



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Pós-graduação em Ciência da Computação

**UM PROTOCOLO HÍBRIDO DE
ANTI-COLISÃO DE ETIQUETAS PARA
SISTEMAS RFID**

Bruno Almeida de Jesus

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Recife

04 de março de 2010

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Bruno Almeida de Jesus

**UM PROTOCOLO HÍBRIDO DE ANTI-COLISÃO DE ETIQUETAS
PARA SISTEMAS RFID**

*Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em
Ciência da Computação do Centro de Informática da Uni-
versidade Federal de Pernambuco como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Com-
putação.*

Orientador: *Paulo André da Silva Gonçalves*

Co-orientadora: *Liliane Rose Benning Salgado*

Recife

04 de março de 2010

Dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida: Minha mãe Ivone, meu pai Isaias e meu irmão Felipe, os quais sempre me deram suporte nos momentos mais difíceis. Agradeço a Deus por ter me concedido esta maravilhosa família.

AGRADECIMENTOS

A Deus... (Autor e criador de todas as coisas. A Ele sejam dados todo o Louvor, toda Honra e toda Glória...)

Meus pais, Isaias e Ivone, por sempre estarem comigo. A eles devo e sempre deverei minha vida e tudo o que nela eu conseguir. A meu irmão Felipe com quem ultimamente pude crescer e aprender muito, por todo amadurecimento em nossa relação, trazido pela distância e por ter também estado ao meu lado em bons e maus momentos. A toda minha família que sempre me apoiou e incentivou de diversas maneiras.

Aos meus amigos-irmãos do MUR (Ministério Universidades Renovadas), em Pernambuco e em Alagoas, por terem sido pra mim bálsamos de Deus em minha vida. Por terem me ajudado em minha formação na fé e na razão, a ser um profissional do Reino com a Graça de Deus Pai. A eles meu eterno obrigado e meu eterno SIM.

Aos meus orientadores prof. *Docteur* Paulo André da Silva Gonçalves e profa. Dra. Liliane Rose Benning Salgado, pela dedicação e o empenho em ajudar-me nessa missão. Por todas as críticas, “sermões”, sustos, alegrias, confiança depositada em mim, enfim, por toda orientação e companheirismo prestados, muito obrigado.

A meus amigos e colegas, alunos e professores do LabCom, laboratório de informática do departamento de Engenharia Mecânica, que conviveram comigo neste tempo de “correria” com todas as atividades acadêmicas e todas as tarefas também colocadas na administração do laboratório, mas que nunca deixaram de me apoiar e incentivar. Particularmente agradeço a Rafael Cabral de Moura, figura essencial na concretização desse trabalho, sem o qual o trabalho não poderia ser concluído. A este meu grande amigo-irmão, muito obrigado por todas as horas perdidas comigo, por toda disponibilidade e doação gratuitas, Deus o abençoe copiosamente.

Aos meus amigos integrantes da República Sabiá, membros oficiais e honorários, que passaram e deixaram também suas contribuições, e os que me aguentam até hoje. Muito mais do que somente dividir apartamento, aprendemos muito da difícil arte de conviver uns com os outros. Como costumamos dizer: “Tá em casa!”.

A minha amada namorada Mariucha por todo o apoio, paciência, incentivo, preocupação, amor e maravilhosa companhia, fisicamente perto ou longe, sempre presente no meu coração e nos meus pensamentos.

A todos os professores e funcionários do Centro de Informática da UFPE e agora já na fase de conclusão deste trabalho, também os funcionários e professores do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da UFPE, por todo empenho em educar e ensinar, e todo apoio também prestado. Muito obrigado.

“Pai, por tudo o que vivi Obrigado, por tudo o que viverei, SIM!”

*Contudo, seja qual for o grau a que chegamos,
o que importa é prosseguir decididamente.*

—FILIPENSES 3, 16

RESUMO

Os protocolos anti-colisão de etiquetas RFID são tradicionalmente divididos em dois grandes grupos: os baseados em Árvore e os baseados em ALOHA. Os primeiros dividem recursivamente o conjunto de etiquetas em colisão até que cada conjunto possua apenas uma etiqueta. Já os protocolos baseados em ALOHA procuram reduzir a probabilidade de colisões, tentando escalonar transmissões de etiquetas em *slots* distintos. Contudo, o processo de identificação em ambas as abordagens é lento em sistemas RFID com alta densidade de etiquetas. Em particular, em processos de identificação puramente baseados em ALOHA, ainda existe a possibilidade de etiquetas não serem identificadas em um longo período de tempo. Para melhorar o desempenho no processo de identificação de etiquetas em sistemas RFID com alta densidade de etiquetas, este trabalho propõe uma abordagem híbrida de anti-colisão que introduz uma fase inicial de identificação baseada em ALOHA seguida de uma ou mais fases baseadas em árvore. Os resultados de simulação mostram que a abordagem proposta permite uma redução no número de colisões, de transmissões etiquetas-leitor no processo de identificação de etiquetas e também a redução no número de *slots* de tempo necessários para o processo de identificação considerando grupos com mais de 200 etiquetas.

Palavras-chave:

RFID, Etiqueta, Leitor, Anti-colisão, Protocolo, Desempenho.

ABSTRACT

RFID tags anticollision protocols are traditionally divided into two groups: tree-based and ALOHA-based. The first recursively divide the set of tags in collision until each set has only one label. Already ALOHA based protocols seek to reduce probability of collisions, trying to stagger label transmissions in different slots. However, the identification process in both approaches is slow in RFID systems with high density labels. In particular, in processes of identification purely ALOHA-based, there remains the possibility of labels are not identified in a long period of time. To improve the process performance identification tags on RFID systems with high density of labels, this paper proposes a hybrid approach of anti-collision which introduces an initial identification phase based on ALOHA followed by one or more phases based on tree. The simulation results show that the proposed approach allows a reduction in the number of collisions, transmission tag-reader for tags identification process and also a reduction in the number of time slots required for the identification process whereas groups with more than 200 tags.

Keywords:

RFID, Tag, Reader, Anticollision, Protocol, Performance.

SUMÁRIO

Capítulo 1—Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	4
1.3 Organização	5
Capítulo 2—RFID e Protocolos de Anti-colisão	6
2.1 Acesso múltiplo ao canal de comunicação	6
2.2 Resumo	9
Capítulo 3—Trabalhos Relacionados	11
3.1 Protocolos de anti-colisão baseados em árvore	11
3.2 Protocolos de anti-colisão baseados em ALOHA	15
3.2.1 Protocolo ALOHA Puro	16
3.2.1.1 Extensão do ALOHA Puro - <i>Switch off</i>	17
3.2.1.2 Extensão do ALOHA Puro - <i>Slow down</i>	17
3.2.2 Protocolo <i>Slotted</i> ALOHA	18
3.2.2.1 Extensão do <i>Slotted</i> ALOHA - <i>Terminating</i>	19
3.2.2.2 Extensão do <i>Slotted</i> ALOHA - <i>Early End</i>	19
3.2.3 Protocolo <i>Frame-Slotted</i> ALOHA	19
3.2.3.1 Extensão do FSA - <i>Dynamic Frame-Slotted</i> ALOHA	22
3.3 Resumo	23

Capítulo 4—ALOHAQT: O protocolo proposto	26
4.1 Visão Geral	27
4.2 Processo de identificação	28
4.2.1 Fase de Particionamento	29
4.2.2 Fase de Identificação	30
4.3 Resumo	31
Capítulo 5—Avaliação de Desempenho	33
5.1 Métricas de Avaliação	33
5.2 Simulações e Resultados	35
5.3 Resumo	43
Capítulo 6—Considerações finais	45

LISTA DE FIGURAS

2.1	Taxonomia dos protocolos de anti-colisão	9
3.1	Árvore binária representando a execução do QT	14
3.2	Árvore binária representando a execução do QT-SC	14
3.3	Exemplo de execução do ALOHA puro	16
3.4	Exemplo de execução do <i>Switch off</i>	17
3.5	Exemplo de execução do <i>Slotted</i> ALOHA	18
3.6	Exemplo de execução da extensão <i>Early End</i>	20
3.7	Funcionamento do <i>Frame-Slotted</i> ALOHA	21
4.1	Exemplo de execução do ALOHAQT	30
5.1	Relação da probabilidade média da concorrência de colisões para cenários com etiquetas com IDs de 3 e 4 <i>bits</i>	34
5.2	Total de <i>slots</i> necessários para identificar até 1000 etiquetas para os protocolos baseados em ALOHA	35
5.3	(a) número de <i>slots</i> (b) e (c) melhoria no número de <i>slots</i> para $n \geq 50$	36
5.4	(a) número de colisões (b) e (c) melhoria no número de colisões	37
5.5	Ciclos vazios	38
5.6	(a) número de <i>bits</i> transmitidos (sentido etiqueta-leitor) (b) e (c) melhoria no número de <i>bits</i> transmitidos (sentido etiqueta-leitor) melhoria no número de colisões	38
5.7	Melhoria em número de <i>slots</i> para $n \geq 50$ considerando tamanho inicial do <i>frame</i> variando entre 128, 256 e 512 <i>slots</i>	40

5.8	Melhoria em número de <i>slots</i> para $n \geq 200$ considerando tamanho inicial do <i>frame</i> variando entre 128, 256 e 512 <i>slots</i>	40
5.9	Melhoria em número de colisões considerando tamanho inicial do <i>frame</i> variando entre 128, 256 e 512 <i>slots</i>	41
5.10	Melhoria em número de ciclos vazios para $n \geq 50$ considerando tamanho inicial do <i>frame</i> variando entre 128, 256 e 512 <i>slots</i>	42
5.11	Melhoria em número de <i>bits</i> transmitidos (sentido etiqueta-leitor) considerando tamanho inicial do <i>frame</i> variando entre 128, 256 e 512 <i>slots</i> .	43

LISTA DE ACRÔNIMOS

AFSA *Adaptive Frame-Slotted ALOHA*

CDMA *Code Division Multiple Access*

CIn Centro de Informática

DFSA *Dynamic Frame-Slotted ALOHA*

FDMA *Frequency Division Multiple Access*

FSA *Frame-Slotted ALOHA*

QT *Query Tree*

QT-SC *Query Tree Short Cutting*

RF *Radio Frequency*

RFID *Radio Frequency Identification*

RTF *Reader-talk-first*

SDMA *Space Division Multiple Access*

TDMA *Time Division Multiple Access*

TTF *Tags-Talk-First*

UFPE Universidade Federal de Pernambuco

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As redes sem fio revolucionaram os sistemas de comunicação e estão causando um impacto cada vez mais profundo no mundo das redes de computadores [1]. São propostos muitos desafios diferentes dos que existem para redes cabeadas que podem ser solucionados a partir de redes sem fio. Entre estes se destaca uma necessidade crescente de rastrear, controlar, identificar e automatizar objetos. Surge a tecnologia de Identificação por Radiofrequência ou RFID, (*Radio Frequency IDentification*) que permite a rápida identificação de produtos, pessoas, objetos através de comunicação sem fio. Contudo, o tempo necessário para completar o processo de identificação aumenta proporcionalmente em relação ao número de objetos que participam desse processo. Há, então, um interesse de estudos recentes em soluções cada vez mais eficientes para esses sistemas de comunicação.

1.1 MOTIVAÇÃO

O problema de identificação de objetos tem sido bastante discutido, levando-se em conta a ascensão de novas tecnologias que servem a esse propósito. Existem diversas situações no cotidiano onde é interessante que exista alguma maneira de contar e identificar de forma eficiente e rápida uma determinada quantidade de objetos. Como exemplo, quanto mais rápido um caixa de supermercado contar e identificar os produtos de uma determinada compra, menores seriam as filas e mais satisfeitos ficariam os clientes com a eficiência dos caixas. Hoje em dia, a técnica mais utilizada para identificação de objetos é a do código de barras [2]. Entretanto, faz-se interessante uma técnica que, com a mínima necessidade de intervenção do usuário, possa reconhecer múltiplos objetos quase que simultaneamente

e, preferencialmente, no menor tempo possível. No caso do código de barras o usuário precisa executar manualmente o alinhamento do dispositivo de leitura com o código de barras. Esse processo é lento uma vez que é manual e precisa ser repetido para todos os objetos que se pretende identificar, o que compromete consideravelmente o tempo gasto no processo de identificação.

A tecnologia RFID surge como uma interessante alternativa ao problema de identificação de objetos apresentando-se como uma das mais promissoras tecnologias para identificação de objetos. RFID pode fazer tudo que a tecnologia de código de barras faz e muito mais [3]. Hoje mais de cinco bilhões de códigos de barra são escaneados diariamente em todo o mundo [4], [5], sendo essa apenas uma das operações onde se pode utilizar RFID.

Sistemas RFID simples são compostos, basicamente, pelos seguintes componentes:

- Uma ou mais etiquetas que podem ser classificadas em três tipos: passivas, semi-passivas e ativas. As etiquetas passivas não possuem bateria ou qualquer fonte de alimentação interna. Elas extraem a energia da onda eletromagnética emitida pelos leitores, quando estes enviam mensagens, através de indução eletromagnética. A energia armazenada será utilizada no funcionamento do circuito da etiqueta e no envio dos dados de volta para o leitor. Outras etiquetas possuem baterias em seu esquema elétrico. São denominadas ativas quando retiram toda a energia que necessitam de suas baterias. Assim, geralmente possuem um maior raio de alcance na transmissão de seus dados. Já as etiquetas semi-passivas utilizam a energia extraída da onda eletromagnética emitida pelos leitores somente para o envio dos dados, uma vez que também possuem uma bateria interna que fornece energia para outros módulos de seu circuito;
- Um leitor constituído a partir de um módulo de RF e uma unidade de controle. Suas funções principais consistem em ativar as etiquetas, energizando-as através das ondas eletromagnéticas, estruturar a sequência de comunicação com a etiqueta e transferir dados entre o software aplicativo e as etiquetas [6];

- Um Sistema de Processamento de dados, que pode ser uma simples base de dados ou uma aplicação mais complexa.

Alguns exemplos interessantes de aplicações para o problema de identificação de objetos podem ser [7]: monitoramento de cargas na indústria de transportes, gerenciamento de bagagens em aeroportos, gerenciamento de suprimentos em supermercados, controle de rebanhos e animais. É interessante salientar que o uso da RFID, quando aliada a outras tecnologias, como redes de sensores [8], [9] por exemplo, poderá não só identificar e rastrear objetos como também facilitar na detecção de fatores ambientais como temperatura e pressão, por exemplo.

No processo de identificação em sistemas RFID, o leitor envia uma mensagem requisitando o ID às etiquetas que se encontram ao seu alcance. Quando duas ou mais etiquetas respondem ao mesmo tempo, ocorre a colisão dos sinais provenientes dessas etiquetas, impedindo que o leitor reconheça os IDs enviados [6]. Então, a eficiência do sistema de comunicação está diretamente ligada à relação entre a quantidade de etiquetas a serem identificadas e a quantidade de colisões. Fixando-se o número de etiquetas, quanto maior o número de colisões, menor a eficiência do sistema.

O problema em questão é um caso especial do problema de controle de acesso ao meio em redes sem fio e tem recebido recentemente grande atenção na literatura [10], [11]. As aplicações RFID introduzem um desafio ao problema de acesso ao meio. Isso ocorre, pois, dadas as limitações de baixo poder computacional e limitações de energia em cada etiqueta, torna-se irreal assumir que elas se poderão se comunicar diretamente umas com as outras ou ainda, escutar o canal de comunicação antes de qualquer transmissão e, assim, evitar a colisão de transmissões. Assim sendo, se faz necessária a utilização de um protocolo anti-colisão de etiquetas para reduzir ou resolver os conflitos de transmissão e permitir uma rápida identificação de todos os objetos. Existem diversas propostas de protocolos que tratam o problema de colisão para sistemas RFID, entre elas, as mais populares são baseadas em ALOHA [12],[13],[14],[15],[16],[17],[18],[19],[20],[21] e em Árvore [22],[23],[24],[25],[26],[27],[28],[29],[30],[31]. As estratégias baseadas no protocolo ALOHA são ditas probabilísticas e, em geral, são eficientes quando se trata de poucas etiquetas.

Contudo, quando o número de etiquetas aumenta, a eficiência diminui consideravelmente, dado o aumento na probabilidade da ocorrência de colisões nas transmissões de cada etiqueta, uma vez que existirão mais etiquetas tentando transmitir na mesma fatia de tempo. Já as abordagens baseadas em árvore são determinísticas, garantem 100% de sucesso na identificação das etiquetas que estão ao alcance do leitor, considerando condições ideais como um canal de comunicação sem interferências externas, e que os sinais das etiquetas sempre alcancem o leitor. Em contrapartida, a utilização de abordagens baseadas em árvore faz com que o atraso na identificação aumente exponencialmente em relação ao número de etiquetas a serem identificadas.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação é a proposição de um protocolo de anti-colisão de etiquetas RFID passivas que combine características de protocolos baseados em ALOHA e árvore. O intuito é avaliar os prós e contras que tal abordagem traz no processo de identificação de etiquetas. O foco em etiquetas passivas se deve ao fato de serem as mais utilizadas na maior parte das aplicações por serem as de mais simples implementação e de mais baixo custo.

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Estudar os protocolos de anti-colisão de etiquetas RFID passivas baseados em ALOHA e em árvore, definindo os prós e os contras de cada abordagem;
- Propor uma forma de combinar vantagens de cada abordagem com fins a uma melhor eficiência do processo de identificação;
- Identificar métricas de avaliação de desempenho de sistemas de anti-colisão de etiquetas RFID;
- Avaliar o desempenho do protocolo proposto através de simulação;
- Avaliar os resultados obtidos, identificando os prós e contras do protocolo proposto.

1.3 ORGANIZAÇÃO

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta os conceitos básicos de RFID e os protocolos de anti-colisão de etiquetas baseados em ALOHA e árvore. O Capítulo 3 apresenta em detalhes o protocolo proposto. Inicialmente é apresentada uma visão geral da ideia, seguida de uma descrição detalhada de cada etapa de funcionamento do protocolo. O Capítulo 4 apresenta as métricas de avaliação de desempenho utilizadas e os resultados de simulação obtidos. Em seguida, são apresentados os prós e os contras do protocolo proposto, identificados a partir da análise dos resultados obtidos através de simulação. O Capítulo 5 apresenta as conclusões deste trabalho, suas contribuições e os potenciais trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

RFID E PROTOCOLOS DE ANTI-COLISÃO

Esse capítulo apresenta mais alguns conceitos da tecnologia RFID, bem como os principais problemas encontrados em processos de identificação de múltiplos objetos. Serão expostas as principais técnicas utilizadas em redes clássicas e, posteriormente, serão apresentadas propostas aplicadas para o contexto de sistemas RFID.

2.1 ACESSO MÚLTIPLO AO CANAL DE COMUNICAÇÃO

No começo dos testes e implantações dos sistemas RFID, cada empresa que conseguia uma solução criava um protocolo proprietário, o que implicava em pagamento para uso da tecnologia (*royalties*). Isso resultou em um grande problema: uma vez que cada empresa possuía seu próprio protocolo, isso implicava na impossibilidade de comunicação entre sistemas diferentes [7]. Naturalmente, iniciou-se a busca por padrões, dos quais surgiram os protocolos apresentados a seguir.

Como mencionado anteriormente, o problema do acesso múltiplo consiste em permitir que múltiplos dispositivos compartilhem uma banda passante simultaneamente. Tal situação incorre, naturalmente, na ocorrência de colisões nos sinais emitidos. Por essa razão, se faz necessária a utilização de protocolos de anti-colisão, os quais, para o contexto de comunicação sem fio em geral, são divididos em quatro grandes grupos [2]: SDMA (*Space Division Multiple Access*), FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) e TDMA (*Time Division Multiple Access*).

A técnica SDMA é bastante utilizada em redes celulares, onde as células são áreas irregulares em dispostas torno de uma antena. Seu funcionamento consiste em atribuir faixas de frequência diferentes a regiões (células) adjacentes, de forma a evitar a inter-

freqüência de sinal [32]. Para células distantes (não-vizinhas), pode-se reutilizar a faixa de freqüência. Para isto, o alcance de transmissão da antena deve ser bem ajustado.

Já o FDMA consiste na divisão do espectro de freqüências disponível em faixas relativamente estreitas que são chamados canais. Cada usuário é alocado a um destes canais no momento de realização da chamada. Dessa forma, o meio suportará N usuários onde N é a quantidade de canais, uma vez que toda a banda passante está dividida nestes N canais.

Em se tratando do CDMA, segue o mesmo contexto dos anteriores onde múltiplos usuários compartilham um mesmo canal de comunicação pelo qual precisam enviar informações a um mesmo receptor. O sistema CDMA envolve a multiplexação de uma pluralidade de canais de comunicação que utilizam os códigos de espalhamento espectral, cada canal sendo atribuído um código do espectro de freqüência diferente [33]. No CDMA não ocorre a divisão acima do canal pela freqüência, como no FDMA, mas codifica dados com um código especial associado com cada canal e usa as propriedades construtivas de interferência dos códigos especiais para executar a multiplexação. Assim, vários usuários podem ter acesso ao mesmo tempo à totalidade da banda passante, mas cada usuário deve empregar um único código. Usuários são isolados por códigos diferentes o que possibilita um reuso de freqüências elevado.

Por fim, o TDMA consiste em uma técnica na qual o canal é dividido em *slots* de tempo. Cada usuário recebe um *slot* para transmitir seu sinal naquele intervalo de tempo.

Em sistemas RFID, técnicas TDMA correspondem ao maior grupo de técnicas anti-colisão. A questão a considerar consiste no fato de que as outras possuem uma grande desvantagem considerando a complexidade de implementação, seja ela computacional ou matemática, ou têm um custo muito elevado de implementação, o que não é interessante tendo em vista a proposta dos sistemas de RFID em relação a baratear custos, somada a limitação computacional das etiquetas passivas que são as mais utilizadas. Basicamente, podemos dividir as técnicas TDMA em dois grandes grupos: Orientadas a etiqueta e orientadas a leitor.

Quanto às técnicas orientadas a etiqueta (*tag-driven*), funcionam, geralmente, ass-

incronamente, já que o leitor, não controla a transferência de dados. Por exemplo, em um procedimento ALOHA puro (descrito a seguir em mais detalhes), a etiqueta inicia a transmissão assim que estiver pronta e tiver dados para mandar. Assim que entram no campo eletromagnético, as etiquetas começam a enviar suas IDs automaticamente. Esse comportamento é conhecido na literatura como *tags-talk-first* (TTF) e tem seu oposto no comportamento *readers-talk-first* (RTF), no qual as etiquetas esperam por um sinal do leitor para enviarem seus IDs.

As técnicas orientados à etiqueta são naturalmente muito lentos e inflexíveis. Muitas aplicações, portanto, utilizam técnicas que são controladas pelo leitor (*reader-driven*). Tais técnicas podem ser consideradas como síncronas, já que todas as etiquetas são controladas e verificadas pelo leitor simultaneamente.

Uma etiqueta é unicamente selecionada de um grupo de etiquetas que estão na área de alcance do leitor, utilizando certo protocolo, e então se inicia a comunicação entre a etiqueta selecionada e o leitor (onde ocorrem eventos de autenticação e leitura/escrita de dados). Somente uma relação de comunicação entre a etiqueta selecionada é iniciada por vez, mas as etiquetas podem ser operadas numa rápida sucessão.

Antes de explicar os principais protocolos de cada um desses grupos, é interessante colocar-se o conceito de *polling*. Trata-se do procedimento no qual um nó mestre (no caso o leitor) convida um nó escravo (etiqueta) a transmitir dados naquele turno. Isto requer uma lista de todos os possíveis nós que podem aparecer na aplicação. Essa lista pode ser uma lista pré-definida ou obtida através de um censo dinâmico, que será o caso estudado.

Nesse censo dinâmico, o leitor envia um sinal que é capturado pela antena da etiqueta. Essencialmente, cada leitor somente identifica a informação de uma etiqueta por vez, quando essa consegue transmitir unicamente no canal de comunicação. Ao se tratar de protocolos de anti-colisão, como uma visão generalizada, pode-se apresentar o organograma da Figura 2.1. No próximo capítulo serão apresentados os principais protocolos de anti-colisão.

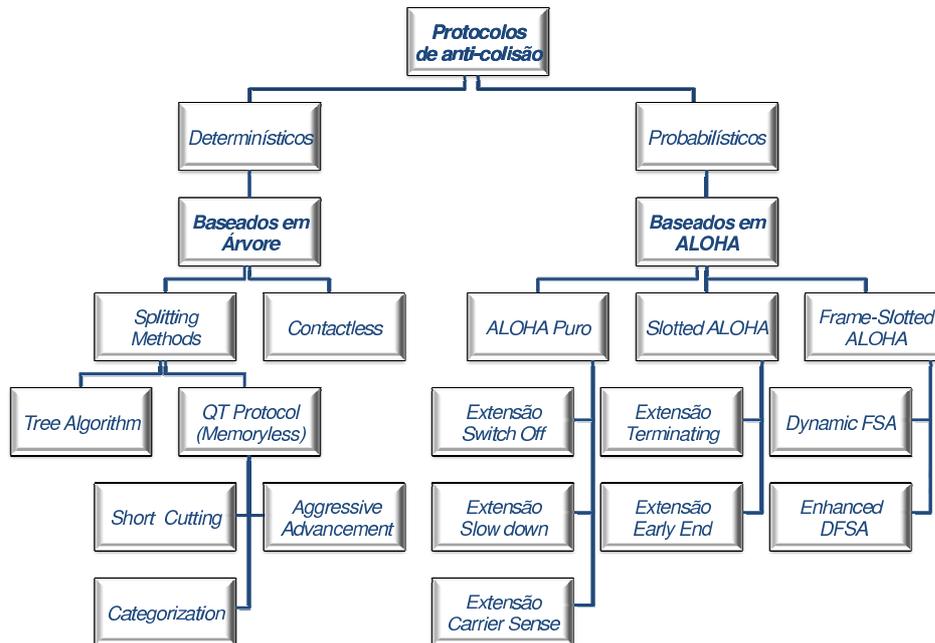


Figura 2.1 Taxonomia dos protocolos de anti-colisão

2.2 RESUMO

Sistemas RFID são organizados de forma bastante simples, sendo baseados na comunicação de etiquetas e leitores. Cada etiqueta armazena informações que serão requisitadas pelo leitor em um dado momento no processo de identificação. Tal informação identificará o objeto ao qual a etiqueta esteja acoplada.

No processo de identificação todas as etiquetas respondem ao leitor ao mesmo tempo, utilizando o mesmo canal de comunicação. Isso ocasiona numa colisão de sinais enviados para o leitor, o que compromete a identificação, uma vez que o leitor não é capaz de identificar mais de uma etiqueta que transmite simultaneamente no mesmo canal de comunicação.

Existem propostas para tratar o problema de colisão que são utilizadas em redes sem fio clássicas, mas que não podem ser similarmente utilizadas para sistema RFID, consideradas as limitações computacionais das etiquetas, e o custo de implementação.

Protocolos de anti-colisão são propostos para melhorar a eficiência nos processos de identificação em sistemas RFID. Estes têm por intuito principal o de prover meios para

que o maior número de etiquetas consiga transmitir seus IDs para o leitor no menor tempo possível.

Etiquetas passivas são alimentadas através de ondas eletromagnéticas enviadas pelos leitores. Dessas ondas é retirada energia para enviar a informação requisitada pelo leitor. Etiquetas ativas possuem uma bateria que fornece toda a energia necessária para a execução de suas tarefas. Existem também as etiquetas semi-passivas que também utilizam a energia adquirida através de indução eletromagnética para a comunicação com o leitor mas utilizam também energia de uma bateria para realização das demais tarefas.

CAPÍTULO 3

TRABALHOS RELACIONADOS

Esse capítulo apresenta alguns trabalhos já desenvolvidos que tratam do problema de colisão de etiquetas passivas em sistemas RFID. Serão apresentados os dois grandes grupos que contêm os protocolos de anti-colisão para RFID mais conhecidos, destacando pontos positivos e negativos de cada grupo.

3.1 PROTOCOLOS DE ANTI-COLISÃO BASEADOS EM ÁRVORE

Um dos grandes grupos de protocolos de anti-colisão é o de protocolos baseados em Árvore. Estes têm por característica a divisão do grupo de etiquetas a serem identificadas em grupos menores, a partir de um determinado filtro. A divisão acontece de forma recursiva até que o grupo seja unitário, o que implicará que a etiqueta pertencente a esse grupo conseguirá transmitir seu ID com sucesso. Diz-se serem técnicas baseadas em árvore uma vez que se pode construir, a partir dos ciclos de requisição de IDs do leitor e respostas das etiquetas, uma estrutura de árvore (geralmente binária) onde cada nó representa o grupo de etiquetas e a situação na qual ele se apresenta naquele momento da execução do protocolo (ciclo em colisão, identificação bem-sucedida, ciclo vazio). As folhas da árvore representam os grupos unitários com as etiquetas identificadas com sucesso. Da utilização de protocolos de anti-colisão baseados em árvore decorre um atraso de identificação relativamente longo, devido à forma como se tratam as colisões no processo de identificação.

Dentre os protocolos baseados em árvore, destaca-se o protocolo QT [27] e suas extensões, que serão apresentadas sucintamente a seguir.

O protocolo QT consiste em ciclos de requisições e respostas. Em cada ciclo o leitor

interroga as etiquetas se algum de seus identificadores contém certo prefixo. Se mais de uma etiqueta responder, então o leitor sabe que existem ao menos duas etiquetas que possuem aquele prefixo. O leitor, então, acrescenta '0' ou '1' ao prefixo, e continua a realizar requisições com prefixos maiores. Quando o prefixo coincide unicamente com uma etiqueta, essa pode ser identificada. Dessa forma segue-se estendendo os prefixos até que todas as etiquetas possam ser identificadas unicamente, através da comparação dos prefixos com seus IDs. A seguir é apresentada uma descrição mais formal do protocolo.

Seja $A = \bigcup_{i=0}^k \{0, 1\}^k$ o conjunto de *strings* binárias com tamanho máximo igual a k . O estado do leitor é dado pelo par (F, M) , onde:

1. A fila F é uma sequência de *strings* em A ;
2. A memória M é um conjunto de *strings* em A .
3. Uma requisição do leitor é uma *string* q em A .
4. Uma resposta de uma etiqueta é uma *string* w em $\{0, 1\}^k$.

Abaixo, tem-se procedimentos do leitor:

Leitor – Por conveniência, define-se que a fila F inicie $\langle \epsilon \rangle$, onde $\langle \epsilon \rangle$ é uma *string* vazia, e a memória M é também vazia inicialmente.

1. Tem-se $F = \langle q_1, q_2, \dots, q_l \rangle$.
2. Envia requisição q_1 para todas as etiquetas.
3. Atualiza $F = \langle q_2, \dots, q_l \rangle$
4. Em recebendo as respostas das etiquetas:

Se a resposta é a *string* w na memória M

Se uma colisão é detectada no canal de comunicação, então a fila F é atualizada para $\langle q_1, q_2, \dots, q_l, q_l 0, q_l 1 \rangle$.

Se não houver resposta, não faz nada.

Repete os procedimentos acima até que F esteja vazia.

Abaixo, tem-se procedimentos da etiqueta:

Etiqueta – Seja $w = w_1, w_2, \dots, w_k$ o ID da etiqueta. Seja q a *string* recebida do leitor. Se $q = \epsilon$ ou $q = w_1, w_2, \dots, w_{|q|}$, a etiqueta envia a *string* w para o leitor.

A Tabela 3.1 consiste nos passos para identificação de quatro etiquetas:

Tabela 3.1 Comunicação entre o leitor e as etiquetas com o protocolo QT

ID: {000, 001, 101, 110}

Passo	Requisição <i>string</i>	Resposta
1	ϵ	Colisão
2	0	Colisão
3	1	Colisão
4	00	Colisão
5	01	Sem resposta
6	10	101
7	11	110
8	000	000
9	001	001

Percebe-se que quando mais de uma etiqueta tenta responder ao mesmo tempo, o leitor detecta uma colisão ao invés de receber as mensagens. Um exemplo de comunicação entre o leitor e as etiquetas no protocolo QT é ilustrado na Tabela 1. Na realidade não é possível para o leitor mandar uma mensagem com uma '*string* vazia'. Portanto, na prática, o protocolo deve iniciar com as *strings* 0 ou 1. Isso somente iria comprometer o desempenho se existisse somente uma etiqueta, se assim não fosse, uma *string* vazia garantiria uma colisão. A Tabela 3.1 pode também ser representada através da seguinte árvore binária exposta na Figura 3.1.

Alguns melhoramentos do QT são apresentados em [27], o mais importante deles, o *Query Tree Short Cutting* (QT-SC) [27], previne que aconteçam requisições que certamente resultariam em colisões. Por exemplo, supondo que uma requisição de prefixo

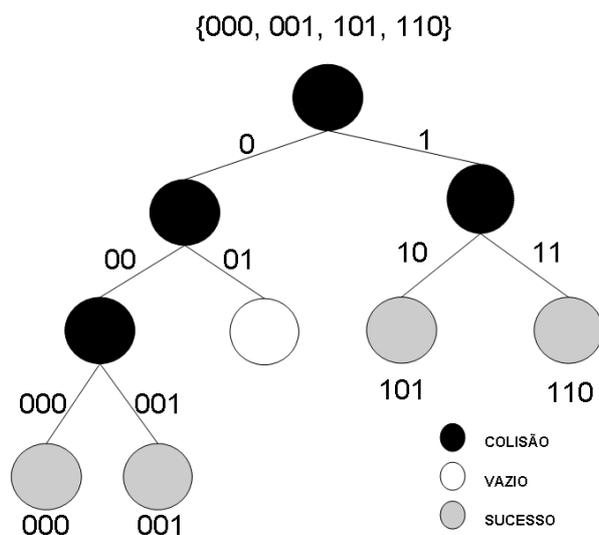


Figura 3.1 Árvore binária representando a execução do QT

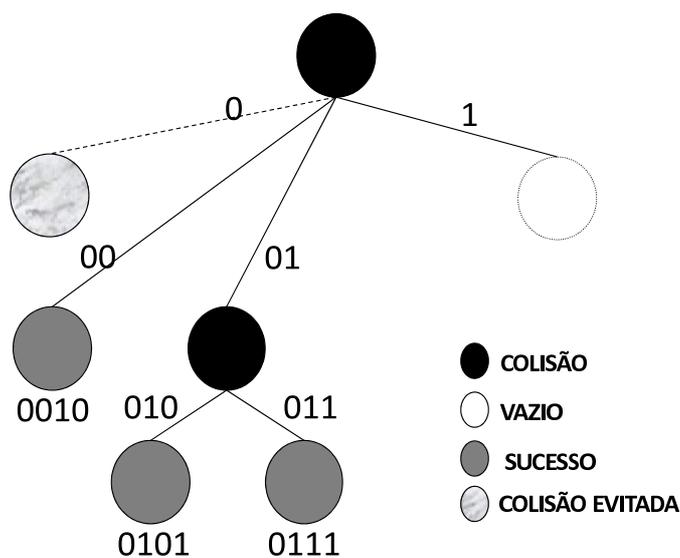


Figura 3.2 Árvore binária representando a execução do QT-SC

”p” resultasse em uma colisão e a requisição de prefixo ”p0” resultasse em um *slot* vazio, então o leitor pula a requisição de prefixo ”p1”, que certamente resultaria em colisão, e realiza diretamente as requisições com os prefixos ”p10” e ”p11”, evitando assim uma requisição desnecessária. Dessa forma percebe-se uma melhoria relevante no sentido de

redução de colisões quando utilizado o protocolo QT-SC, uma vez que dada a ocorrência de um ciclo vazio. A Figura 3.2 exemplifica o funcionamento do protocolo QT-SC.

3.2 PROTOCOLOS DE ANTI-COLISÃO BASEADOS EM ALOHA

Protocolos probabilísticos, nesse projeto, representados pelas estratégias baseadas nos protocolos ALOHA, tem seu funcionamento baseado na redução da probabilidade de ocorrência de colisões, buscando, para isso, fazer com que as etiquetas respondam às requisições do leitor em tempos distintos.

O protocolo ALOHA surgiu na década de 70 como um método para resolver o problema de alocação de canais em uma rede local. Sempre que dois quadros tentam ocupar um canal ao mesmo tempo, ocorre uma colisão e ambos são danificados. De acordo com protocolo ALOHA, quando um transmissor percebe que seu quadro foi destruído, este é reenviado após um período de tempo aleatório. Nessa época, a utilização do protocolo ALOHA, como um protocolo de acesso ao meio desenvolvido para uma rede de radiodifusão via satélite teve por objetivo interligar o computador do centro de computação da Universidade do Havaí aos terminais localizados na mesma ilha ou em outras do mesmo arquipélago. O funcionamento da rede ALOHA era bastante simples e ocorria através de dois canais de comunicação:

Um canal para transmissão do computador aos terminais

- Transmissores: somente o computador central possui transmissor
- Receptores: cada terminal possui um receptor para este canal

Um canal para transmissão dos terminais ao computador

- Transmissores: cada terminal possui um dispositivo transmissor para este canal
- Receptores: somente o computador central possui um receptor

Nas próximas seções, são apresentados os protocolos baseados em ALOHA, para sistemas RFID [16], [21].

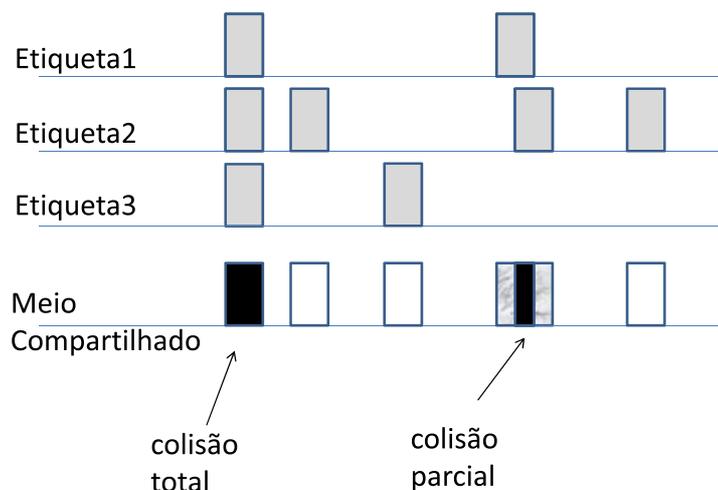


Figura 3.3 Exemplo de execução do ALOHA puro

3.2.1 Protocolo ALOHA Puro

A primeira abordagem do protocolo ALOHA para sistemas RFID é bastante simples. Como as demais, é baseada em TDMA. Funciona da seguinte maneira: uma etiqueta inicia uma transmissão assim que estiver pronta e possua dados para mandar. As etiquetas automaticamente enviam seus IDs ao entrarem na área de alcance do leitor. A Figura 3.3 apresenta o funcionamento do protocolo seguindo o esquema *tags-talk-first* (TTF) mencionado anteriormente.

Existem então, para essa abordagem, duas possibilidades de colisão: completa ou parcial. Na colisão completa uma etiqueta inicia a transmissão exatamente quando outra inicia, colidindo assim completamente os pacotes, o que é mais interessante (ver-se-á posteriormente o porquê), diferente da colisão parcial, que ocorre quando simplesmente uma etiqueta inicia uma transmissão estando o meio compartilhado ainda ocupado com uma transmissão que iniciou anteriormente.

Uma colisão força a etiqueta a cessar a transmissão somente voltando a transmitir depois de um determinado tempo aleatório. Serão vistas agora algumas propostas de extensões para este protocolo, com a finalidade de diminuir este problema.

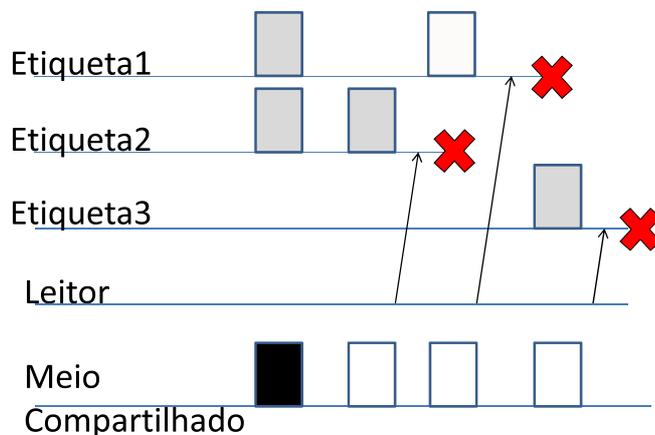


Figura 3.4 Exemplo de execução do *Switch off*

3.2.1.1 Extensão do ALOHA Puro - *Switch off*

O funcionamento da extensão *Switch off* se dá da seguinte forma: uma vez que a etiqueta é identificada com sucesso, essa recebe um comando do leitor e entra no estado de “silêncio” (comando *QUIET*) no qual não transmite mais sua ID ao leitor até que receba um comando de “acordar” (comando *WAKE-UP*). Dessa forma, evitam-se colisões, uma vez que o meio não ficará tão saturado com envio de IDs que já foram identificadas. A Figura 3.4 ilustra o funcionamento dessa extensão.

3.2.1.2 Extensão do ALOHA Puro - *Slow down*

Essa extensão tem por objetivo diminuir a frequência de resposta das etiquetas. Para tanto, o leitor envia um comando de *slow down* para certa etiqueta que o está inundando de respostas. A etiqueta tem, então, a taxa de transmissão de sua ID reduzida aleatoriamente.

3.2.2 Protocolo Slotted ALOHA

Nesse tipo de protocolo ALOHA, tem-se a adição de um limitante ao protocolo visto anteriormente: tem-se a divisão tempo em intervalos discretos chamados *slots*. A Figura 3.5 ilustra essa divisão.

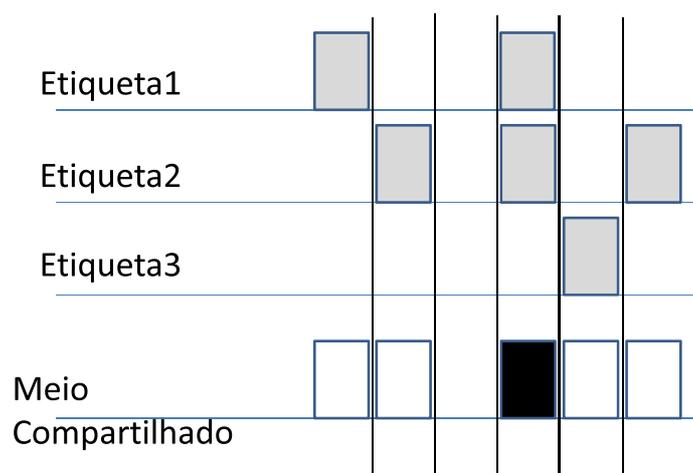


Figura 3.5 Exemplo de execução do *Slotted ALOHA*

Com a introdução desse limitante, as etiquetas ficam forçadas a transmitir somente dentro desse “intervalo de tempo” (que na literatura e neste projeto é chamado de *slot*), que tem a duração aproximada do tamanho de transmissão do ID de uma etiqueta. Ou seja, assim, ou os sinais enviados pelas etiquetas colidem completamente ou não colidem. Isso é bastante interessante uma vez que, uma colisão parcial ocupa mais espaço no meio compartilhado (geralmente mais do que um *slot*) do que uma colisão completa, sendo relevante então limitar as colisões todas a serem colisões completas, como ilustrado na Figura 3.3.

A desvantagem na utilização desse protocolo é a necessidade de haver sincronização, esta podendo ser dinâmica ou estática. Na sincronização dinâmica o leitor envia sinalizadores (*beacons*) de delimitação dos *slots*. Já na sincronização estática, é considerada a existência de um temporizador interno pré-definido nas etiquetas.

3.2.2.1 Extensão do *Slotted ALOHA - Terminating*

Nesta primeira extensão do protocolo *Slotted ALOHA* tem-se a ideia do estado de silêncio utilizada também na extensão *Switch Off* do ALOHA Puro (vide Seção 3.2.1.1). Uma etiqueta encontra-se no estado de silêncio, (ou como também se encontra na literatura, no estado adormecida) quando recebeu um sinal do leitor para que interrompa momentaneamente o envio de sua ID. Isso ocorre quando o leitor recebe com sucesso uma resposta daquela etiqueta ao solicitar sua identificação.

Para retirar as etiquetas do estado de silêncio para um novo ciclo de identificação, o leitor envia o comando de “acordar”. O grande risco da utilização desse método é o fato de que uma etiqueta adormecida que falhar ao reconhecer o comando de acordar do leitor permanece em estado de silêncio por tempo indeterminado. Essa falha pode ocorrer, porque quando o campo de rádio frequência está ativo e emitindo ondas, estas podem ser refletidas e influírem no sinal de acordar, de maneira construtiva ou destrutiva. Isso pode causar “nulos” e “picos” no campo de energia de rádio frequência. Se a etiqueta está em um ponto “nulo”, ela não receberá o sinal de acordar.

3.2.2.2 Extensão do *Slotted ALOHA - Early End*

Nesta extensão, considera-se que a sincronização é dinâmica, ou seja, que os *slots* são determinados pelos sinalizadores enviados pelo leitor. Uma vez que o leitor enviou um sinalizador notificando o início do *slot*, não havendo resposta imediata por parte de nenhuma etiqueta, o leitor pode antecipar o sinalizador que finaliza aquele *slot* reduzindo assim tempo gasto desnecessariamente como ilustrado na Figura 3.6. Tem-se, então, uma provável redução do tempo total de identificação.

3.2.3 Protocolo *Frame-Slotted ALOHA*

O *Frame-Slotted ALOHA* pertence à classe de protocolos probabilísticos, que têm por princípio, semelhante às demais protocolos, a redução da probabilidade de ocorrência de

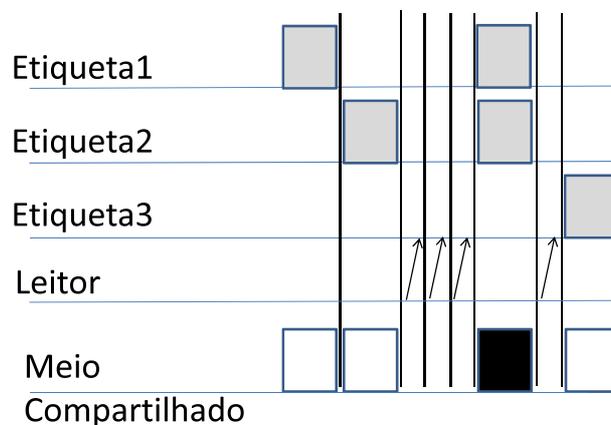


Figura 3.6 Exemplo de execução da extensão *Early End*

colisões, buscando, para isso, fazer com que as etiquetas respondam às requisições do leitor em tempos distintos. A idéia básica desse protocolo consiste no agrupamento de *slots* em frames, onde cada *frame* contém um número N (fixo ou variável, pré-definido ou dinamicamente definido, dependendo da extensão aplicada) de *slots*. Entende-se por *slot* o intervalo de tempo necessário para a transmissão completa do identificador da etiqueta para o leitor.

No *Frame-Slotted ALOHA*, as etiquetas transmitem exatamente uma vez em cada *frame* em um *slot* selecionado aleatoriamente. Observam-se, como vantagens sobre seu antecessor, o *Slotted ALOHA*, a limitação da frequência de resposta das etiquetas, o que diminui o risco de colisão, e, se a quantidade necessária de envios dos identificadores for menor, conseqüentemente, tem-se um menor *overhead*. Cada etiqueta transmite seu identificador para o leitor no *slot* de um *frame* e o leitor identifica a etiqueta quando recebe esse identificador sem colisão.

Quando utiliza-se um tamanho de *frame* fixo, não mudando esse tamanho durante o processo de identificação das etiquetas, tem-se a versão básica do *Frame-Slotted ALOHA*. Nessa versão, o leitor envia às etiquetas informações sobre o tamanho do *frame* e um número aleatório que será usado para selecionar um *slot* no *frame*. Se a etiqueta estiver

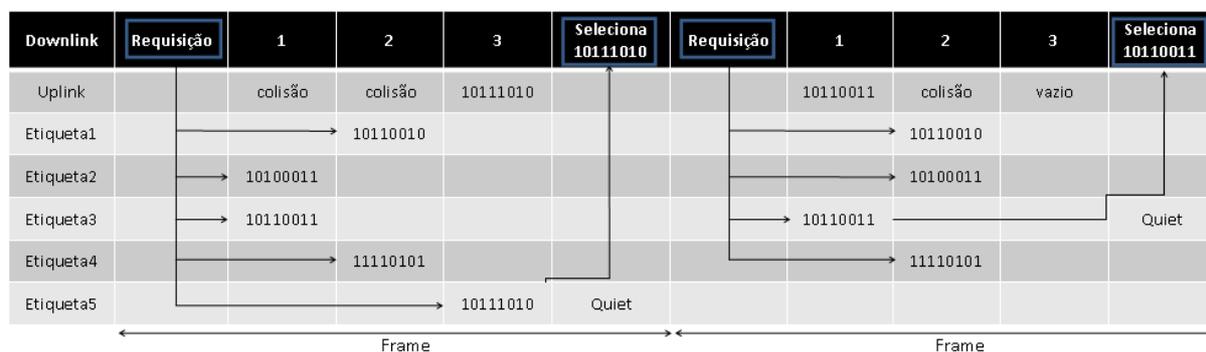


Figura 3.7 Funcionamento do *Frame-Slotted* ALOHA

alocada sozinha naquele *slot* (não havendo, desta forma, colisão) ela responde ao leitor através daquele *slot*. Se existirem muitas etiquetas a serem identificadas, as chances de ocorrerem colisões nessa versão aumentam bastante, tornando-o inviável. A Figura 3.7 apresenta um exemplo de funcionamento do FSA.

Percebe-se que o tamanho do *frame* é de três *slots*. No primeiro ciclo de leitura, observa-se que as etiquetas 2 e 3 colidem, ambas transmitindo no *slot* 1, bem como as etiquetas 1 e 4 colidem transmitindo no *slot* 2, enquanto a etiqueta 5 transmite sozinha com sucesso no *slot* 3. A etiqueta 5, que conseguiu transmitir seu ID com sucesso, é então enviado um comando de silenciamento (*QUIET command*) para que ela não mais responda nos próximos ciclos, até que receba um comando *Wake-Up* e volte a responder às requisições. É iniciado então um novo ciclo de leitura, ainda considerando o número de três *slots* no *frame* e quatro etiquetas restantes a serem identificadas. Nesse ciclo, a etiqueta 3 transmite sozinha no *slot* 1 enquanto as outras três colidem no *slot* 2. Observa-se que nenhuma etiqueta selecionou o *slot* 3 para transmitir, o que ocasiona assim em um *slot* vazio. Da mesma forma que no primeiro ciclo, a etiqueta 3 é identificada com sucesso e silenciada. Dessa forma seguem os ciclos de leitura até que todas as cinco etiquetas tenham sido identificadas com sucesso.

Abaixo se tem descritos os procedimentos realizados pelo leitor e pelas etiquetas no FSA.

Procedimentos do *Frame-Slotted* ALOHA

Início-ProcedimentosLeitor

1. Leitor define t , o tamanho máximo do *frame*
2. ENQUANTO (existem etiquetas não identificadas) FAÇA
 - (a) Leitor solicita identificador das etiquetas enviando uma requisição $C(t)$, com o t especificado no Passo 1.
 - (b) $ProcedimentosEtiqueta = C(t)$
 - (c) Leitor recebe os identificadores das etiquetas que receberam a requisição.
 - (d) Leitor envia comando QUIET para as etiquetas que tiveram seus identificadores reconhecidos.

Fim-ENQUANTO

Fim-ProcedimentosLeitor

Início-ProcedimentosEtiqueta

1. Recebe a requisição $C(t)$ do leitor
2. Gera um número aleatório s a partir do tamanho t do *frame*, que consiste no *slot* de envio
3. Envia ao leitor a resposta $R(ID)$ no *slot* s , onde ID é o identificador da etiqueta.

Fim-ProcedimentosEtiqueta

3.2.3.1 Extensão do FSA - *Dynamic Frame-Slotted* ALOHA

Nesta extensão do *Frame-Slotted* ALOHA, também vista na literatura como *Adaptive Frame-Slotted* ALOHA, a principal contribuição é a alteração dinâmica do tamanho do *frame* para uma identificação mais eficiente. O número de *slots* utilizados para identificar

a etiqueta e o número de *slots* nos quais foram detectadas colisões são as informações utilizadas para determinar o tamanho do *frame*. A partir dessas informações, propõem-se duas alternativas [16]:

- O primeiro regula o tamanho do *frame* usando o número de *slots* vazios, o de *slots* em colisão e o de *slots* com uma etiqueta. Para isso ele estipula limiares (*threshold*). Se o número de etiquetas é grande, o leitor altera o tamanho do *frame* para diminuir a probabilidade de colisão
- O segundo começa o ciclo de leitura com o tamanho do *frame* iniciando setado em 2 ou 4. Se nenhuma etiqueta for identificada, ele aumenta o tamanho do *frame* e inicia outro ciclo de leitura. Repete isto até que pelo menos uma etiqueta seja identificada. Quando isso acontecer ele imediatamente para o ciclo de leitura e inicia a leitura de outra etiqueta com tamanho do *frame* inicial mínimo.

O principal problema encontrado é que, apesar do protocolo ganhar eficiência, porque o tamanho do *frame* pode ser regulado de acordo com o número de etiquetas, se este número for muito grande, o tamanho do *frame* não poderá crescer indefinidamente.

3.3 RESUMO

Em geral, protocolos anti-colisão são divididos em protocolos baseados em Árvore em em ALOHA. Os protocolos baseados em árvore seguem o princípio da divisão do universo de etiquetas a serem identificadas em grupos cada vez menores, até que se cada grupo possua somente uma etiqueta. Naquele grupo, a etiqueta poderá transmitir seu ID com sucesso, uma vez que transmitirá sozinha no canal de comunicação. Protocolos baseados em ALOHA buscam dividir de maneira aleatória o canal de comunicação, para que cada etiqueta transmita em momentos temporais distintos, tentando assim evitar colisões que acontecem quando mais de uma etiqueta transmite simultaneamente.

Um dos principais protocolos baseados em Árvore é o protocolo QT (*Query Tree*). Seu funcionamento é bastante simples: o protocolo QT divide o universo de etiquetas a serem identificadas pelo leitor, valendo-se de um filtro. Para filtrar as etiquetas que irão ou não transmitir para dada requisição de um leitor, o protocolo QT acrescenta

a requisição um condicionante: a etiqueta só responde a requisição do leitor, enviando seu ID, se os n primeiros *bits* de seu ID coincidam com os *bits* de um dado prefixo p de tamanho n . Tal prefixo vai sendo incrementado, seguindo o caminho de uma árvore binária de busca, aumentando assim o filtro e diminuindo o número de etiquetas que possuem aquele prefixo, até que nas folhas dessa árvore não hajam mais eventos de colisão, mas grupos com somente uma etiqueta. Tal grupo será identificado com sucesso. Quando o a requisição não resultar em resposta alguma, é sinal que nenhuma das etiquetas possui aquele prefixo, portanto o leitor abandona aquele galho da árvore e continua enquanto houver eventos de colisão.

Uma melhoria proposta para o QT [27], chamada QT-SC (*Query Tree Short Cutting*), visa diminuir o número de colisões, evitando requisições que certamente ocorreriam em colisão. Dada a existencia de um evento vazio, que sucede de um evento de colisão, o outro evento que sucederia esse primeiro evento em colisão, logicamente, também seria uma colisão, uma vez que as etiquetas a responderem a requisição seriam as mesmas do evento anterior. Nesse caso, o protocolo antecipa-se ao evento e incrementa mais um *bit* ao prefixo na próxima requisição, evitando assim um evento de colisão certo.

Os protocolos baseados em ALOHA surgiram a partir da necessidade de dispositivos de comunicação sem fio trocarem informações entre si, compartilhando o mesmo canal de comunicação. Para isso, os dispositivos precisariam transmitir em tempos distintos de forma que melhor se aproveite o tempo total no canal de comunicação. A primeira proposta baseada em ALOHA, a versão básica do protocolo para sistemas RFID, consiste no princípio que as etiquetas transmitem suas informações assim que estiverem prontas, ou seja, possuam energia para tal. Se mais de uma etiqueta transmitir ao mesmo tempo, ambas esperam um tempo aleatório e voltam a transmitir em seguida. Para problemas como transmissão ininterrupta das etiquetas, frequência de transmissões, colisões parciais, são propostas extensões para o protocolo ALOHA básico. Entre as extensões, destaca-se a do *Slotted ALOHA*, que consiste em atribuir uma limitação na transmissão das etiquetas. Cada etiqueta transmite obedecendo um determinado intervalo de tempo (*slot*) definido a partir de sinalizadores de início e fim, ou a partir de temporizadores internos nas etiquetas.

Posteriormente surge o protocolo baseado em ALOHA mais utilizado atualmente, o *Frame-Slotted ALOHA*, que introduz a ideia de *frame*, que consiste num grupo de *slots*. Cada etiqueta transmite somente uma vez em cada *frame*, selecionando aleatoriamente o *slot* no qual transmitirá. Desta forma, naturalmente já limita-se a frequência de transmissão das etiquetas. Para o problema do tamanho do *frame*, propõe-se a alteração do tamanho do no *frame*, no novo ciclo de leitura, a depender da estimativa da quantidade de etiquetas no último *frame*.

CAPÍTULO 4

ALOHAQT: O PROTOCOLO PROPOSTO

Como visto nos capítulos anteriores, existem diversas propostas de protocolos de anti-colisão para etiquetas passivas que apresentam bom desempenho na identificação de grupos de etiquetas, porém tais protocolos perdem eficiência consideravelmente em situações onde a quantidade de etiquetas a serem identificadas é muito grande. Por exemplo, uma loja de departamento, que trabalha com venda de CDs, e que tal loja receba carregamentos com caixas de 2000 CDs. É possível, a partir da tecnologia RFID, identificar todos os 2000 CDs etiquetados em tempo extremamente menor do que se a identificação fosse feita um a um a partir do código de barras. Para tanto, é interessante que um protocolo possa manter-se eficiente também em situações como essa.

A seguir será apresentado um protocolo para identificação de etiquetas passivas cuja ideia básica consiste em uma forma híbrida de resolução para o problema de colisão de etiquetas em sistemas RFID. O funcionamento é basicamente composto por duas fases: particionamento e identificação. Nessas fases, são utilizados dois protocolos dos dois grandes grupos de protocolos anti-colisão, sendo na primeira fase um protocolo baseado em ALOHA e na segunda fase de um protocolo baseado em Árvore. A proposta consiste em uma forma determinística para a resolução de colisões utilizando-se inicialmente de um protocolo probabilístico. Tais protocolos são propostos para otimizar o processo de identificação, procurando assim, colocar em um procedimento misto, características relevantes das duas abordagens. O intuito principal é o de melhorar a eficiência do processo de identificação, propondo assim, um protocolo determinístico que apresente um desempenho melhor do que os existentes, considerando para isso, a redução na ocorrência de colisões e no atraso de identificação comum a tal classe de protocolos.

Propõe-se, portanto, resolver a colisão tão logo ela aconteça. Tal iniciativa pode ser

justificada a partir do seguinte exemplo: no protocolo *Frame-Slotted* ALOHA duas etiquetas que não colidiram em um determinado *frame*, mas também não foram identificadas com sucesso nesse *frame* (possivelmente por terem colidido com outras etiquetas) podem colidir no próximo *frame*, uma vez que a colisão não foi resolvida assim que aconteceu, mas ao contrário, todas as etiquetas em colisão serão interrogadas novamente no próximo ciclo de leitura. A partir desse exemplo percebe-se a vantagem da resolução imediata da colisão, como é proposto nessa abordagem através do seguinte princípio: uma vez que ocorreu uma colisão em um determinado *slot* somente as etiquetas envolvidas nessa colisão participarão do próximo ciclo de leitura, resultando assim em um melhor desempenho. Para alcançar essa melhoria no desempenho do processo de identificação, procura-se dividir o total de etiquetas que estão ao alcance de leitura, as que se pretende identificar, em grupos menores, diminuindo com isso, conseqüentemente, a ocupação do canal de comunicação simultaneamente, dado que menos etiquetas transmitirão, possibilitando assim a redução de colisões.

A proposta é dividida em duas fases: uma primeira fase onde se dá o particionamento das etiquetas que se encontram no alcance de comunicação do leitor e uma segunda fase, onde é aplicado a cada um dos grupos formados na primeira fase um protocolo de anti-colisão determinístico.

4.1 VISÃO GERAL

A proposta baseia-se no aproveitamento das vantagens de abordagens probabilísticas e determinísticas. Para tanto se utiliza como representante probabilístico, um protocolo baseado em ALOHA e como representante determinístico, um protocolo baseado em Árvore. O método consiste na rápida divisão do total de etiquetas a serem identificadas em grupos menores, utilizando para isso o protocolo probabilístico. A partir de então, será aplicado o protocolo determinístico para resolver as colisões em cada grupo formado na primeira etapa. Ao final, todas as etiquetas terão sido identificadas.

O representante probabilístico baseado em ALOHA será o protocolo *Frame-Slotted* ALOHA, citado na Seção 2. Tal protocolo é amplamente estudado na academia, bem

como algumas de suas variações, sendo inclusive bastante utilizado também comercialmente. Optou-se por usar a versão básica do protocolo, que não necessita do cálculo da estimativa da quantidade de etiquetas, nem do ajuste do tamanho do *frame*, uma vez que o protocolo básico já supre as necessidades da proposta, como será exposto posteriormente.

Como representante determinístico, tem-se o protocolo *Query Tree* também citado no Capítulo 3. Esse protocolo apresenta uma boa aceitação no ambiente acadêmico e comercial, sobretudo quando implementado com uma de suas variações (o *Query Tree Short Cutting*), pela qual se obtém uma redução considerável da quantidade de colisões no processo de identificação.

Um sistema RFID consiste de um leitor e um conjunto de n etiquetas. Cada etiqueta $i \in 0, \dots, n - 1$ tem uma identificação única (ID) $t_{id} \in \{0, 1\}^k$, onde k é o tamanho da ID. Assume-se que o leitor não possui a informação prévia do número n de etiquetas que estão ao seu alcance de leitura. A proposta é dividida em duas fases: uma primeira fase onde se dá o particionamento das etiquetas que se encontram no alcance de comunicação do leitor e uma segunda etapa, onde aplica-se a cada um dos grupos formados por esse particionamento um protocolo anti-colisão determinístico.

Nas próximas subseções será apresentado em detalhes, o funcionamento do protocolo proposto, considerando as fases de particionamento e identificação.

4.2 PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO

No protocolo proposto o processo de identificação das etiquetas que estão ao alcance do leitor se dá a partir da execução de duas fases, sendo em cada uma delas utilizado um protocolo de uma das abordagens citadas anteriormente. Na primeira fase, denominada fase de particionamento, é utilizado o protocolo probabilístico *Frame-Slotted ALOHA* e na segunda fase, denominada fase de identificação, será iniciado o processo de identificação propriamente dito, a partir da execução de um protocolo determinístico, para o caso desse trabalho, foi utilizado o protocolo QT, juntamente com uma de suas extensões propostas, o QT-SC (citado também no Capítulo 3). A seguir uma descrição mais detalhada das

fases do processo de identificação.

4.2.1 Fase de Particionamento

Esta fase ocorre como em qualquer protocolo baseado no *Frame-Slotted* ALOHA, porém com um intuito diferente. O primeiro ciclo de leitura tem por intuito principal não só o de identificar as etiquetas, mas, sobretudo, o de dividir as etiquetas que estão ao alcance do leitor em grupos. Um ciclo de leitura consiste de dois passos: no primeiro passo o leitor envia uma requisição para todas as etiquetas que estão ao seu alcance solicitando que enviem suas respectivas IDs. Nessa mensagem de requisição, o leitor especifica o tamanho do *frame* (l_i), no qual as etiquetas vão enviar os dados. No segundo passo cada etiqueta que está ao alcance do leitor seleciona seu *slot* de resposta através da geração de um número aleatório que pertence ao intervalo $[1, \dots, l_i]$ e transmite seu ID naquele *slot*. O leitor identifica a etiqueta quando recebe seu ID sem colisões, ou seja, quando aquela etiqueta é a única a transmitir naquele *slot* selecionado.

No primeiro ciclo de leitura tem-se que cada etiqueta possui um número aleatório, informação que remete a duas outras: tal número precisa ser guardado pela etiqueta, o que exige dessa então, como de outras etiquetas que utilizam outras abordagens baseadas no *Frame-Slotted* ALOHA, que ela possua uma quantidade mínima de memória, diferindo assim das etiquetas utilizadas em protocolos como o QT, onde as etiquetas são memoryless. Uma vez que cada etiqueta possui tal número, a divisão dos grupos já é feita naturalmente, considerando que as etiquetas que possuírem o mesmo número, farão parte do mesmo grupo. Outra consideração importante é que só existirá um grupo se naquele determinado *slot* mais de uma etiqueta tentou transmitir, o que ocasiona uma colisão, ou seja, não existirão grupos com somente uma etiqueta; neste caso a etiqueta já será identificada com sucesso já na fase de particionamento, sendo, portanto, enviado a essa o comando de silenciamento (*QUIET command*).

Finalizada a fase de particionamento, dado que os grupos já estão devidamente divididos, dá-se início a segunda fase do protocolo: a identificação das etiquetas dos grupos um a um através da aplicação do protocolo anti-colisão determinístico.

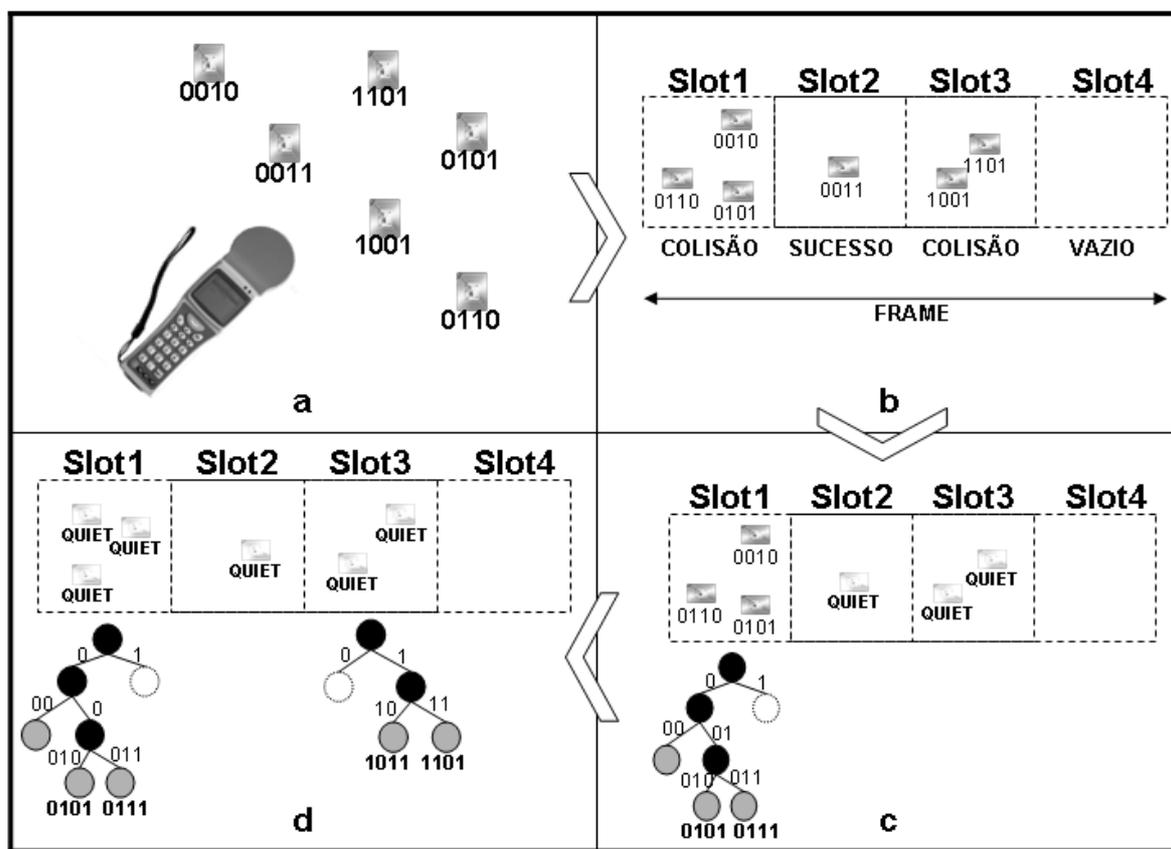


Figura 4.1 Exemplo de execução do ALOHAQT

4.2.2 Fase de Identificação

A partir dessa etapa, até a conclusão do processo de identificação, não se utilizará mais o protocolo *Frame-Slotted* ALOHA. Nesta fase o processo acontece de forma bastante simples. Uma vez que os grupos já foram devidamente definidos na fase anterior, contando possivelmente, inclusive, com algumas etiquetas já identificadas, chega o momento de aplicar a cada grupo (que possui naturalmente menos etiquetas que o universo inicial de leitura do leitor).

A Figura 4.1 mostra, passo a passo, a execução do protocolo. A Figura 4.1d mostra a situação do ambiente ao final do processo de identificação, já identificadas as seis etiquetas que estavam ao alcance do leitor.

Em cada *slot* que ocorreu colisão no primeiro ciclo de leitura, será aplicado o protocolo

anti-colisão às etiquetas que formaram um grupo a partir deste fato. Neste trabalho foram aplicados dois protocolos citados na seção 2, o *Query Tree* (QT) e o *Query Tree Short-Cutting* (QT-SC). Na Figura 4.1 os procedimentos são descritos para a versão utilizando o protocolo QT. A única diferença para a outra versão é a substituição, na fase de identificação, do protocolo QT pelo QT-SC.

Pelo fato de não mais voltar-se ao *Frame-Slotted* ALOHA, fica clara a não necessidade de calcular a estimativa das etiquetas para o próximo ciclo de leitura (como é feito com algumas extensões do FSA) uma vez que, divididos os grupos, o que se resta a fazer é tão somente aplicar o protocolo anti-colisão a cada um dos grupos, obtendo-se, ao final da segunda fase, a identificação de todas as etiquetas que estavam ao alcance de leitura do leitor. Na próxima seção será descrita a análise de desempenho realizada.

4.3 RESUMO

O protocolo proposto consiste em atribuir eficiência ao processo de identificação a partir da utilização de dois protocolos anti-colisão com características distintas, aproveitando-se das qualidades de cada um. Propõe-se, inicialmente, a divisão do universo total de etiquetas em grupos menores. Posteriormente é aplicado outro protocolo de anti-colisão a cada um dos grupos formados, completando assim o processo de identificação.

O funcionamento do protocolo é dividido em duas fases: fase de particionamento e fase de identificação. Em cada uma das fases é utilizado um protocolo de anti-colisão diferente. Na fase de particionamento é utilizado um protocolo de anti-colisão baseado em ALOHA, enquanto na fase de identificação é utilizado um protocolo de anti-colisão baseado em *Árvore*. Dessa forma, o protocolo propõe uma solução determinística para o problema de colisões utilizando-se também de características probabilísticas.

Na fase de particionamento, é utilizado o protocolo *Frame-Slotted* ALOHA para a divisão dos grupos, que ocorre da seguinte forma: no primeiro ciclo de leitura cada etiqueta que se encontra no alcance de leitura, seleciona um slot para transmitir naquele ciclo. Ao final do ciclo de leitura, naturalmente, todas as etiquetas que selecionaram slots para transmitir são divididas em grupos, sendo cada grupo representado pelo número do *slot*

selecionado por essa etiqueta. É possível que já nesse primeiro ciclo de leitura, algumas etiquetas sejam identificadas com sucesso, se transmitirem sozinhas no *slot* selecionado. Caso isso não ocorra, as etiquetas em colisão no *slot* referido constituirão um grupo que será identificado na próxima fase de execução do protocolo.

Na fase de identificação, a cada grupo de etiquetas que colidiram no primeiro ciclo de leitura é aplicado o protocolo QT (ou o protocolo QT-SC), realizando assim, grupo a grupo, a identificação de todas as etiquetas que colidiram no primeiro momento. Desta forma conclui-se o processo de identificação, observando um menor número de colisões, considerando-se que grupos com menos etiquetas saturam menos o canal de comunicação, sendo mais eficiente a execução do protocolo de anti-colisão em grupos com menos etiquetas, favorecendo assim o protocolo proposto.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Foi implementado o protocolo ALOHAQT, descrito anteriormente, juntamente com os protocolos *Query Tree* (QT) [27] e *Query Tree Short-Cutting* (QT-SC) [27]. Também foi implementada uma versão chamada ALOHAQT-SC, que difere da primeira basicamente pela utilização do protocolo QT-SC como protocolo anti-colisão determinístico usado na fase de identificação em lugar do protocolo QT. Os cenários foram gerados e os protocolos implementados e simulados com uma ferramenta desenvolvida em C.

5.1 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

Como métricas de desempenho foram utilizadas: complexidade de tempo, representada pelo número total de *slots uplink* utilizados para transmissões de etiquetas para o leitor (o que inclui *slots* vazios, *slots* em colisão e *slots* nos quais as etiquetas foram identificadas com sucesso), a quantidade de ciclos que resultaram em colisões e de ciclos vazios (sem respostas) no processo de identificação.

Para o protocolo QT e para o protocolo QT-SC, o número total de *slots uplink* equivale ao número de requisições enviadas para leitor. As métricas de avaliação foram estudadas em função do número total de etiquetas a serem identificadas pelo leitor.

Pretende-se apresentar como melhoria na proposta a redução considerável do número de colisões que ocorrem no processo de identificação. Considerem-se os seguintes gráficos da Figura 5.1 com as probabilidades médias de colisão, obtido a partir da execução dos protocolos para todos os casos possíveis para IDs das etiquetas com tamanho três e quatro *bits*. Optou-se pela escolha desses tamanhos, para que se pudessem avaliar todas as possibilidades de combinação de quantidades de etiquetas por grupo e possíveis IDs

em cada grupo. O protocolo proposto (ALOHAQT) foi utilizado de maneira simples, dividindo as etiquetas em apenas dois grupos (ou seja, o tamanho do *frame* é de dois *slots*).

Considera-se no eixo x , a razão entre o número n de etiquetas que está sendo aplicado o protocolo pelo número N máximo possível de etiquetas, de acordo com o tamanho do ID (por exemplo, para três *bits*, o número N máximo de etiquetas é oito). A Figura 5.1 apresenta dois gráficos que mostram a probabilidade média de ocorrência de colisões para todos os possíveis cenários criados com etiquetas com tamanhos de IDs de 3 e *bits*.

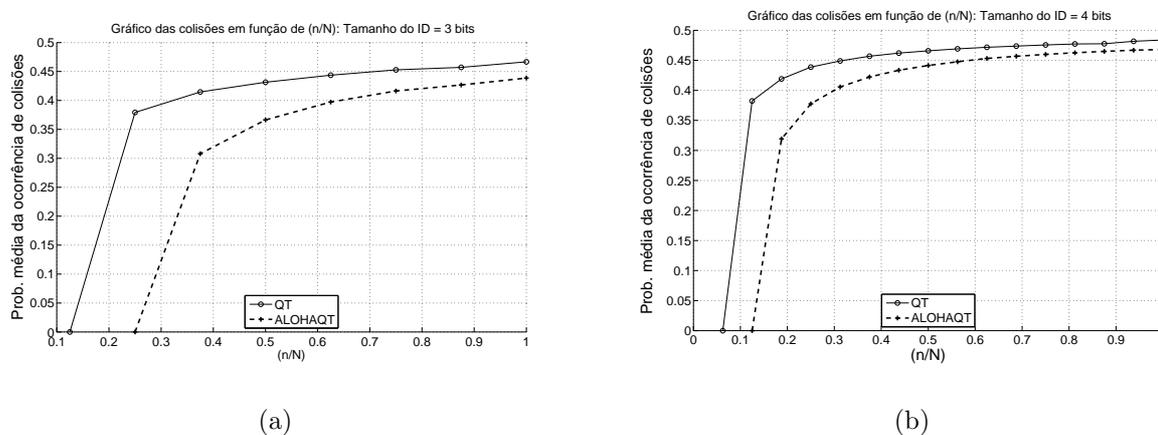


Figura 5.1 Relação da probabilidade média da concorrência de colisões para cenários com etiquetas com IDs de 3 e 4 *bits*

Foram realizadas simulações com todos os possíveis casos para etiquetas com IDs de três e quatro *bits*, variando a quantidade de etiquetas. A proposta foi a de analisar a probabilidade média de ocorrência de colisão. A partir da análise da Figura 5.1 observa-se que a probabilidade média de ocorrência de colisões, ao utilizar-se o protocolo proposto (ALOHAQT), tende a ser menor do que se utilizado o protocolo QT. A partir dessa conclusão, percebe-se a tendência na diminuição do número de colisões no processo de identificação, quando se utiliza o protocolo proposto, valendo-se da divisão do universo total de etiquetas, nesse exemplo, em pelo menos dois grupos.

5.2 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Nesse trabalho foram simulados cenários com um leitor e até 1800 etiquetas, com IDs de 128 *bits* e, no caso do protocolo proposto, *frame* inicial de tamanhos 128, 256 e 512 *slots*. Para cada cenário foram realizadas vinte simulações com geração aleatória dos IDs das etiquetas a serem identificadas. Para estes primeiros resultados a simulação ocorreu com os seguintes parâmetros: tamanho do ID das etiquetas igual a 128 *bits*; tamanho do *frame* inicial igual a 256 *slots*.

Considerando a métrica do número de *slots* (sentido *uplink*) necessários no processo de identificação total das etiquetas ao alcance do leitor (considerando 'n', o número de etiquetas), percebe-se também uma considerável redução em se comparando o protocolo proposto com os protocolos baseados em ALOHA, a partir da análise da Figura 5.4, que mostra a comparação do ALOHAQT (e sua extensão, ALOHAQT-SC) com o protocolo *Dynamic Frame-Slotted* ALOHA (DFSA) descrito em [16]. Percebe-se que a tendência de uma melhora ainda maior para grupos com mais de 1000 etiquetas.

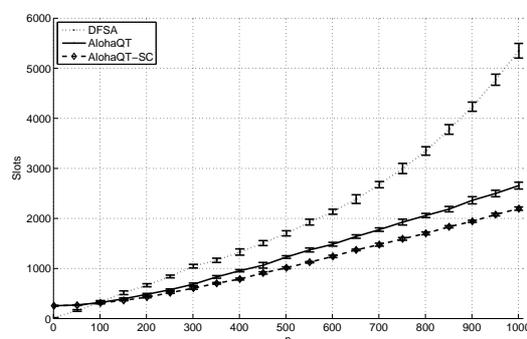


Figura 5.2 Total de *slots* necessários para identificar até 1000 etiquetas para os protocolos baseados em ALOHA

A Figura 5.4 expõe os gráficos relacionados à métrica número de *slots* (considerando o sentido *uplink*) necessários no processo de identificação total das etiquetas ao alcance do leitor (considerando n o número total de etiquetas). a Figura 5.3(a) percebe-se uma redução no número de *slots* necessários, o que fica mais evidenciado nas Figuras 5.3(b) e 5.3(c), onde é apresentada a melhoria, em termos percentuais, em relação aos protocolos

QT e QT-SC. Na Figura 5.3(b) é estabelecida uma comparação do protocolo proposto ALOHAQT (que utiliza o protocolo QT, como descrito anteriormente) com o próprio protocolo QT. De forma semelhante é apresentada a comparação do protocolo proposto ALOHAQT-SC com o protocolo QT-SC. O intuito básico é mostrar que, a partir da aplicação da técnica proposta, constata-se contribuição relevante considerada a métrica número de *slots* necessários para identificação de todas as etiquetas ao alcance do leitor.

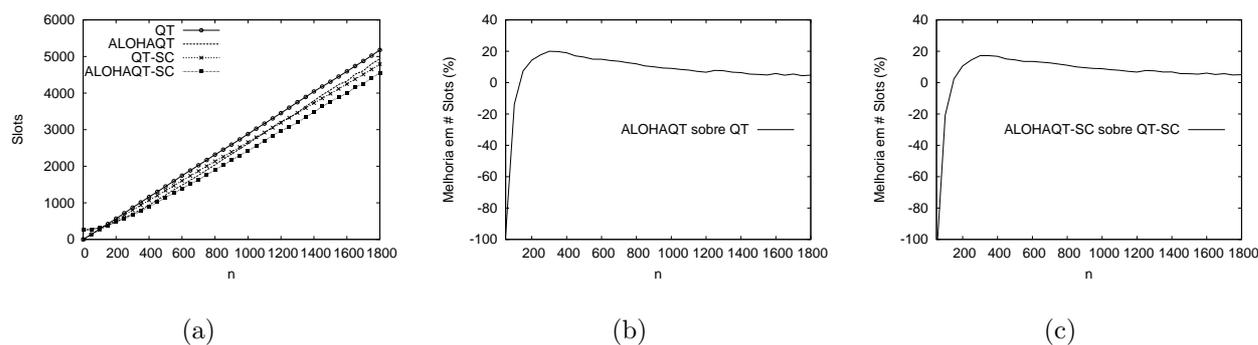


Figura 5.3 (a) número de *slots* (b) e (c) melhoria no número de *slots* para $n \geq 50$

A Figura 5.4 mostra os gráficos relativos ao número de colisões ocorridas no processo de identificação. Na Figura 5.4(a), tomando o protocolo proposto ALOHAQT-SC como base, percebe-se que esse possui um menor número de colisões em praticamente todos os grupos de etiquetas utilizados na simulação. Já o protocolo proposto ALOHAQT apresenta tal vantagem sobre os protocolos QT e QT-SC até grupos com aproximadamente 1000 etiquetas, a partir do qual o mesmo perde desempenho em relação ao protocolo QT-SC, mas mantém o número de colisões consideravelmente menor em relação ao protocolo QT. Nas Figuras 5.4(b) e 5.4(c), é apresentada a melhoria em termos percentuais dos protocolos propostos em relação aos que são utilizados em sua implementação.

Percebe-se que o protocolo proposto ALOHAQT apresenta uma melhoria mínima de aproximadamente 10% em relação ao protocolo QT, considerando o número de 1800 etiquetas, que já pode ser considerado um campo denso. Na Figura 5.4(c) percebe-se que a melhoria é também mantida até na execução do protocolo com o grupo no qual o número de etiquetas é igual a 1800. Com isso, percebe-se que, a partir da aplicação da técnica proposta, existe contribuição relevante considerada a métrica do número de

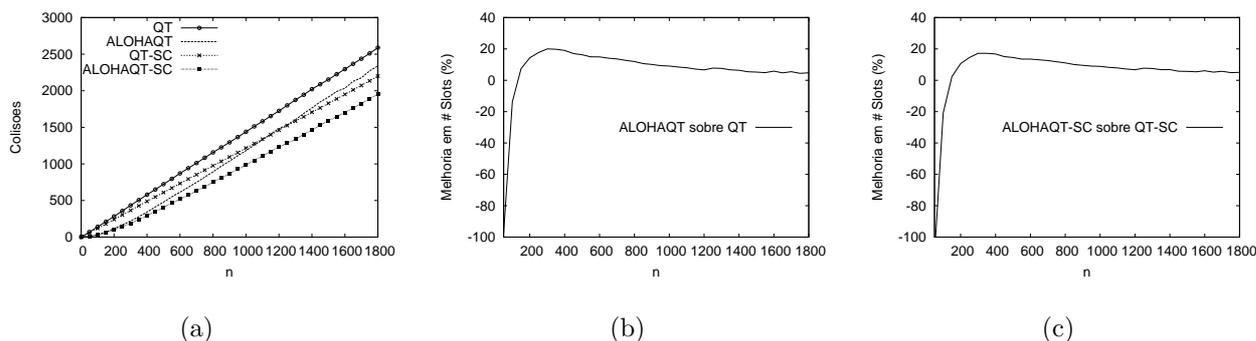


Figura 5.4 (a) número de colisões (b) e (c) melhoria no número de colisões

colisões no processo de identificação de todas as etiquetas ao alcance do leitor.

Quanto a ciclos vazios, entende-se por ciclos de requisição nos quais o leitor não recebe respostas das etiquetas. No caso do protocolo QT isso acontece quando o prefixo enviado na requisição do leitor não coincide com as iniciais do ID de nenhuma das etiquetas ainda não identificadas que estão ao seu alcance de leitura. A Figura 5.5 apresenta os gráficos do número de ciclos vazios, de acordo com cada protocolo (no caso, seguindo as figuras anteriores, a Figura 5.5(a) para os protocolos QT e ALOHAQT, enquanto a Figura 5.5(b) apresenta o resultado da simulação para os protocolos QT-SC e ALOHAQT-SC.). Considera-se, para os protocolos propostos, o tamanho do *frame* igual a 256 *slots*. Percebe-se um número maior de ciclos vazios na abordagem proposta, quando executada para grupos com até aproximadamente 400 etiquetas. Tal diferença se dá exatamente pela quantidade de *slots* utilizados inicialmente, como foi descrito na proposta. Considerando um número pequeno de etiquetas, é inevitável, dada a utilização do primeiro *frame* com o número fixo de *slots*, que em alguns desses *slots* nenhuma etiqueta transmita. Entretanto, percebe-se que o número de ciclos vazios equipara-se com o dos outros protocolos logo em seguida, mantendo essa situação para os grupos de etiquetas seguintes.

A seguir, na Figura 5.6, são apresentados os gráficos com a análise do número de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor. Observa-se uma relevante contribuição do protocolo proposto, que é uma consequência direta do que foi apresentado na Figura 5.4. Foi avaliado o número de *bits* enviados das etiquetas para o leitor, e constatou-se uma considerável melhoria do protocolo proposto em relação aos protocolos já existentes.

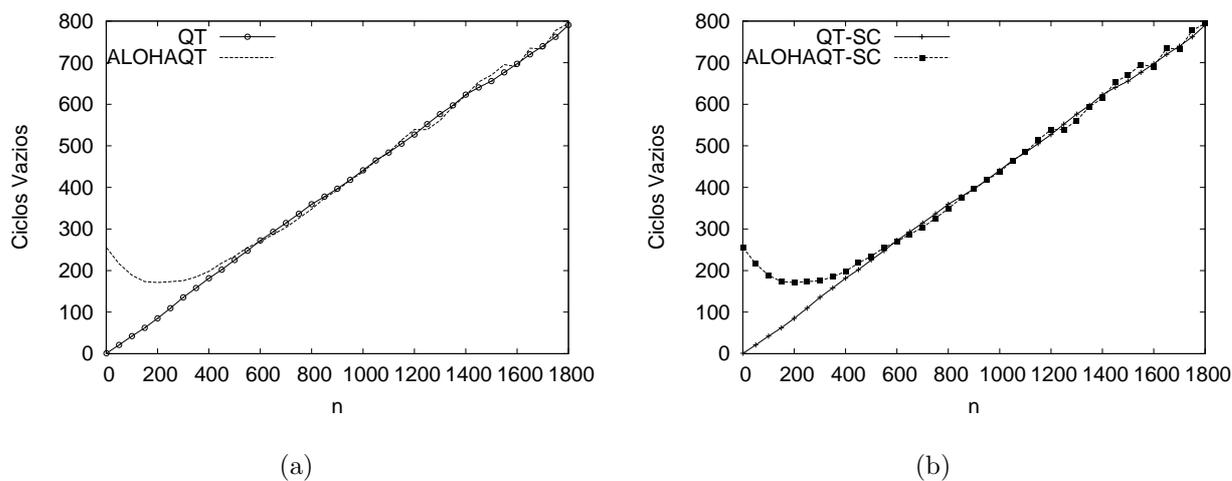


Figura 5.5 Ciclos vazios

Tal melhoria se dá, entre outros fatores, devido a menor necessidade de retransmissões por parte das etiquetas, uma vez que as mesmas colidem menos, ou seja, o processo de identificação flui de maneira mais direta. Nas Figuras 5.6(b) e 5.6(c) são expostos os gráficos com a melhoria percentual em relação ao número de *bits* transmitidos para o leitor, considerando respectivamente, o protocolo proposto ALOHAQT sobre o protocolo QT e o protocolo proposto ALOHAQT-SC sobre o protocolo QT-SC.

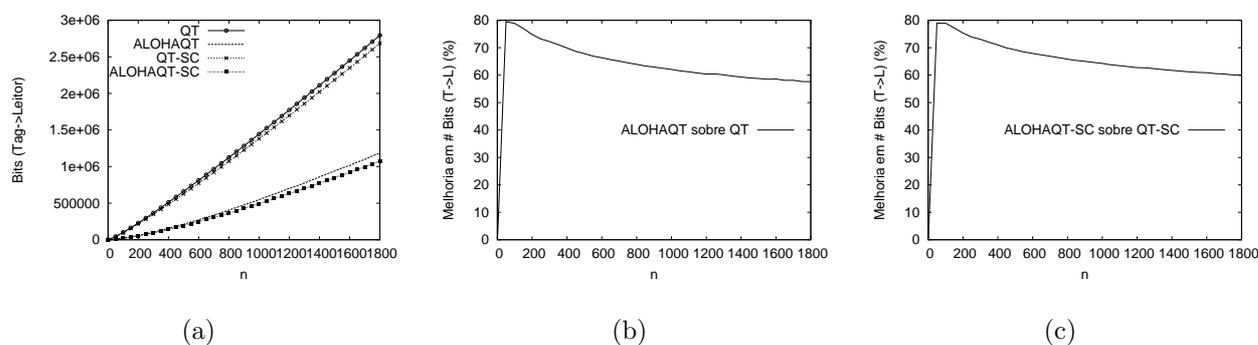


Figura 5.6 (a) número de *bits* transmitidos (sentido etiqueta-leitor) (b) e (c) melhoria no número de *bits* transmitidos (sentido etiqueta-leitor) melhoria no número de colisões

A seguir, retornando à métrica do número de *slots*, têm-se os gráficos com a melhoria dos protocolos propostos sobre os existentes. Coloca-se, a partir desse ponto, a comparação dos protocolos propostos com os protocolos existentes, considerando a variação do tamanho do *frame* inicial, para os protocolos propostos, variando entre 128, 256 e 512

slots.

A Figura 5.7 e a Figura 5.8 apresentam melhorias em relação à métrica do número de *slots* necessários no processo de identificação. As melhorias são apresentadas em três curvas, sendo cada curva diferindo das outras pelo tamanho inicial do *frame* utilizado nos protocolos propostos (ALOHAQT e ALOHAQT-SC) nas simulações, que assume os valores de 128, 256 ou 512 *slots*. A variação desse valor é importante para verificar qual seria o valor ótimo para o tamanho do *frame* inicial, de acordo com a quantidade de etiquetas. Uma vez considerando a aplicação do protocolo em sistemas RFID densos (apesar de não se ter, a priori, conhecimento da quantidade de etiquetas), percebe-se que a medida que a quantidade de etiquetas a ser identificada aumenta, tem-se a seguinte relação: quanto maior for o tamanho do *frame* inicial, melhor o desempenho do protocolo. Isso se dá porque quanto maior é o tamanho do *frame* inicial, considerado um número de etiquetas a serem identificadas pelo menos maior que o tamanho do *frame*, espera-se a formação de grupos com menos etiquetas, o que implica numa quantidade menor de colisões (dado o exposto no Capítulo 4), aumentando assim o desempenho do processo de identificações.

Em contrapartida, quão maior for o *frame* inicial, mais baixo será seu desempenho com uma quantidade menor de etiquetas, uma vez que o protocolo sempre precisará de no mínimo aquela quantidade de *slots* para identificar as etiquetas. Exemplificando: mesmo que só exista uma etiqueta ao alcance do leitor, o protocolo utilizará no mínimo a quantidade de *slots* do *frame* inicial, implicando em uma grande quantidade de *slots* vazios (para esse exemplo, seria igual ao tamanho do *frame* menos um).

Na Figura 5.7 a melhora não é tão aparente, devido à escala e a perda percebida até aproximadamente grupos com 250 etiquetas. Entretanto, percebe-se que para grupos com mais de 250 etiquetas, existe uma melhoria considerável no número de *slots* necessário, melhoria refletida nos gráficos da Figura 5.8(a) e da Figura 5.8(b). Na Figura 5.8(b), a melhoria no protocolo proposto chega a ser praticamente 10%, considerando o tamanho do *frame* inicial igual a 512 *slots* e o maior grupo de etiquetas simulado, com 1800 etiquetas. Abaixo, são apresentados os gráficos de melhoria em relação ao número de colisões.

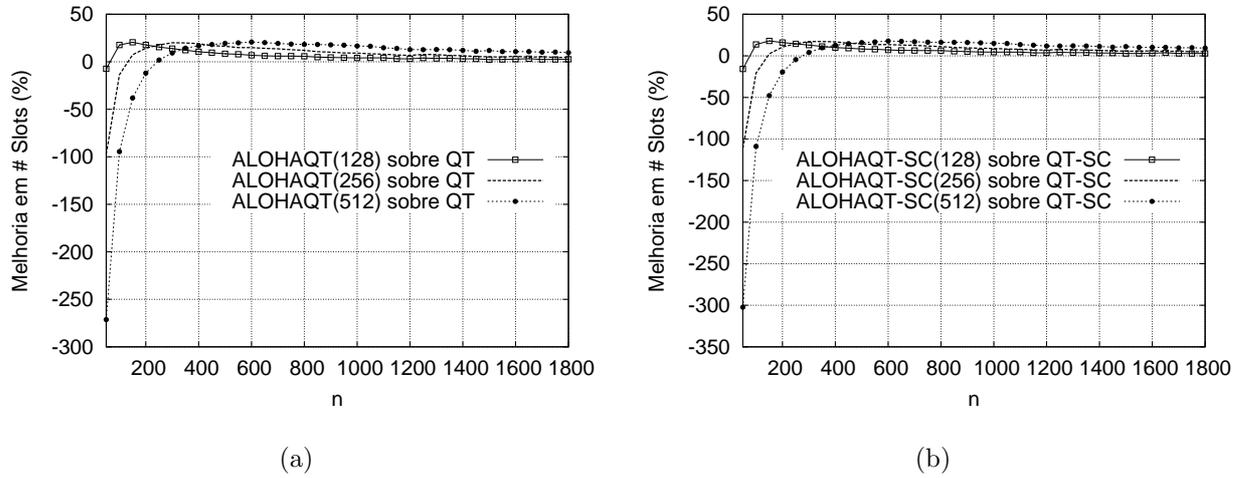


Figura 5.7 Melhoria em número de *slots* para $n \geq 50$ considerando tamanho inicial do *frame* variando entre 128, 256 e 512 *slots*

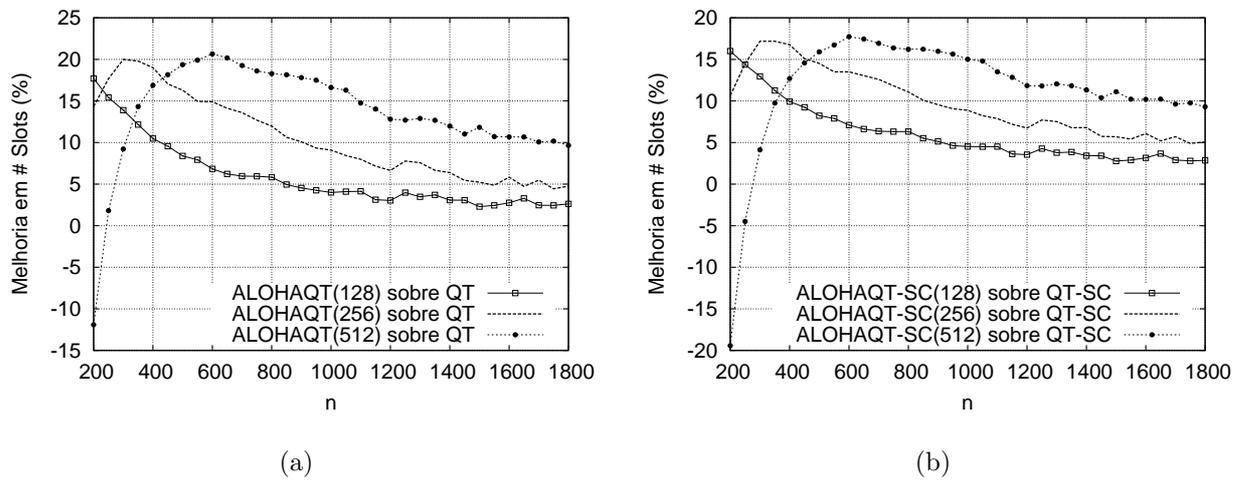


Figura 5.8 Melhoria em número de *slots* para $n \geq 200$ considerando tamanho inicial do *frame* variando entre 128, 256 e 512 *slots*

A Figura 5.9 apresenta de forma mais detalhada a melhoria do protocolo proposto em relação ao número de colisões no processo de identificação, considerando diferentes tamanhos iniciais de *frame*. Percebe-se que para o grupo de 1800 etiquetas tamanho de *frame* igual a 512 *slots*, os protocolos propostos apresentam um ganho de até 20% em relação aos protocolos existentes o que incide diretamente na outra métrica apresentada a seguir, o número de *bits* transmitidos. Nota-se também, que mesmo para etiquetas com IDs menores, permanece o ganho dos protocolos propostos em relação aos demais protocolos. A seguir, a melhoria em relação ao número de ciclos vazios.

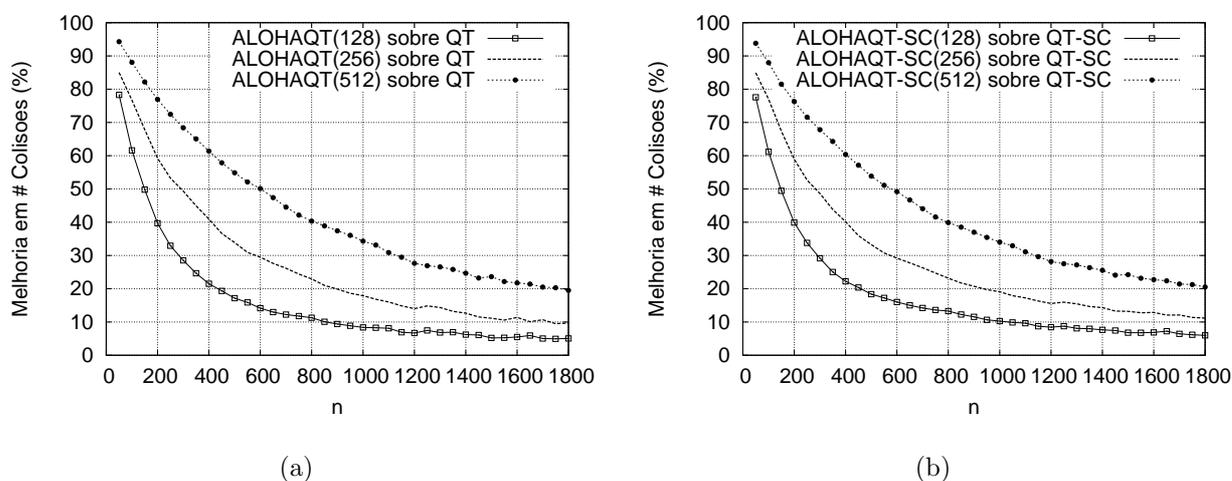


Figura 5.9 Melhoria em número de colisões considerando tamanho inicial do *frame* variando entre 128, 256 e 512 *slots*

A Figura 5.10 apresenta a comparação entre os protocolos propostos e os existentes, considerando o número de ciclos vazios no processo de identificação. Como pode-se perceber através das curvas a variação do tamanho do *frame* inicial incide diretamente nessa métrica, sobretudo quando o protocolo proposto é aplicado a grupos com menos etiquetas. A equiparação com os protocolos QT e QT-SC se dá quando o número de etiquetas aproxima-se do tamanho inicial do *frame*. Uma vez que os protocolos propostos oferecem certa fragilidade em relação ao número de ciclos vazios, sugere-se a utilização da extensão Early End, que consiste em adiantar o beacon responsável pela finalização do slot, diminuindo assim o tempo desperdiçado com ciclos vazios. Por fim, a melhoria em relação ao número de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor.

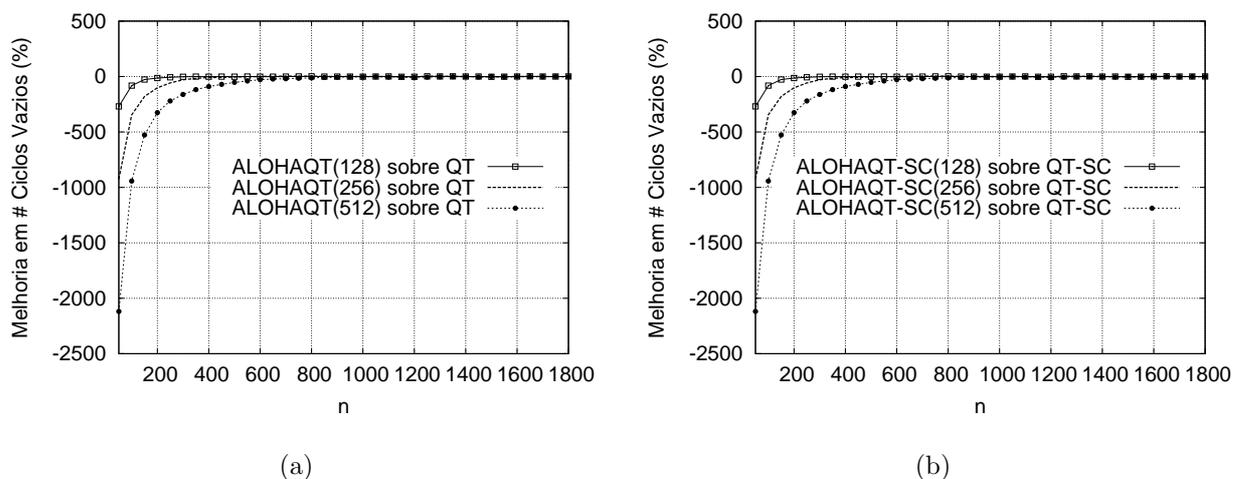


Figura 5.10 Melhoria em número de ciclos vazios para $n \geq 50$ considerando tamanho inicial do *frame* variando entre 128, 256 e 512 *slots*

A Figura 5.11 apresenta de maneira mais detalhada a melhoria em relação ao número de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor em todo o processo de identificação, considerando diferentes tamanhos de IDs das etiquetas. Percebe-se que existe uma relação direta desses gráficos com os gráficos apresentados na Figura 5.9, uma vez que, como explicado anteriormente, a diminuição do número de colisões implica diretamente na diminuição do número de retransmissões, o que culmina na redução evidente do número de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor no processo de identificação. Nota-se que para o grupo de 1800 etiquetas com tamanho do *frame* inicial igual a 512 *slots*, os protocolos propostos apresentam um ganho próximo aos 70% em relação aos protocolos existentes. Nota-se também, que mesmo nas simulações com tamanhos iniciais do *frame* menores (256 e 128 *slots*), ainda existe um ganho de aproximadamente 50% dos protocolos propostos em relação aos demais protocolos.

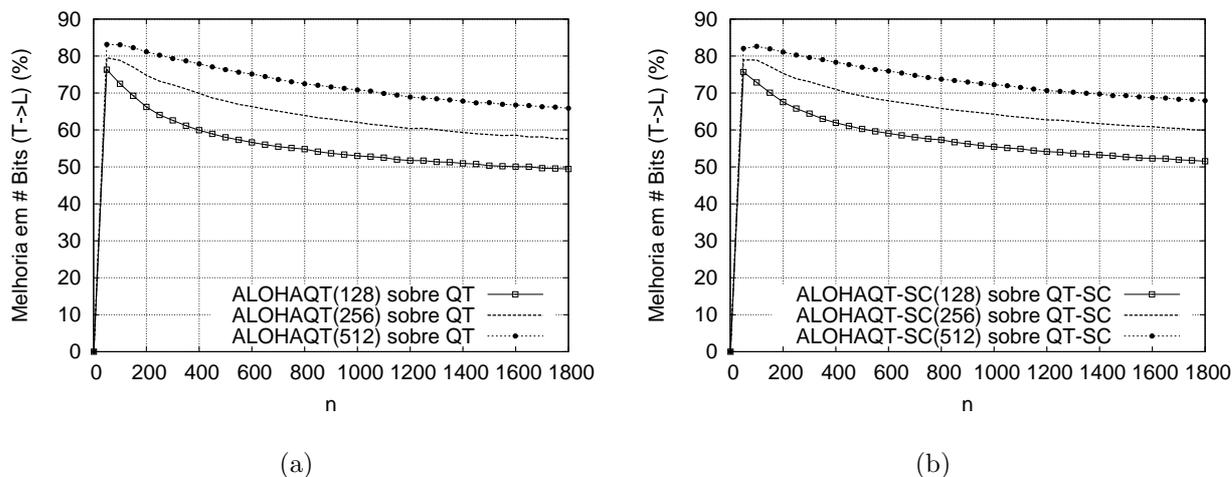


Figura 5.11 Melhoria em número de *bits* transmitidos (sentido etiqueta-leitor) considerando tamanho inicial do *frame* variando entre 128, 256 e 512 *slots*

5.3 RESUMO

Com o intuito de avaliar o desempenho do protocolo proposto, os protocolos utilizados na proposta, e o próprio protocolo proposto foram implementados com uma ferramenta desenvolvida em linguagem C. Foram realizadas simulações e avaliado o desempenho do protocolo proposto em relação aos protocolos utilizados, à luz das métricas mais comumente utilizadas atualmente. Atentou-se para as seguintes métricas: número de *slots* necessários no processo de identificação, considerando o sentido *uplink* (etiqueta-leitor), número de ciclos em colisão, número de ciclos vazios e número de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor em todo o processo de identificação. Foram executadas simulações com grupos de etiquetas de tamanhos variáveis, sendo o maior grupo simulado composto por 1800 etiquetas.

Quanto ao número de *slots*, percebeu-se, como esperado, que o protocolo proposto apresentou melhor eficiência a partir de grupos com 100 etiquetas, tanto em relação ao protocolo FSA como em relação aos protocolos QT e QT-SC. Para grupos com menos de 100 etiquetas observa-se uma menor eficiência em relação aos demais protocolos, explicada pelo fato da escolha do tamanho inicial do *frame*, na fase de particionamento, utilizando o protocolo FSA. No protocolo proposto, o tamanho inicial do *frame* é definido

independente do número de etiquetas, o que implica na seguinte situação: se a quantidade de etiquetas for muito menor do que a quantidade de *slots* no primeiro *frame*, inevitavelmente ocorrerão muitos ciclos vazios, o que implicará negativamente na eficiência do protocolo proposto para grupos com poucas etiquetas. Em compensação a eficiência do protocolo aumenta consideravelmente para grupos mais densos.

As métricas que levam em consideração a quantidade de colisões e a quantidade de *bits* transmitidos estão diretamente relacionadas, uma vez que quanto menor a necessidade de retransmissões pela ocorrência de colisões, menor a quantidade de *bits* transmitidos. Para tais métricas o protocolo proposto apresenta melhoria em relação aos protocolos comparados, independente da quantidade de etiquetas do grupo ao qual o protocolo foi aplicado. Percebe-se também que, para essas métricas, quanto mais etiquetas, melhor o desempenho do protocolo proposto em relação aos protocolos comparados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foi tratado o problema de identificação de etiquetas em sistemas RFID. Foram apresentadas algumas propostas existentes, determinísticas e probabilísticas. Posteriormente foi proposto um protocolo híbrido, que tem por vantagens a exatidão determinística e a eficiência probabilística. A primeira fase do protocolo proposto, denominada fase de particionamento, utiliza o protocolo probabilístico *Frame-Slotted* ALOHA, contudo ao final, tem-se uma forma determinística para a resolução dos problemas de colisão.

Mostrou-se o melhor desempenho em relação às propostas determinísticas, comparando o protocolo proposto com os protocolos QT e QT-SC, a partir de simulações, avaliando seus desempenhos à luz de métricas como o número total de *slots* necessários no processo de identificação, o número de colisões e o número de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor. Os resultados das simulações mostram que o protocolo proposto tem um desempenho melhor que os outros.

É importante também colocar a relação existente entre o número de *slots* no *frame* inicial do protocolo proposto e a quantidade de etiquetas a ser identificada. Tal relação influi diretamente na eficiência do protocolo, sobretudo considerando sistemas RFID com alta densidade de etiquetas. Constatou-se a seguinte relação: Quanto maior o tamanho inicial do *frame*, melhor o desempenho do protocolo para grupos com alta densidade de etiquetas. Constata-se também a contrapartida como sendo a elevação inicial do número de ciclos vazios, devido ao fato do tamanho do *frame* ser fixo, na fase de particionamento. Sugere-se então a utilização da técnica *Early End*.

Percebeu-se também uma melhora considerável e independente da quantidade de etiquetas, no número de colisões no processo de identificação, que veio a ser o objetivo principal do protocolo proposto. Faz-se interessante o estudo da proposta aplicada com

outros protocolos determinísticos, avaliando seu desempenho e comparando também com outros protocolos.

O protocolo proposto acrescenta ao corpo crescente da literatura uma maneira de lidar com a eficiente identificação de grandes quantidades de etiquetas passivas em sistemas RFID. Os resultados desta investigação sugerem que é possível ter um processo de identificação eficiente, mesmo considerando campos com alta densidade de etiquetas e sem que haja o conhecimento prévio da quantidade de etiquetas que estão ao alcance do leitor. O protocolo proposto nesta dissertação deriva de dois outros protocolos amplamente utilizados em sistemas RFID dessa natureza.

Dentre as contribuições feitas por esta dissertação, são destacadas: uma taxonomia para a classificação de protocolos de anti-colisão de etiquetas passivas; o protocolo proposto apresenta uma alternativa eficiente aos protocolos de anti-colisão determinísticos existentes; a partir da análise da métrica da quantidade de colisões, constata-se que o protocolo proposto reduz consideravelmente o número de colisões no processo de identificação, reduzindo também, por consequência, o número de retransmissões necessárias e o número de bits enviados das etiquetas para o leitor.

Algumas limitações importantes precisam ser consideradas. Primeiramente, considerando o número de etiquetas a serem identificadas, a partir das simulações e comparações, percebe-se que quando o número de etiquetas é pequeno, a quantidade de ciclos vazios é mais alta, se considerada a comparação com os protocolos simulados. Tal fato ocorre em decorrência da quantidade de ciclos sem resposta por parte das etiquetas, no primeiro ciclo de leitura, onde o tamanho do *frame* está ajustado para iniciar em 256 *slots*. Se o tamanho do *frame* fosse ajustado para um número menor, ocasionaria na perda da eficiência para um número maior de etiquetas a serem identificadas. Como solução a tal problema, sugere-se a utilização da técnica *Early End*, apresentação da Seção 3.2.2.2, que consiste na antecipação do sinalizador de finalização do (*slot*), diminuindo assim o tempo desperdiçado com ciclos vazios.

Como trabalho futuro, pretende-se melhorar a eficiência do processo de identificação para grupos não-densos, para que o protocolo possa ser eficientemente aplicado a quais-

quer grupos de etiquetas, independente da quantidade a ser identificada. Para tanto, pretende-se alterar a forma como os grupos de etiquetas são divididos no primeiro ciclo de leitura, onde atualmente é utilizado o protocolo *Frame-Slotted* ALOHA. Pretende-se também avaliar o desempenho do protocolo, considerando outras melhorias em relação aos protocolos base utilizados, bem como comparar o desempenho do protocolo proposto com outros protocolos apresentados na literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Kurose and K. Ross, *Computer Networking*. Addison-Wesley Boston, 2001.
- [2] D. Shih, P. Sun, D. Yen, and S. Huang, “Taxonomy and Survey of RFID Anti-collision Protocols,” *Computer communications*, vol. 29, no. 11, pp. 2150–2166, 2006.
- [3] B. Johansson, “An Introduction to RFID–Information Security and Privacy Concerns,” *TDDC03 Projects, Spring*, 2004.
- [4] S. Weis, S. Sarma, R. Rivest, and D. Engels, “Security and Privacy Aspects of Low-cost Radio Frequency Identification Systems,” *Security in Pervasive Computing*, pp. 50–59, 2003.
- [5] A. Juels and R. Pappu, “Squealing Euros: Privacy Protection in RFID-enabled Banknotes,” in *Financial Cryptography*. Springer, 2003, pp. 103–121.
- [6] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*. Wiley West Sussex, England, 2003.
- [7] A. Cunha, “RFID: Etiquetas Eletrônicas,” *Saber Eletrônica, Tatuapé, SP*, vol. 404, 2006.
- [8] L. Ho, M. Moh, Z. Walker, T. Hamada, and C. Su, “A Prototype on RFID and Sensor Networks for Elder Healthcare: Progress Report,” in *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Experimental approaches to wireless network design and analysis*. ACM, 2005, p. 75.
- [9] T. Arampatzis, J. Lygeros, and S. Manesis, “A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks,” in *Mediterranean Conference on Control and*

- Automation Intelligent Control, 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on*, 2005, pp. 719–724.
- [10] I. Rhee, A. Warrier, M. Aia, J. Min, and M. Sichitiu, “Z-MAC: A Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks,” *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol. 16, no. 3, pp. 511–524, 2008.
- [11] J. Peng, L. Cheng, and B. Sikdar, “A Wireless MAC Protocol with Collision Detection,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 6, no. 12, pp. 1357–1369, 2007.
- [12] L. Liu and S. Lai, “ALOHA-based Anti-collision Algorithms used in RFID System,” in *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006. WiCOM 2006*, 2006, pp. 1–4.
- [13] N. Li, X. Duan, Y. Wu, S. Hua, and B. Jiao, “An Anti-Collision Algorithm for Active RFID,” in *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006. WiCOM 2006*, 2006, pp. 1–4.
- [14] C. Floerkemeier and M. Wille, “Comparison of Transmission Schemes for Framed ALOHA based RFID Protocols,” in *Proceedings of the International Symposium on Applications on Internet Workshops*. IEEE Computer Society, 2006, p. 97.
- [15] J. Cha and J. Kim, “Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithms using Fast Tag Estimation Method for RFID System,” in *3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2006. CCNC 2006*, vol. 2, 2006.
- [16] S. Lee, S. Joo, and C. Lee, “An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification,” 2005.
- [17] Z. Bin, M. Kobayashi, and M. Shimizu, “Framed ALOHA for Multiple RFID Objects Identification,” *IEICE Trans. on Commun*, vol. 88, no. 3, pp. 991–999, 2005.

- [18] T. Hwang, B. Lee, Y. Kim, D. Suh, and J. Kim, “Improved Anti-collision Scheme for High Speed Identification in RFID System,” in *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2006. ICICIC’06*, vol. 2, 2006.
- [19] H. Vogt, “Multiple Object Identification with Passive RFID Tags,” in *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 3. Citeseer, 2002, pp. 6–9.
- [20] J. Cha and J. Kim, “Novel Anti-collision Algorithms for Fast Object Identification in RFID System,” in *Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems-Workshops-Volume 02*. IEEE Computer Society, 2005, p. 67.
- [21] L. Burdet, “RFID Multiple Access Methods,” *TechnicalReportETHZurich*, 2004.
- [22] J. Myung and W. Lee, “An Adaptive Memoryless Tag Anti-collision Protocol for RFID Networks,” in *IEEE INFOCOM*. Citeseer, 2005.
- [23] J. Myung and W. Lee, “Adaptive Splitting Protocols for RFID Tag Collision Arbitration,” in *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Mobile ad hoc Networking and Computing*. ACM, 2006, p. 213.
- [24] W. Chen, S. Horng, and P. Fan, “An Enhanced Anti-collision Algorithm in RFID Based on Counter and Stack,” in *Second International Conference on Systems and Networks Communications, 2007. ICSNC 2007*, 2007, pp. 21–21.
- [25] N. Amin and P. Lin, “Anti-collision Protocol Development for Passive RFID Tags,” in *Proceedings of the 7th Conference on 7th WSEAS International Conference on Applied Informatics and Communications-Volume 7*. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2007, pp. 393–397.
- [26] J. Choi, D. Lee, and H. Lee, “Bi-slotted Tree Based Anti-collision Protocols for Fast Tag Identification in RFID Systems,” *IEEE Communications Letters*, vol. 10, no. 12, pp. 861–863, 2006.

- [27] C. Law, K. Lee, and K. Siu, “Efficient Memoryless Protocol for Tag Identification,” Feb. 22 2005, uS Patent 6,859,801.
- [28] V. Namboodiri and L. Gao, “Energy-Aware Tag Anticollision Protocols for RFID Systems,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 9, no. 1, pp. 44–59, 2010.
- [29] T. Wang, “Enhanced Binary Search with Cut-through Operation for Anti-collision in RFID Systems,” *IEEE communications letters*, vol. 10, no. 4, 2006.
- [30] J. Choi, D. Lee, H. Jeon, J. Cha, and H. Lee, “Enhanced Binary Search with Time-divided Responses for Efficient RFID Tag Anti-collision,” in *IEEE International Conference on Communications, 2007. ICC’07*, 2007, pp. 3853–3858.
- [31] K. Ali, H. Hassanein, and A. Taha, “RFID Anti-collision Protocol for Dense Passive Tag Environments,” 2007.
- [32] S. Jochen, “Mobile Communications,” *Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA*, 2003.
- [33] Y. Ohgoshi, T. Yano, and N. Doi, “Code Division Multiple Access Mobile Communication System,” Feb. 26 2008, uS Patent 7,336,697.