enumeração de possíveis soluções sob o ponto de vista do negócio (determinação dos fatores críticos de sucesso);
- Observação e caracterização do local de aplicação e operação do sistema.

Foram feitas visitas a transportadoras e observação de processos de gestão de pneus ocorrendo em campo, além de reuniões com a equipe gestora, de manutenção e de borracharia. O ambiente, os materiais e processos envolvidos na gestão do pneu foram mapeados, e os principais problemas da gestão de pneus foram levantados e analisados.

Tais processos foram realizados em três empresas transportadoras, as quais denominaremos de transportadoras A, B e C. A Tabela 5.1 apresenta o ramo de atividades dessas transportadoras e também a quantidade aproximada de veículos.

Tabela 5.1 - Ramo de Atividades e número de veículos de empresas visitadas

<b>Empresa</b>	<b>Ramo de Atividades</b>	<b>nº Veículos</b>
<b>Transportadora A</b>	Transporte de Derivados de Petróleo	+ de 100
<b>Transportadora B</b>	Transporte Agronegócio (Açúcar e Alcool)	+ de 200
<b>Transportadora C</b>	Transporte Público	+ de 100

A Tabela 5.2 apresenta as atividades realizadas em cada uma dessas transportadoras:

Tabela 5.2 - Atividades realizadas por empresa visitada

<b>Atividade</b>	<b>Transportadora A</b>	<b>Transportadora B</b>	<b>Transportadora C</b>
Mapeamento: Processos de Gestão de Pneus	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Mapeamento: Processos de Manutenção	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Levantamento das Partes Interessadas	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Entrevista com Gestores Administrativos	<b>x</b>		<b>x</b>
Entrevistas com Borracheiros/Mecânicos	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Entrevista com Gerente de Manutenção	<b>x</b>	<b>x</b>	
Entrevista com Responsável pelos Pneus	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>

A seguir são apresentados os resultados destes estudos.

#### **5.1.1.1 Revisão Bibliográfica e Estudos em Campo: Gestão e Vida de Pneus Comerciais no Brasil**

Segundo Gomes (2008), tanto empresas transportadoras quanto fabricantes de pneus estão cientes do imenso potencial econômico presente na boa gestão de pneus. Estudos indicam que a adoção de boas práticas de administração pode proporcionar um ganho de vida útil da ordem de 10 a 20% para os pneus e de até 3% no consumo de Diesel. Motivadas por esta possibilidade, empresas estão buscando soluções que permitam realizar esta gestão de forma adequada, transformando este potencial em uma redução efetiva custos e de emissão de poluentes.

Frotas S&A (2008) apud Gomes (2008) publicou o seguinte trecho em reportagem:

*“Na Transportadora Americana, a atuação dos motoristas também não é fiscalizada por computador de bordo. E lá as mudanças não foram somente com a direção econômica. Cláudio Seregatti, engenheiro de manutenção da empresa, relata que a terceirização da gestão dos pneus há dois anos, aumentou em média 3,5% o rendimento da frota por litro de Diesel. Ao sair da administração interna, o rigor ficou maior na inspeção regular, calibragem e manutenção preventiva dos pneus, o que tem resultado não somente na economia de combustível como também aumentado o número de recapagem de pneus.”*

Já Truck & Van (2007) apud Gomes (2008), demonstra a tentativa de um grande fabricante de pneus em colocar no mercado uma forma de administração de “desgaste irregular de pneus”:

*“Pirelli lança FR85 Vanguard. Cerca de 3,5 milhões de US\$. Este foi o montante que a Pirelli investiu no desenvolvimento do novo pneu FR85 Vanguard. O modelo possui alta tecnologia e Banda de Rodagem Inteligente – sistema que permite ao usuário preservar a carcaça no início de sua utilização e no final da primeira vida. O sistema foi criado exclusivamente para a linha FR85 Vanguard. Trata-se de um tipo de controle de desgaste do pneu por parte do usuário. O acompanhamento será possível graças a dois sulcos de 1,5 mm de profundidade que acompanham toda circunferência do pneu e estão localizados nas extremidades da banda de rodagem, um de cada lado. ‘O cliente consegue detectar visualmente, logo no início da utilização, se o pneu está gastando mais de um lado do que de outro. Com isso ele tem oportunidade de atuar na sua correção, eliminando a propagação do desgaste irregular’, revela Fernando Ruoppolo, diretor da Unidade de Negócios Truck da Pirelli Pneus. De acordo com Ruoppolo, se o desgaste irregular for detectado prematuramente e corrigido em tempo, o consumidor pode prolongar a vida do pneu em até 20%.”*

A questão ambiental também entra em pauta quando se trata de boa gestão de pneus em transportadoras. Segundo Frotas S&A (2008) apud Gomes (2008):

*“Para neutralizar o impacto da emissão de gases no meio ambiente, algumas transportadoras apostam no plantio de árvores. É a melhor alternativa? Apesar da boa repercussão, a prática de neutralizar o carbono emitido plantando árvores, tem seus detratores. Para alguns especialistas, melhor que neutralizar as emissões é trabalhar para sua redução. ‘A*

*prioridade ética é redução das emissões’, diz Giovanni Baronti, sócio da Fabrica Ethica Brasil, uma consultoria em sustentabilidade. ‘Precisamos repensar o consumo para reduzir o impacto’.*”

O projeto de um sistema automatizado para gestão de pneus objetiva auxiliar empresas a melhorarem efetivamente os processos que envolvem a gestão destes ativos, diminuindo os desperdícios através da implementação e verificação de que as atividades principais da boa gestão possam ser realizadas. Tais atividades são (PIRELLI, 2010; WANG et al., 2007, KOVAVISARUCH et el, 2008):

- Monitoramento de pressão;
- Monitoramento de sulcos;
- Qualificação da mão de obra;
- Atenção desde o início (montagem e desmontagem de pneus);
- Prevenir a deterioração;
- Utilizar soluções simples.

Segundo Gomes (2010), no Brasil a realização destas atividades é feita de forma rudimentar: Os dados sobre os ativos pneus são coletados manualmente e não de forma não confiável, a identificação do ativo é feita utilizando-se a técnica de marca-a-fogo e o nível de manutenção preventiva é baixo. Mesmo transportadoras com administração de alto nível são carentes de uma solução de gestão de pneus adequada.

A complexidade das tarefas de manutenção e controle de pneus se deve, entre outras coisas, ao fato de que a vida de um pneu varia de acordo com seu uso. O ciclo básico de vida média de pneus que tenham seu uso controlado de forma a obterem alto rendimento é apresentado no diagrama da Figura 5.1, elaborado por Gomes (2010), através de pesquisa com fabricantes de pneus, empresas de transporte do ramo urbano e rodoviário, e empresas do agronegócio.

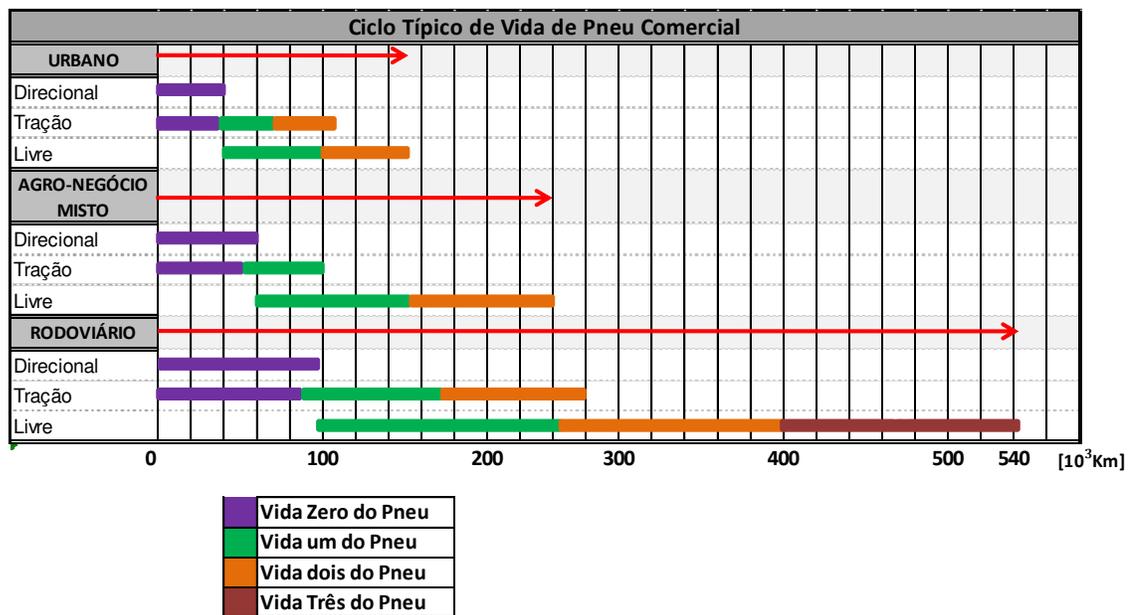


Figura 5.1 – Diagrama do Ciclo Típico Vida do Pneu Comercial no Brasil

No diagrama da Figura 5.1, a vida zero indica que o pneu é novo, enquanto a vida um do pneu indica que ele já sofreu uma reforma, e assim por diante. Em relação ao eixo, o diagrama é dividido de acordo com as posições em que o pneu é montado (eixo direcional, eixo de tração e eixo livre).

De acordo com as práticas brasileiras, o ciclo de vida típico pode ainda ser dividido em função do tipo de terreno predominante no trecho onde ocorre seu uso (urbano, agronegócio/misto e rodoviário), conforme é apresentado a seguir (GOMES, 2010):

**Conjunto de veículos responsável pela logística urbana:** Uso típico em trajetos de curta distância, composição dos conjuntos até 15 toneladas, um ou dois eixos direcionais, um eixo de tração e máximo de um eixo livre eixos montados com rodas simples ou duplas.

**Conjunto de veículos responsável pelo escoamento da produção do agronegócio:** Uso típico para escoamento da produção agrícola entre a área plantada e a indústria de transformação. As composições são montadas tipicamente para 60 a 90 toneladas. São conjuntos compostos com

multe eixo de tração e multe eixo livre, costumeiramente com rodas duplas nos eixos. Seu trajeto é tipicamente misto, com parte em terra e parte em asfalto.

**Conjunto de veículos responsável pelo transporte rodoviário:** Uso típico em transporte de cargas intermunicipal e interestadual, as composições atinge até 72 toneladas. São conjuntos compostos com multe eixo de tração e multe eixo livre, costumeiramente com rodas duplas nos eixos. Rotas típicas ligando centros de distribuição logísticos com distancias que variam de 200 a 3.000 km entre os pontos de embarque e desembarque.

Para o processo de entendimento do problema da gestão de pneus, é necessário também entender os processos de reconstrução de pneus, uma vez que fazem parte da sua vida útil e são determinantes para a correta definição das características tecnológicas para o sistema RFID. Em tais processos, a característica que se mostrou mais relevante é a passagem do pneu por autoclave, pois nela o pneu é submetido a altas pressões e a temperaturas que ultrapassam os 140 C°. Assim, ou o tag que será responsável pela identificação do pneu será resistente a estas condições ou, ainda, não poderá estar instalado no pneu no momento da reconstrução/recapagem.

Segundo Gomes (2008), além dos fatores intrínsecos aos programas de manutenção periódica dos veículos, outros componentes relevantes para o consumo de pneus são costumeiramente atribuídos a:

- Volume excessivo de carga transportada;
- Distribuição da carga sobre os eixos;
- Rota indefinida entre os pontos de embarque e desembarque;
- Qualidade do calçamento da rota;
- Temperatura ambiente durante o trajeto;
- Temperatura do calçamento;
- Variação do plano – altimétrica da rota;
- Densidade de trânsito na rota escolhida;
- Forma de dirigir o veículo;
- Eletrônica embarcada no veículo;

Assim, a vida útil do pneu comercial depende de uma série de fatores, dos quais apenas parte é passível de submissão a controles sistêmicos através de sistemas RFID. A análise de processos e partes interessadas, a ser apresentada a seguir, deverá levantar quais são os fatores que podem adequadamente ser submetidos a controle via sistemas RFID.

### **5.1.1.2 Análises de Processos e Partes Interessadas**

Seguindo o método proposto no Capítulo IV, uma vez entendido o escopo geral da gestão de pneus, a análise dos processos e problemas intrínsecos a esta gestão devem ser levantados e entendidos.

Para isso, foram realizadas as seguintes atividades:

- Mapeamento dos processos principais envolvidos na gestão de pneus;
- Análise das partes interessadas;
- Levantamento dos problemas das partes interessadas e soluções.
- Definição dos Objetivos do projeto

O diagrama da Figura 5.2 apresenta o resultado do mapeamento dos processos principais envolvidos na gestão de pneus:

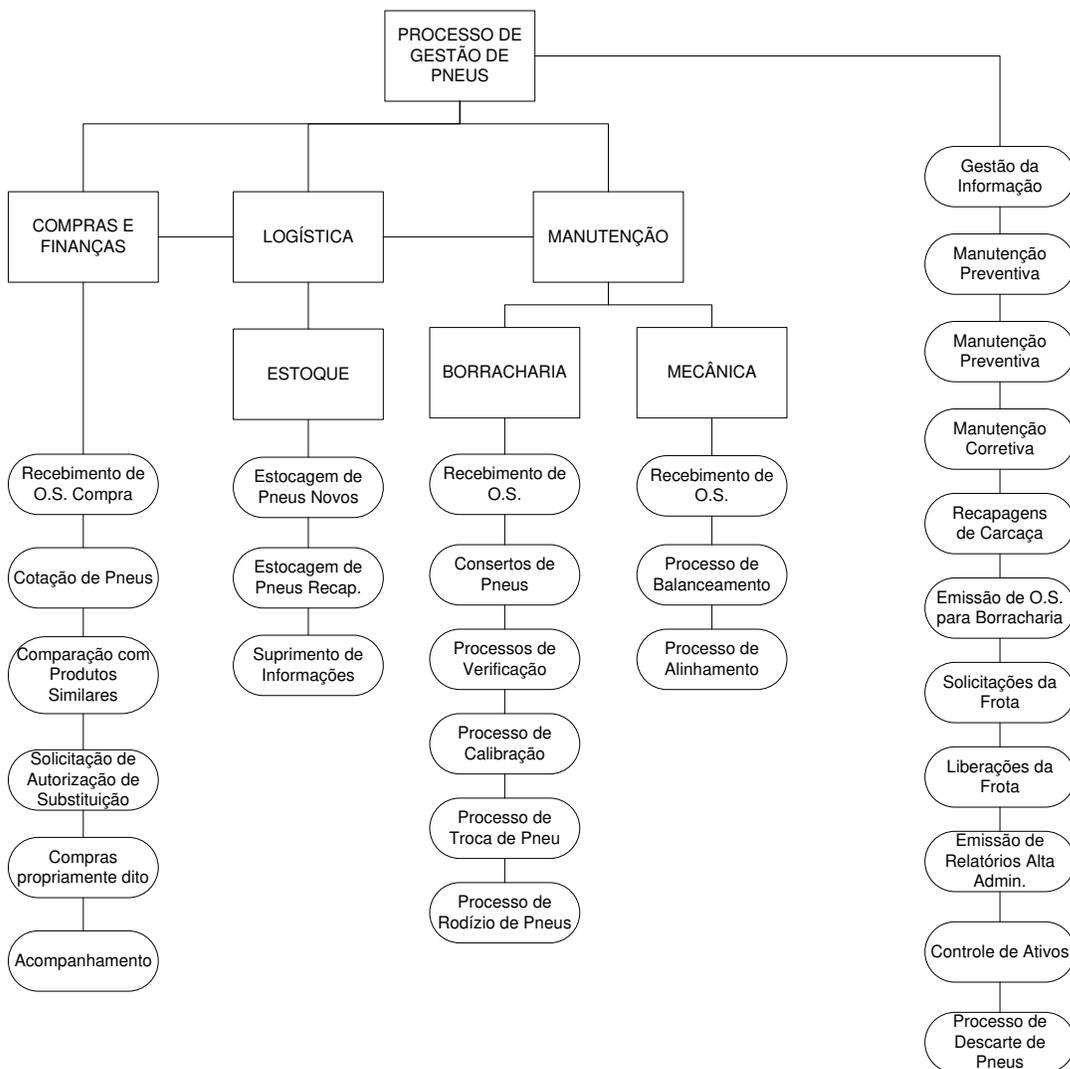


Figura 5.2 - Principais processos ligados à gestão de pneus em empresas transportadoras

Através da análise dos processos, criou-se o diagrama da Figura 5.3, onde podem ser vistas as partes interessadas e suas respectivas classificações.

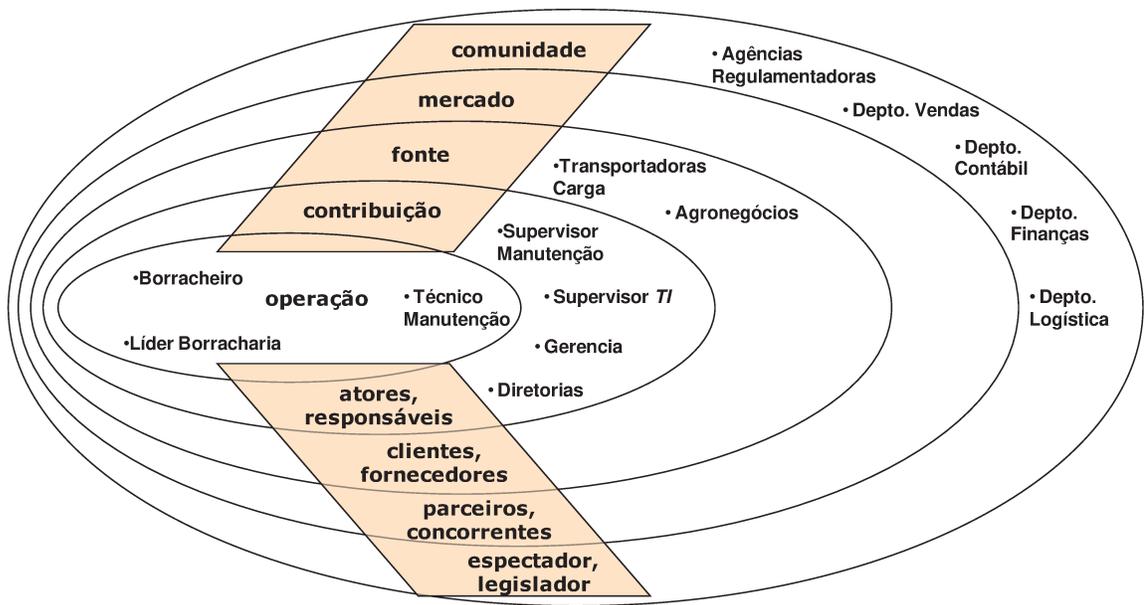


Figura 5.3 – Diagrama de Partes Interessadas (relativo ao processo de gestão de pneus) e suas classificações

A partir do levantamento das partes interessadas, é possível entender e enumerar os principais problemas da gestão de pneus, sob diversos pontos de vista, assim como tecer as primeiras ideias sobre a resolução de problemas. A Tabela 5.3 apresenta esta ligação entre problemas levantados e soluções propostas.

Tabela 5.3(a) – Partes Interessadas, principais problemas e soluções

<p><b>O problema de</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delitos e fraudes de pneus.</li> <li>• Gerenciamento indevido dos ativos.</li> <li>• Falta de identificação confiável de ativos.</li> <li>• Demora na identificação de pneus.</li> <li>• Desorganização no controle de estoques.</li> <li>• Falta de identidade única para cada pneu.</li> <li>• Dificuldade de coleta de dados, tais como: identificação de ativos, pressão de calibragem e profundidade de sulco.</li> <li>• Tempo total do veículo parado muito alto.</li> <li>• Lentidão no processo de trabalho.</li> <li>• Alto número de carcaças deterioradas prematuramente.</li> <li>• Alto número de acidentes relacionados a pneus.</li> <li>• Perda de informações dos ativos.</li> </ul>
<p><b>Atinge as Partes Interessadas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borracheiro.</li> <li>• Líder de Borracharia.</li> <li>• Supervisor de Manutenção.</li> <li>• Supervisor Técnico.</li> <li>• Departamento Operacional.</li> <li>• Departamento Contábil.</li> <li>• Departamento Financeiro.</li> <li>• Departamento de Logística.</li> <li>• Departamento de Compras.</li> <li>• Departamento de Vendas.</li> <li>• Departamento de TI.</li> <li>• Gerência.</li> <li>• Diretoria.</li> </ul>

Tabela 5.3(b) – Partes Interessadas, principais problemas e soluções

<p><b>Com o impacto:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de pneus e aumento dos custos.</li> <li>• Desgaste rápido dos ativos resultando em gastos antecipados e desnecessários.</li> <li>• Demora na localização do ativo.</li> <li>• Atrasos nas entregas de mercadorias.</li> <li>• Aumento do tempo total dos veículos parados.</li> <li>• Congestionamento de veículos parados no pátio.</li> <li>• Diminuição da quantidade de recapagens possíveis.</li> </ul>
<p><b>Uma solução bem sucedida traria</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de custos</li> <li>• Diminuição de fraudes e delitos, com conseqüente redução de custos.</li> <li>• Melhoria no uso dos ativos, com conseqüente redução de custos.</li> <li>• Identificação adequada dos ativos, com garantia de unicidade.</li> <li>• Rapidez na identificação e localização de ativos.</li> <li>• Melhoria no controle de estoques.</li> <li>• Grande quantidade de dados sobre utilização dos ativos.</li> <li>• Redução do tempo total do veículo parado.</li> <li>• Agilidade nos processos de manutenção.</li> <li>• Diminuição do número de carcaças deterioradas prematuramente, permitindo vida longa e maior número de recapagens.</li> <li>• Redução do número de acidentes causados por mau uso de pneus (pressão e sulcos inadequados).</li> </ul>

A identificação das partes interessadas e seus problemas é seguida pela definição dos objetivos do projeto. Com nesses dados, os seguintes objetivos foram traçados:

1. Promover a redução de custos relacionados a pneus;
2. Diminuir o número de incidências de fraudes e delitos, com conseqüente redução de custos;
3. Melhorar o uso dos pneus, com conseqüente redução de custos;
4. Identificar cada pneu de forma única, eficiente e garantida;

5. Melhorar o controle de estoques;
6. Aumentar a quantidade de dados sobre os pneus;
7. Reduzir o tempo total de veículos parados;
8. Melhorar o desempenho dos processos de manutenção;
9. Diminuir o número de carcaças deterioradas prematuramente;
10. Aumentar o número possível de recapagens;
11. Reduzir o número de acidentes causados por mau uso de pneus.

### **5.1.1.3 Considerações sobre o Ambiente de Operação**

Instalar um tag RFID em um pneu e garantir que seu funcionamento permaneça por toda a vida útil do ativo exige que se tenha um tag que resista às severas condições mecânicas e de temperatura a que o interior do pneu é submetido durante seu uso corriqueiro. A rodagem do pneu submete um objeto instalado em sua carcaça a esforços por movimentos repetitivos que podem levar à falência das funções do objeto por fadiga. Além disso, é necessário que o tag resista a processos de reconstrução de pneus, que incluem passagem por processos de raspagem mecânica, submissão a agentes químicos agressivos e ciclos de alta pressão e temperatura concomitantes desenvolvidos em autoclaves dedicadas.

Do ponto de vista dos componentes cuja base é a tecnologias RFID, o ambiente de operação ao qual o sistema será submetido é formado, simplificadaamente:

- Pelo pneu – que envolve o tag e o submete a condições diversas;
- Pelo veículo (p.e. caminhão, trator, ônibus) - que é suportado pelos pneus;
- E pelo ambiente no qual o veículo se insere (borracharia, estradas, ruas, pátios, etc.).

Assim, garantindo que o tag permaneça em boas condições durante o uso do pneu, a onda portadora emitida pela antena deverá ser emitida de tal maneira que seja capaz de atingir o tag neste ambiente. A fase de determinação de requisitos a ser apresentada em seção futura tratará em maior profundidade as restrições geradas ao sistema RFID por estar presente em ambiente com as características apresentadas.

### 5.1.1.4 Priorização de Problemas e Levantamento de Soluções

Os problemas levantados foram priorizados de acordo com o ponto de vista das partes interessadas (Tabela 5.4). Para cada problema, foram classificados como “diretamente relacionado aos componentes de RFID” ou “não diretamente relacionado aos componentes RFID” (Sim ou Não). Os problemas que estão diretamente relacionados aos componentes dependem da correta seleção de tecnologias RFID para que possam ser sanados com o uso do sistema. Assim, sob o ponto de vista da tecnologia RFID, estes problemas são considerados funções críticas de sucesso.

Tabela 5.4 – Descrição de Problemas Chave Partes Interessadas

<b>Partes Interessadas</b>	<b>Descrição dos problemas</b>	<b>Prioridade</b>	<b>Soluções / Idéias</b>	<b>Diretamente relacionado aos componentes de RFID ?</b>
Supervisor Geral	Eliminação de delitos e fraudes com os pneus	Alta	Ter o controle de todos os ativos da frota para prevenir delitos e fraudes com pneus, e ter o controle em tempo real do ativo.	Sim
Supervisor Geral	Redução de custos	Alta	Obter uma redução de custos da perda de pneus de sua frota.	Sim
Encarregado Geral	Redução do tempo total do veículo parado	Média	Reduzir o tempo de espera dos veículos parados.	Não
Supervisor de Manutenção	Redução do número de acidentes	Alta	Pressão e sulcos sempre adequados ao uso do veículo.	Não
Encarregado Geral	Agilidade no processo de trabalho	Alta	Ter agilidade na identificação dos ativos e facilidade da coleta de dados de pressão e profundidade de sulcos.	Sim
Supervisor Geral	Diminuição do número de carcaças deterioradas prematuramente	Alta	Permite vida longa e maior número de recapagens.	Não
Supervisor Geral	Emitir Relatórios	Alta	Emitir relatórios do histórico de pneus.	Não
Encarregado Geral	Consultas e Verificação da localidade dos Pneus	Média	Fazer consultas de Veiculo/Pneus.	Sim

Uma vez caracterizado o problema, a Fase II da metodologia pode ser aplicada. A próxima seção apresenta esta aplicação.

### **5.1.2 Aplicação da Fase II da Metodologia: Determinação de Requisitos**

A Fase II da metodologia propõe a realização e compilação de uma série de perguntas e respostas que deverão auxiliar na determinação de requisitos de projeto. A seguir, as perguntas e suas respectivas respostas são apresentadas. Ressalta-se que a resposta a cada uma dessas perguntas está ligada diretamente à correta realização da Fase I da metodologia.

**1. Serão lidos um ou mais tags por vez?**

É necessário que apenas um tag seja lido por vez, mas esta não é uma restrição fechada. O entendimento do problema e da aplicação, sob diversos pontos de vista (usabilidade, custos, facilidade de desenvolvimento, logística, etc.) podem determinar a resposta exata a esta pergunta.

Características como anti-colisão podem encarecer a aquisição e o desenvolvimento do sistema, e ao mesmo tempo dificultar seu, uma vez que cada pneu deve ser identificado e verificado individualmente.

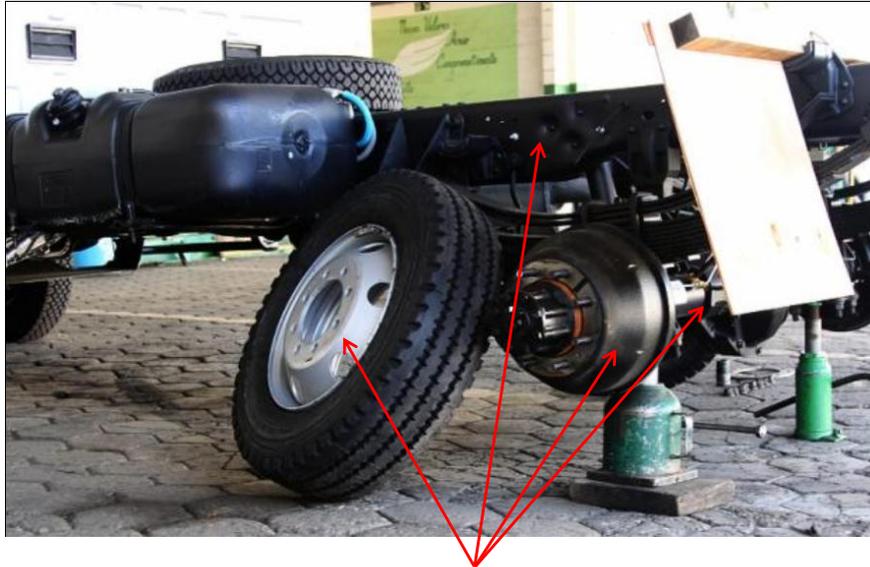
Assim, neste estudo de caso, será adotada a solução onde apenas um tag é lido por vez.

**2. Há presença de meios aquosos no ambiente de aplicação?**

Sim, o ambiente de operação levantado durante a fase I do projeto considera a presença de meios aquosos (entre a antena e o tag), uma vez que o uso corriqueiro do pneu pode ocorrer em ambientes secos, levemente úmidos ou até com alta presença de água (em dias de chuva por exemplo).

**3. Há presença de metais no ambiente de aplicação?**

Sim, os veículos são formados por estruturas com grande quantidade de massas metálicas, assim como as rodas onde os pneus são montados. Ainda, pneus radiais possuem em sua estrutura construtiva malhas metálicas que podem influenciar na aplicação. A Figura 5.4 ilustra a presença de massas metálicas próximas ao ambiente de aplicação do tag.



**Massas Metálicas**

Figura 5.4 – Exemplo de Presença de Massas Metálicas em composição veicular

**4. Há presença de madeira no ambiente de aplicação?**

A princípio não há madeira no ambiente de aplicação.

**5. Qual o material base do ativo sendo monitorado?**

O material sendo monitorado é feito, principalmente, de borracha, mas sua estrutura pode conter massas metálicas.

**6. Qual o preço do ativo a ser monitorado?**

Um pneu comercial de caminhão tem preço médio que varia de R\$1.300,00 a R\$1.500,00, podendo ainda variar dependendo da especificidade da aplicação.

**7. Qual a distância necessária de leitura (mínima e máxima)?**

Através da verificação das características de montagem de pneus comerciais em veículos de carga e no uso ergonômico do sistema pelo operador, pode-se estipular que a distância de leitura ideal está compreendida entre 20 e 30 centímetros. No mínimo, o pneu deve ser identificado a qualquer distância entre 0 e 25 centímetros entre tag e antena RFID.

Uma vez que o tag for instalado dentro do pneu e sua presença não possa ser verificada visualmente num pneu montado, é ideal que o padrão de radiação da antena de leitura e a diretividade do sinal garantam facilidade no encontro do tag.

**8. Há requisitos de tamanho, peso e resistência para o tag?**

Sim, o pneu é submetido a altos esforços mecânicos durante sua utilização. A rodagem em alta frequência pode causar falhas por fadiga. Ainda, os processos de recapagem devem ser levados em consideração, uma vez que submetem os pneus a alta temperatura e pressão.

Deve também ser observado o fato de que se o tag tiver peso muito grande, e for instalado no interior do pneu, pode provocar desbalanceamento, afetando a segurança e prejudicando o desgaste adequado do pneu.

**9. Há requisitos de tamanho, peso e resistência para a antena?**

Sim, a antena deve ter características que propiciem boa ergonomia.

**10. Qual a precisão do conhecimento da localização do tag na aplicação?**

A localização do tag é conhecida, com relativa alta precisão. Isto pois o tag está fixo à carcaça do pneu.

**11. Que dados devem ser armazenados na memória do tag?**

O dado básico necessário neste caso é um número de identificação, sem a necessidade de regravação ou modificação.

**12. Há necessidade de segurança da informação? Quão restrito o sistema deve ser?**

A identificação do pneu deve ocorrer de forma única e imutável. Não se deve poder alterar o número de identificação do pneu.. Não há necessidade evidente para o uso de criptografia ou autenticação, uma vez que não há transação direta financeira ou material na leitura do tag. O controle de transações pode ser gerenciado por um sistema computacional de mais alto nível, que utiliza o sistema RFID como ferramenta de auxílio.

Com base nas perguntas e respostas apresentadas, conclui-se que os seguintes requisitos são essenciais para o desenvolvimento adequado do sistema RFID para a gestão de pneus:

- O tag deve ter bom desempenho quando em meios aquosos e ambientes com abundante presença de massas metálicas

A importância deste requisito se deve ao fato de que o pneu veicular trabalhar em locais onde a presença de metais e água é corriqueira. Conforme apresentado (Tabela 3.5 e Tabela 3.6), quanto maior a frequência de operação dos tags RFID, maiores são as interferências causadas pela presença destes materiais nos ambientes de leitura.

- A distância de leitura (antena/tag) deve permitir uso facilitado pelo operador

As distâncias de leitura entre a antena da leitora e o tag RFID são função de uma infinidade de parâmetros, como potência e geometria da antena de emissão do campo eletromagnético (escrita e leitura), capacitância do chip, formato e indutância da antena do tag, meio de propagação dos campos eletromagnéticos, interferência de outros campos eletromagnéticos, etc.

A distância de leitura é determinante para possibilidade de colisões eletromagnéticas (dois chips serem energizados ao mesmo tempo) e para o tempo necessário de permanência na zona de leitura (zona de interrogação).

Distâncias altas de leitura podem contribuir para o aumento da complexidade e do custo da solução tecnológica, uma vez que o usuário, durante a utilização do sistema, poderá energizar vários tags RFID simultaneamente, causando interferências eletromagnéticas nas ondas de resposta e possível impossibilidade de leitura. O encarecimento da solução estará então associado à necessidade de desenvolvimento de algoritmos anti-colisão, além da utilização de chips que

sejam especialmente fabricados para serem submetidos a tais sistemas. Por outro lado, baixas distâncias de leitura podem dificultar o encontro do tag RFID, impedindo a implantação adequada do sistema no cliente final.

- O sistema deve ter custo apropriado para o ativo que se deseja gerenciar

Em se tratando do gerenciamento de pneus, o tag é o principal elemento cujo custo pode inviabilizar a aplicação do sistema, uma vez que deve haver um tag para cada pneu, enquanto todos os outros equipamentos podem ser utilizados em quantidades significativamente inferiores.

- O sistema deve permitir boa logística nacional e seus componentes devem ter boa maturidade tecnológica.

Componentes que não permitam boa logística de obtenção e que não tenham a maturidade tecnológica necessária podem inviabilizar a continuidade da produção e do desenvolvimento do sistema. Em se tratando do gerenciamento de pneus, é extremamente necessário que o tag possa ser obtido com facilidade, uma vez que após a implementação do projeto este é o componente que deverá ser demandado em maior quantidade e em maior frequência.

Assim, resumidamente, os requisitos mínimos para os componentes de um sistema RFID para gestão de pneus são:

- Bom desempenho quando em meios aquosos e ambientes com abundante presença de massas metálicas;
- Deve ser lido a uma distância que facilite o uso pelo operador;
- Deve ter custo apropriado para o ativo que deseja monitorar;
- Deve ter tamanho e peso apropriados para a instalação e uso;
- Deve ter robustez mecânica e térmica;
- Maturidade Tecnológica;
- Boa logística Nacional.

### **5.1.3 Aplicação da Fase III da Metodologia: Projeto do Sistema**

Nesta fase da metodologia proposta, os requisitos definidos na seção anterior deverão ser transformados em características tecnológicas do sistema RFID.

#### **5.1.3.1 Definição da Fonte de Energia**

Com o intuito determinar de forma concisa e lógica a melhor opção entre as tecnologias Ativa e Passiva para sistema RFID em desenvolvimento, tomou-se primeiramente a comparação entre as tecnologias Passiva e Ativa apresentada na Tabela 3.2 e, sob a luz dos requisitos de projeto, criou-se uma matriz de decisão apresentada na Tabela 5.5, com base nos critérios de peso e avaliação apresentados nas tabelas Tabela 5.6 e Tabela 5.7 subsequentes.

Tabela 5.5 - Matriz de Decisão para seleção entre tags ativos e tags passivos

Critério	Descrição	Peso	Tags Ativos		Tags Passivos	
			Avaliação	Pontuação	Avaliação	Pontuação
<b>Fonte de Alimentação</b>	Por bateria ou por absorção da energia emitida pela leitora	10	1	10	3	30
<b>Tamanho e Peso</b>	Características Geométricas do tag e características de peso dos equipamentos	10	1	10	3	30
<b>Distância de Leitura</b>	Leitura próxima ou a longa distância	8	2	16	3	24
<b>Custo</b>	Elevado ou Baixo	7	1	7	3	21
<b>Vida Útil</b>	Duração do tag na aplicação sem manutenção	7	1	7	3	21
<b>Capacidade de Memória</b>	Quantidade de Dados armazenadas no tag	3	3	9	3	9
<b>Comunicação</b>	Transferência de Dados	2	3	6	3	6
<b>Total</b>				65	-	141

Tabela 5.6 - Critérios de Peso para Matriz de Decisão para seleção entre tags ativos e tags passivos.

Peso → 1 a 10	<b>10</b> – Maior Importância
	<b>01</b> – Menor Importância

Tabela 5.7 - Critérios de Avaliação para Matriz de Decisão para Seleção entre tags ativos e tags passivos

Avaliação → 1, 2 ou 3	<b>3</b> – Muito Bom ou Muito Adequado
	<b>2</b> – Bom ou Adequado
	<b>1</b> – Ruim ou Inadequado

A seguir, a lógica de raciocínio e os contextos que levaram aos resultados apresentados na Tabela 5.5 são enunciados.

- I. Fonte de Alimentação:** Critério com alto peso na matriz e relacionado diretamente à definição de ativo e passivo. Enquanto o tag passivo é alimentado pela energia das ondas eletromagnéticas emitidas pela antena leitora, o tag ativo contém uma bateria de alimentação interna. A presença da bateria traz uma desvantagem para o tag ativo, pois pode haver necessidade de manutenção caso sua fonte de energia se esgote. A presença da bateria ainda influencia diretamente no tamanho, peso e custo do tag, tornando-o maior, mais pesado e mais custoso. Uma vez que o tag RFID poderá ser parte integrante da carcaça do pneu, o requisito de projeto não recomenda a substituição dos tags (bateria) ao longo da vida útil do ativo.
- II. Tamanho e peso:** Influenciados diretamente pela presença ou não da bateria, o tamanho e o peso do tag são fatores importantes. Valores altos para estes parâmetros podem prejudicar o balanceamento, manutenção, reformas e outros processos inerentes do uso do pneu. Quanto menor e mais leves os tags, tanto melhor.
- III. Distância de Leitura:** A distância de leitura é um parâmetro que deve ser observado com cautela. Apesar de os tags ativos possuírem a vantagem de poderem ser lidos a maiores distâncias, isto pode causar um efeito negativo durante a utilização do sistema, uma vez que o usuário deve ler apenas um pneu por vez. Grandes distâncias de leitura podem causar mistura de informação nos momentos de leitura e identificação dos pneus, além de necessidades especiais na antena e no coletor de dados (regulagens de potência, interfaces de usuários complexas e caras, softwares anti-colisão<sup>1</sup> dedicados e custosos, entre outros).
- IV. Custo:** Um alto custo pode inviabilizar a aplicação do produto. Tags ativos costumam custar de 5 a 100 vezes mais do que tags passivos, dependendo das necessidades da aplicação.

- V. **Comunicação:** Critério referente à forma como o tag envia e recebe sinais, assim como seu pareamento com antenas de leitura. Para a aplicação deste projeto, o envio apenas de informação de identificação do tag para a antena leitora já satisfaz as necessidades, e isso pode ser realizado de forma simples tanto pelos tags ativos quanto passivos, tornando este um critério não tão importante.
  
- VI. **Capacidade de Memória:** É a capacidade do tag em guardar informações em sua memória (EEPROM). No caso deste projeto de pesquisa, o chip necessita apenas conter o número de identificação do pneu. Em questões práticas, apesar de o chip ativo apresentar maior capacidade de armazenamento de dados, para a aplicação da gestão do pneu esta característica não apresenta vantagem adicional.
  
- VII. **Vida Útil:** O critério vida útil foi avaliado apenas através do ponto de vista do transponder em si, e não do ponto de vista de sua resistência às condições de aplicação em pneus, uma vez que esta será função também da carcaça do tag e seu local de fixação. Assim, qualquer tag que tenha vida útil igual ou maior que a do pneu, atinge os requisitos necessários. Para esta avaliação, considerou-se que o chip passivo tem vida útil maior do que o chip ativo, onde a energia da bateria pode determinar a falência do tag antes do término da vida útil do pneu.

Assim, tendo sido obtido o valor de 141 pontos para os tags passivos, contra 65 pontos para os tags ativos, a solução a escolhida para ser utilizada deverá contar com um tag RFID passivo.

A seguir serão apresentados os critérios utilizados para a escolha da melhor frequência de tags passivos para ser utilizada no sistema.

### **5.1.3.2 Definição da Frequência de Operação**

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, a seleção da frequência de operação adequada para o sistema é um processo chave para o sucesso da aplicação. Nesta seção, tal

seleção é realizada com base em referências bibliográficas o tanto quanto possível, e parte-se também para testes em laboratório assim que a bibliografia deixa de satisfazer as necessidades de conhecimentos.

### **5.1.3.3 Eliminação da Opção de Sistemas UHF para o projeto**

Através da observação do ambiente de operação e dos processos envolvidos durante a vida útil do pneu, sistemas RFID cujas ondas portadoras estejam situadas na faixa de UHF são eliminados do leque de opções adequadas disponíveis para solução. Conforme evidenciado na fase de entendimento do problema, a presença de massas metálicas e de meios aquosos deverá ser corriqueira no ambiente de operação do sistema. Tanto a Tabela 3.5 quanto a Tabela 3.6, apresentadas anteriormente, evidenciam objetivamente que tal frequência deve ser evitada neste tipo de ambiente. Com a eliminação da faixa UHF, o estudo deve então prosseguir em relação às faixas de frequências LF e HF.

### **5.1.3.4 Estudo Teórico Comparativo entre Tags de 125, 134,2 KHz e 13,56 MHz**

As frequências comumente disponíveis no mercado nas faixas de LF e HF são 125 KHz, 134,2 KHz e 13,56 MHz.

A observação e análise da Tabela 3.4, a partir do ponto de vista dos requisitos de projeto, permite concluir que as três frequências (125 KHz, 134,2 KHz e 13,54 MHz) têm potencial para se enquadrarem nos requisitos técnicos de projeto, ficando algumas dúvidas sobre o desempenho dos tags de 13,56 MHz quando próximos a metais, assim como dúvidas em relação aos desempenhos de distância de leitura para os tags LF. Essas formam então o grupo de frequências possivelmente adequadas para a aplicação neste estudo de caso.

Uma vez que a bibliografia não possibilitou conclusões definitivas para a seleção da frequência de operação adequada para o sistema, o próximo passo foi realizar testes de distância de leitura para os três tipos de tags disponíveis, verificando também as possíveis quedas de desempenho em função de interferências (meios aquosos e massas metálicas).

#### **5.1.3.5 Testes de Distância de Leitura em Laboratório**

Os testes de distância de leitura consistiram em submeter tags com frequências de 125 KHz, 134,2 KHz e 13,56 MHz a medições de distância de leitura, com o objetivo de verificar o enquadramento das tecnologias às necessidades do sistema em desenvolvimento.

Os procedimentos de teste de distância de leitura são divididos em duas etapas experimentais, e são apresentados em detalhes nos apêndices A e B.

- Etapa 1: Estudo de uma quantidade pequena de tags para cada frequência, fazendo uma pré-seleção tecnológica.
- Etapa 2: Estudo de uma quantidade grande de tags da tecnologia pré-selecionada, a fim de se comprovar técnico-cientificamente seu enquadramento nos requisitos do projeto. Se esta frequência funcionar bem para o sistema, então é selecionada para ser a frequência base do sistema, e ser avaliada então sob outras óticas da Fase 3 do método proposto.

Na etapa 1 do experimento, descrita em detalhes no Apêndice A, os tags de 13,56 MHz apresentaram resultados abaixo do teoricamente esperado. Isso pode estar ligado à alta suscetividade às interferências possivelmente presentes no meio onde se propaga a onda portadora gerada pela fonte emissora de radiofrequência, ao setup original do chip, ou ainda à geometria das antenas dos tags testados. Para este estudo, a frequência de 13,56 KHz perde em desempenho para o 125 KHz principalmente pela falta de possibilidade de variação dos parâmetros que influenciam na distância de leitura.

Para os tags de 134,2 KHz os resultados ficaram dentro do esperado, com distâncias de leitura menores do que 10 centímetros. Para os de 125 KHz foi obtido um desempenho ótimo, que tocou a faixa superior de distância de leitura apresentada nos estudos bibliográficos.

Em relação aos tags de 13,56 KHz, foram ainda consultados diversos fornecedores de cartões inteligentes (*Smart Cards*) fornecidos nesta frequência. De acordo com estas consultas, para se obter distâncias adequadas para a aplicação, utilizando tags passivos na frequência de 13,56 MHz, seria necessária a produção de tags com antenas maiores que as comumente disponíveis no mercado. Ainda, esses tags poderiam ter tamanhos inadequados para a aplicação desejada.

Uma vez que até então os tags de 125 KHz satisfizeram os requisitos do projeto, estes foram eleitos primeiros candidatos para o sistema em desenvolvimento.

Na etapa 2 do experimento, realizou-se então a medição de distância de leitura para uma amostra maior de tags (100) com frequência 125 KHz, o que levou à conclusão que os transponders de 125 KHz apresentam distâncias adequadas ao requisito de projeto, com boa constância nos resultados (Apêndice B).

Para comprovar a eficácia da escolha correta da tecnologia para o projeto, foram realizados testes de tags RFID selecionados ( com frequência em 125 KHz), na presença de massas metálicas e meios aquosos. Os resultados desses testes são apresentados no Apêndice C.

Alguns tags RFID foram testados nas laterais de pneus de caminhões montados e também sobre placas metálicas, tendo apresentado distâncias de leitura adequadas e demonstrando a exequibilidade técnica da utilização desta tecnologia para aplicação na identificação automatizada de pneus.

## **5.2 Considerações Finais do Capítulo**

O processo decisório para a seleção da tecnologia RFID apresentada neste estudo de caso ocorreu através da utilização da metodologia proposta.

Como esperado, a Fase I da metodologia mostrou-se essencial para o processo, sendo grande influenciadora dos processos e decisões a serem tomadas nas fases seguintes. Ainda, o estudo de caso deixou claro que a metodologia por si só não garante a correta seleção e aplicação tecnológica, tendo sido necessários estudos aprofundados sobre o tema específico da aplicação (neste caso gestão de pneus), e também sobre o tema RFID.

A seleção relativa à escolha de tecnologias passiva ou ativa, assim como relativa às frequências de operação, tiveram posição de destaque. A Figura 5.5 apresenta quadro resumo desse processo, onde são destacados três momentos principais de decisão (D1, D2 e D3):

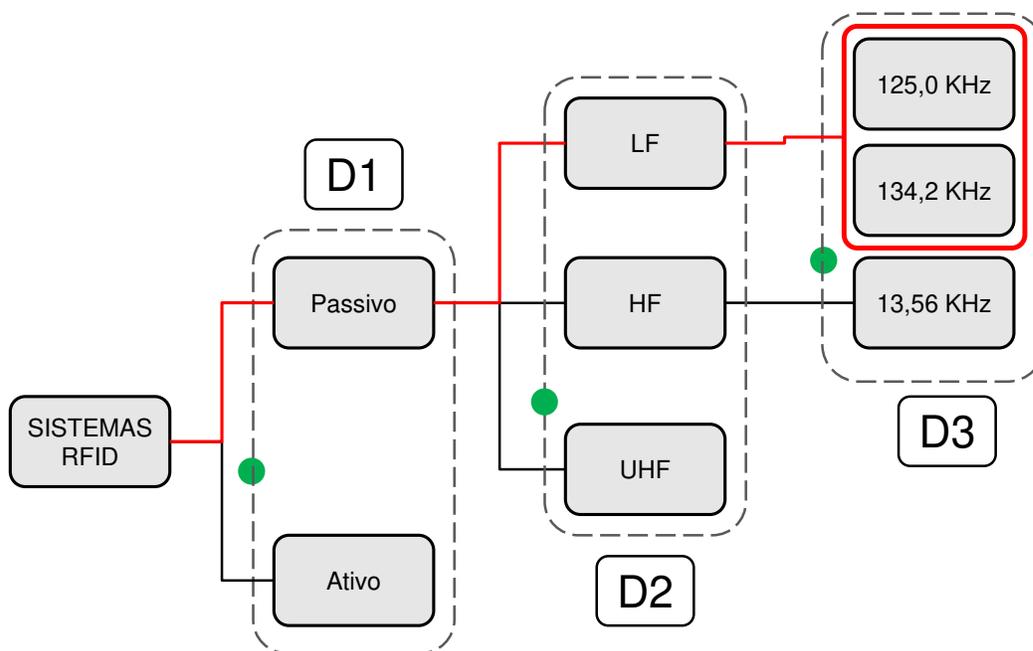


Figura 5.5 - Processos decisórios relativos a fonte de energia e frequências de operação.

**D1:** Esta decisão foi realizada com base principalmente teórica, com auxílio de matriz de decisão criada e preenchida sob a ótica dos aspectos fundamentais levantados nas fases 1 e 2 da metodologia. Em resumo, os principais fatores que levaram à seleção das tecnologias Passivas foram: Custo, tamanho e durabilidade.

**D2:** Esta decisão foi realizada com base principalmente teórica e levou à eliminação da opção de uso de UHF para o sistema. Novamente as fases 1 e 2 da metodologia tiveram grande

peso na decisão, principalmente o levantamento de dados relativos ao ambiente de operação, que evidenciou presença abundante de massas metálicas metais e água, demonstrando a potencial inconveniência do uso de ultra altas frequências.

**D3:** Nesta ponto foi necessário a realização de experimentos e testes, além dos entendimentos teóricos e levantamentos realizados nas fases 1 e 2 da metodologia. As frequências na faixa de HF foram descartadas devido à baixas distâncias de leitura para tamanhos adequados de tag. Em seguida, os resultados dos experimentos apontaram que sistemas RFID operando em baixa frequência podem ser adequados para este estudo de caso.

Assim, duas das principais características diferenciadoras (FINKENZELLER, 2003) de sistemas RFID foram determinadas através de processos contemplados na metodologia.

A um todo, os resultados obtidos mostram que a metodologia pode guiar o desenvolvedor de sistemas RFID, levando-o a se aproximar de uma solução potencialmente adequada, baseando-se em requisitos, pesquisas, testes e características tecnológicas.



## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Neste estudo diversas características e potencialidades de sistemas baseados em tecnologia RFID foram estudadas, entendidas e apresentadas. As principais características de influência para determinação de requisitos técnicos e para a escolha de componentes também foram apresentadas e discutidas, com foco para o uso em automação. Houve grande destaque para as diferenças entre sistemas ativos e passivos, e para frequências de operação, características que se mostraram determinantes para os resultados da aplicação final de um sistema RFID.

A abordagem da problemática da seleção e aplicação da tecnologia RFID através da compilação e análise de 8 métodos e textos explicativos, e de 30 diferentes questões e características a serem observadas, adicionadas à considerações sobre 13 critérios diferentes para seleção de tecnologias, permitiram que o conceito para uma nova metodologia fosse obtido. Esta metodologia, pela própria natureza de seu desenvolvimento, procurou considerar a maioria das questões e características relevantes apresentadas pela bibliografia estudada, tornando-se uma metodologia potencialmente mais abrangente, incluindo as principais questões tipicamente abordadas pela literatura.

No estudo de caso, a aplicação das três fases subsequentes da metodologia, divididas em 11 fases interdependentes, permitiu que as características do sistema RFID fossem determinadas, considerando-se tanto as questões e características tecnológicas como as de negócio, demonstrando a potencialidade da metodologia proposta. Além disso, a execução da fase 1 da metodologia permitiu um entendimento aprofundado da aplicação de RFID para gestão de ativos físicos, especificamente para a gestão de pneus em transportadoras.

Como resultado e contribuição final, os diagramas apresentados nas figuras 4.2, 4.3 e 4.4 (diagramas da metodologia), juntamente às tabelas 3.2 a 3.5 (tabelas de critérios e características), podem ser utilizados em conjunto para orientação na seleção e aplicação de sistemas RFID para resolução de problemas, principalmente os de identificação e gestão de objetos em ambientes industriais.

## 6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros a metodologia proposta pode ser estendida, de forma que contemple uma especificação mais abrangente para:

- a seleção e aplicação de antenas RFID;
- a seleção e especificação de carcaças para tags RFID;
- critérios de seleção para tags ativos;
- critérios para seleção e enquadramento de sistemas RFID, considerando-se as normas e padrões existentes e em desenvolvimento.

Além disso, sugere-se que a metodologia seja testada em outros casos, possibilitando seu aprimoramento e verificando sua possível adequação a outras aplicações.

## Referências

BROWN, M.; PATADIA, S.; DUA, S., “CompTIA RFID+ Certification”, Mc Graw Hill, United States of America, 2007

CHAO, C.C, YANG, J.M., JEN, W. Y. “Determining technology trends and forecasts of RFID by a historical review and bibliometric analysis from 1991 to 2005”. *Technovation*, 27(5): pp. 268-279. 2007

COUTO, P., “O RFID num futuro bem localizado”, *Datacomp*, Unidade de Produtos e Serviços, 26 de Fevereiro de 2008.

CUNHA A. F., “RFID – Etiquetas com eletrônica de ponta – Parte II”. *Engenheiro elétrico. SENAI*. 20\_ \_.

DALFOVO O., HOSTINS C. A., “Delineamento para aplicação do RFID na logística de supermercado como inteligência competitiva: supermercado Hostins”. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau*, v.4, n.1, p.23-48, Sem I.2010.

FAOUZI, K., “RFID System Management: Stateof-the Art and Open Research Issues”. *IEEE Transactions On Network And Service Management*, Vol. 6, Nº. 3. September 2009.

FERRER, G., DEW, N., APTE, U., “When is RFID Right for Your Service?”, Published by Elsevier B.V. *Int. J. Production Economics* 124, PP. 414–425. 2010.

FINKENZELLER, K., “RFID-Handbook, Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification”, 2nd edition. Wiley and Sons, 2003.

FROTAS S.A., “Rastro Verde”, Editora Abril, São Paulo, 2008.

GTA - GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO, “Futuro do RFID”, disponível em [http://www.gta.ufrj.br/grad/07\\_1/rfid/RFID\\_arquivos/futuro.htm](http://www.gta.ufrj.br/grad/07_1/rfid/RFID_arquivos/futuro.htm), Acesso em 24 de Janeiro de 2011. UFRJ. 2011.

GLOVER, B.; BHATT, H., “Fundamentos de RFID”. Rio de Janeiro: Alta Books, 2007. 228p

GOMES, C. H. M., “Construção de um sistema de RFID com fins de localização especiais”, dissertação de mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro. 2007.

GOMES, J.C.; “SGP – Sistema de Gestão de Pneus baseado em Tecnologia RFID”, Projeto PIPE Fapesp – processo FAPESP 2008/55278-5, Saveway, Campinas, Brasil, 2008.

GOMES, J.C.; “Relatório Científico projeto SGP – Sistema de Gestão de Pneus baseado em Tecnologia RFID” – processo FAPESP 2008/55278-5, Saveway, Campinas, Brasil, 2010.

GUEDES, M., ARTUR, M., “Auxílio na Orientação de Invisuais usando a Tecnologia RFID”, dissertação de mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 2009.

HANSEN, H-R E GILLERT, F., “RFID for Optimization of Business Process”, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 2008.

HEINRICH, C., “RFID and Beyond”, Wiley, Indianapolis. 2005.

[http://openlearn.open.ac.uk/file.php/1509/T175\\_1\\_020i.jpg](http://openlearn.open.ac.uk/file.php/1509/T175_1_020i.jpg), Acesso em 26 de Janeiro 2011.

<http://www.synergy.com.br/protracid.html>, Acesso em 26 de Janeiro 2011.

IDTECHEX, “RFID Forecasts, Players & Opportunities” 2008-2018, IDTechEx, 2008.

JAMALI, B., “Handbook of Smart Antennas for RFID Systems”, Capítulo 1, School of Electrical and Electronic Engineering, The University of Adelaide, Adelaide, Australia, 2010.

KOVAVISARUCH, L.-O.; LERTUDOMTANA, P.; HORUNGRUANG, S., “Management of Engineering & Technology”, Portland International Conference - PICMET, Portland, Estados Unidos da América, pag. 1656 – 1665, 2008.

LAHIRI, S., “RFID Sourcebook”, IBM Press. 2006.

LANDT, J., “Shrouds of Time: The history of RFID”, AIM Inc. 2001.

LI, H., “Development and Implementation of RFID Technology”, Capítulo 1, I-Tech Education and Publishing KG, Vienna, Austria, 2009.

MAGELLAN TECHNOLOGY, “A comparison of RFID frequencies and protocols”, White Paper, 2006.

MONARCH, PRODUCTS AND SERVICES. “RFID Basics Updated, Including Gen2”, 2006.

NGAI, E.W.T., MOON, K K.L., RIGGINS, F. J., CANDACE, Y. YI., “RFID research: An academic literature review (1995–2005) and future research directions”, Int. J. Production Economics, ed. 112, 510–520 Elsevier. Ltd., 2008.

PATRICK, J.S.II, “RFID for Dummies – A Reference for the Rest of Us!”, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2005.

PIRELLI, “Boa Gestão dos pneus melhora Resultados”, Revista Pirelli Truck, 2006.

RFID SOLUTIONS CENTER, “Análise sobre o Estado da Arte em RFID”, Versão: 1. 2006.

ROBERTS, C. M., “Radio frequency identification (RFID)”, Elsevier. Ltd., Department of Information Sciences, Otago University, New Zealand, Computers & Security, ed 25, 18 – 26., 2006.

ROUSSOS, G., KOSTAKOS, V., “RFID in Pervasive Computing: State-of-the-art and Outlook”, 19 de Novembro de 2008.

SANGHERA, P., “RFID+ Study Guide and Practice Exam”, Syngress Publishing, Inc., 2007.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA – Artigo: “RFID: começará teste em larga escala de etiquetas inteligentes no Brasil”. De 08/09/2009. Acesso: 07/02/2011.

SMANHOTTO, L. T., “RFID (Radio-Frequency IDentification)”, Curso de Redes e Segurança de Informação, Pontifícia Universidade Católica do Paraná Curitiba, novembro de 2009.

SUSHIM, M. R., NEMAI, C. K., “Handbook of Smart Antennas for RFID Systems” – Capítulo II, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2010.

WANG Y., WU Y., LIU Y., TANG A., “The Application of Radio Frequency Identification Technology on Tire Tracking,” Proceeding of the IEEE international Conference on Automatio and Logistic, Jinan, China, 2007.

WIKIMEDIA COMMONS, “File:International Telecommunication Union region.svg”, em [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:International\\_Telecommunication\\_Union\\_region.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:International_Telecommunication_Union_region.svg), consultado em 01 de julho de 2012.

## APENDICE A – Testes LF vs HF

Os testes apresentados a seguir apresentam verificações de distância de leitura para uma pequena quantidade de tags. O teste é realizado para cada uma das frequências selecionadas durante a aplicação da metodologia proposta nesta dissertação.

- **MATERIAIS:**

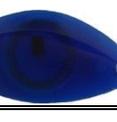
- a. 7 tags de 125 KHz
- b. 7 tags de 134,2 KHz
- c. 7 tags de 13,56 KHz
- d. 2 antenas RFID de 125 KHz
- e. 2 antenas RFID de 134,2 KHz
- f. 1 antena RFID de 13,56 KHz
- g. dispositivo padrão de medição
- h. gaiola de Faraday

- **PROCEDIMENTOS:**

As distâncias de leitura são tomadas encaixando-se a antena de leitura RFID na base do dispositivo de medição e iniciando-se o procedimento de leitura com o tag alinhado ao ponto mais alto da régua padrão. Preme-se movimento rotativo à manivela, baixando-se o tag paulatinamente até o momento em que sua leitura ocorre. Neste momento toma-se a distância de leitura através da observação da régua lateral de medição. Todo o procedimento ocorre dentro da Gaiola de Faraday. Os tags também foram lidos com diferentes ângulos de aproximação dos mesmos ao plano de emissão do campo eletromagnético.

A Tabela B.1 apresenta características e distâncias de leitura para os tags de 125 KHz testados, assim como outras características relevantes sobre os mesmos. A tabela é seguida por lista de características dos tags testados.

Tabela B.1 - Resultados de testes de distância de leitura para tags na frequência 125 KHz e características dos tags

Ítem	Fabricante	Frequência [KHz]	Tipo	Antena	Distância de Leitura [cm]	Imagem
1	Fabricante A	125,0	E-Unit Encapsulado Modelo 160	Antena Protótipo 134,2 KHz	2,0	
2	Fabricante A	125,0	E-Unit	Antena Protótipo 134,2 KHz	3,0	
3	Fabricante A	125,0	E-Unit Encapsulado Modelo 160	Antena Protótipo 134,2 KHz	2,5	
4	Fabricante A	125,0	E-Unit	Antena Protótipo 134,2 KHz	2,5	
5	Fabricante B	125,0	E-Unit Encapsulado Modelo 120	Antena Protótipo 134,2 KHz	1,5	
6	Fabricante C	125,0	Glasstag	Antena Protótipo 134,2 KHz	6,5	
7	Fabricante D	125,0	Tag Modelo Imobilização Veicular	Antena Protótipo 134,2 KHz	7,5	

- **Ítem 1,2 e 3:** diâmetro nominal externo: 19mm,
- **Ítem 4:** Mesmo dos itens 1, 2 e 3, porém com carcaça parcialmente removida para verificar possível interferência no processo de leitura. Pela distância obtida, não há interferência da carcaça na distância de leitura.
- **Ítem 5:** diâmetro nominal externo: 9 mm
- **Ítem 6:** Em formato diferente dos demais, em cápsula de vidro e com núcleo de ferrite na espira. Apresentou distância de leitura superior comparado aos tags no formato Inlay. Este tipo de tag é utilizado para inserção subcutânea em animais, e tem alto

custo de fabricação, o que pode inviabilizar determinadas aplicações.

- **Item 7:** diâmetro nominal externo: 21 mm. Mostrou maior distância de leitura entre os sete tags testados. Também possui o maior diâmetro de antena (espiras da bobina).

A Tabela B.2 apresenta características e distâncias de leitura para os tags de 134,2 KHz testados, assim como outras características relevantes sobre os mesmos. A tabela é seguida por lista de características dos tags testados. A Tabela B.3 apresenta a dimensão dos tags testados.

Tabela B.2 - Resultados de testes de distância de leitura para tags na frequência 134,2 KHz

Ítem	Fabricante	Frequência [KHz]	Tipo	Antena	Distância de Leitura [cm]	Imagem
1	Fabricante E	134,2	E-Unit Encapsulado	Antena Protótipo 125 KHz	22,0	
2	Fabricante E	134,2	E-Unit	Antena Protótipo 125 KHz	20,8	
3	Fabricante E	134,2	E-Unit	Antena Protótipo 125 KHz	22,0	
4	Fabricante F	134,2	E-Unit	Antena Protótipo 125 KHz	21,0	
5	Fabricante F	134,2	E-Unit	Antena Protótipo 125 KHz	22,5	
6	Fabricante F	134,2	E-Unit	Antena Protótipo 125 KHz	21,4	
7	Fabricante F	134,2	E-Unit	Antena Protótipo 125 KHz	22,0	

Tabela B.3 - Dimensão dos tags 125 KHz Testados

<b>Ítem</b>	<b>Diâmetro Externo [mm]</b>	<b>Diâmetro Interno [mm]</b>	<b>Altura da Bobina [mm]</b>
1	20,61	18,32	2,28
2	20,98	18,54	2,40
3	20,04	17,61	2,35
4	20,42	18,58	2,54
5	20,85	18,71	2,26
6	20,93	18,67	2,28
7	20,90	18,50	2,32

Os resultados obtidos para os transponders apresentados na Tabela B.2 aproximam-se aos requisitos de projeto.

A Tabela B.4 apresenta as características e resultados obtidos para testes de distâncias de leitura para a frequência de 13,56MHz, no formato de cartões (HiTag).

Tabela B.4 - Resultados Teste de Distância de Leitura para tags na frequência de 13,56 MHz

<b>Ítem</b>	<b>Frequência [MHz]</b>	<b>Distância de Leitura [cm]</b>
1	13,56	5,3
2	13,56	6,4
3	13,56	6,2
4	13,56	5,9
5	13,56	5,8
6	13,56	6,0
7	13,56	5,4

As distâncias obtidas para os tags RFID de frequência 13,56 MHz foram consideradas baixas para aplicação no sistema de gestão de pneus em estudo, comparadas às obtidas para 125 KHz.

## APENDICE B – Testes Tags 125 KHz

Os testes apresentados a seguir foram realizados utilizando antenas RFID aferidas para 125 KHz. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela B.5, onde são numerados amostras de tags (de 1 a 100) e são apresentadas as distâncias de leitura obtidas assim como o valor médio para essas distâncias.

Tabela B.5 – Resultados de Teste de Distâncias de leitura para tags em 125 KHz

Amostra #	Distancia Leitura						
1	21,5	26	18,9	51	19,0	76	22,0
2	18,8	27	18,2	52	21,0	77	20,8
3	18,3	28	20,9	53	19,2	78	21,5
4	21,8	29	19,1	54	18,2	79	20,5
5	21,6	30	21,2	55	18,4	80	19,3
6	20,8	31	21,5	56	20,5	81	19,1
7	19,9	32	20,8	57	21,6	82	20,0
8	18,2	33	20,6	58	21,3	83	19,1
9	19,9	34	19,1	59	19,2	84	20,4
10	19,1	35	19,5	60	21,4	85	21,6
11	21,8	36	19,7	61	19,1	86	21,2
12	18,8	37	20,9	62	20,3	87	20,5
13	19,8	38	21,9	63	18,8	88	21,9
14	18,7	39	19,2	64	20,9	89	20,8
15	20,9	40	18,1	65	21,4	90	21,6
16	21,3	41	21,4	66	20,2	91	21,5
17	18,2	42	19,0	67	18,2	92	21,8
18	19,1	43	19,3	68	18,8	93	20,2
19	21,6	44	20,7	69	19,7	94	21,5
20	21,5	45	19,1	70	20,8	95	20,9
21	19,9	46	20,2	71	19,2	96	19,3
22	19,9	47	19,1	72	21,6	97	18,3
23	19,1	48	20,3	73	21,1	98	19,5
24	19,9	49	20,3	74	21,0	99	21,5
25	19,5	50	19,7	75	18,2	100	20,2

A partir dos resultados apresentados na tabela anterior, concluiu-se que os transponders de 125 KHz apresentam distâncias adequadas ao requisito de projeto, com boa constância nos resultados. Os resultados obtidos estão dentro de uma variabilidade potencialmente adequada para o projeto (aproximadamente entre 18 cm e 22 cm). Um gráfico com as distâncias de leitura é apresentado na Figura B.1.

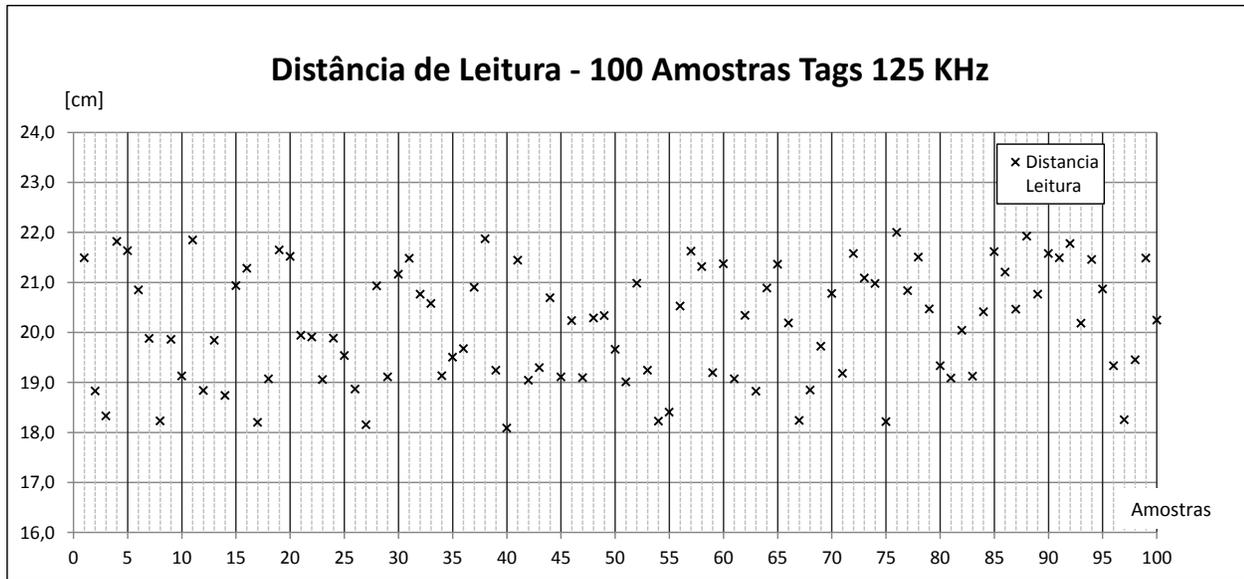


Figura B.1 – Resultado de teste de Distâncias de leitura 100 tags operando em 125 KHz – Gráfico Distância de Leitura por Amostra

## APENDICE C – Testes de Desempenho para Tags de Frequência 125 KHz em Presença de massas Metálicas e Meios Aquosos

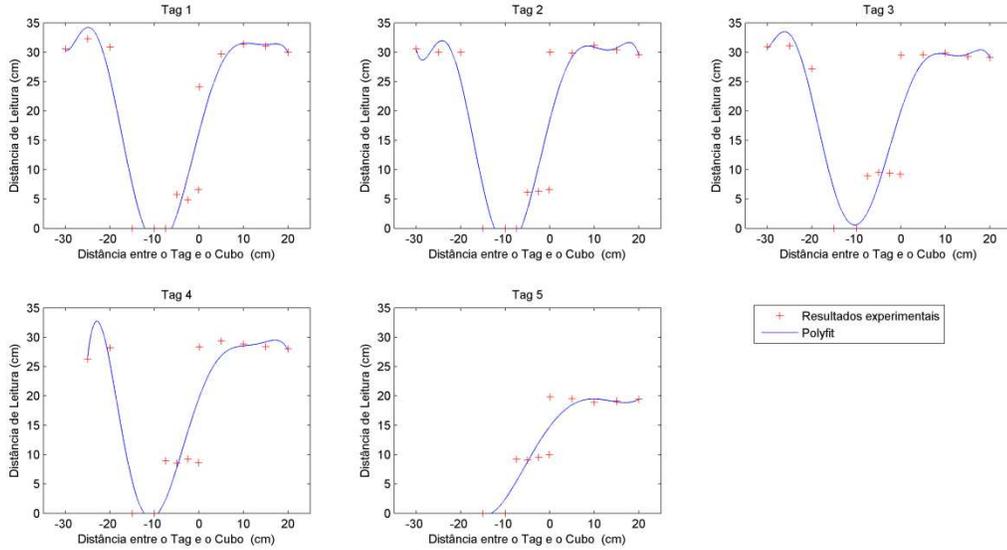


Figura B.2 - Resultados de Experimentos realizados com tags de 134,2 KHz na presença de meios aquosos

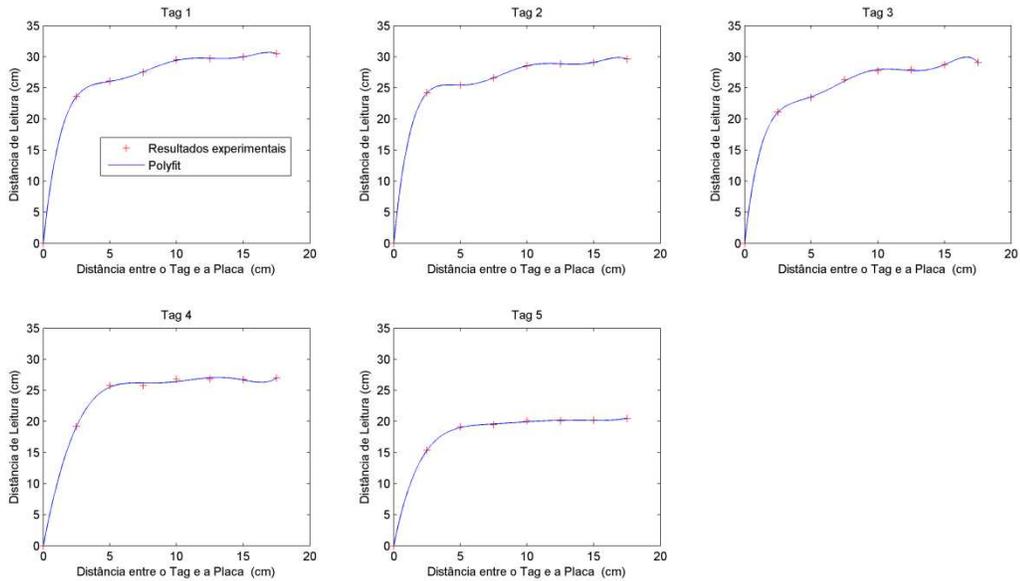


Figura B.3 - Resultados de Experimentos realizados com tags de 125 KHz na presença de massas metálicas