



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Mestrado em Ciência da Computação

**UMA EXTENSÃO EFICIENTE DO
ESTIMADOR CHEN II PARA A
IDENTIFICAÇÃO DE GRANDES VOLUMES
DE ETIQUETAS RFID**

Israel Eduardo de Barros Filho

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Recife

13 de Março de 2015

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Israel Eduardo de Barros Filho

**UMA EXTENSÃO EFICIENTE DO ESTIMADOR CHEN II PARA A
IDENTIFICAÇÃO DE GRANDES VOLUMES DE ETIQUETAS
RFID**

*Trabalho apresentado ao Programa de Mestrado 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: *Prof. Dr. Paulo André da Silva Gonçalves*

Recife

13 de Março de 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, por ter me protegido durante as várias viagens para Recife e, também, por ter me dado força e coragem para enfrentar essa nova jornada.

A minha esposa, Terezinha Cabral de Albuquerque Neta Barros, por ter me apoiado, principalmente nas horas em que mais precisei, sempre me ajudando para que eu nunca desistisse do mestrado.

Ao professor *Docteur* Paulo André da Silva Gonçalves, meu orientador, que me deu a oportunidade de ingressar no mestrado, estando sempre disposto a me orientar.

Ao meu sogro, Francisco Mario Cabral de Albuquerque, o qual, quando soube que passei na seleção do mestrado, não mediu esforços para que eu fosse a Recife.

Aos meus pais, amigos e familiares, que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

RESUMO

O DFSA (*Dynamic Framed Slotted ALOHA*) é um protocolo anticisão que vem sendo amplamente adotado para resolver problemas de colisão em sistemas RFID (*Radio Frequency Identification*). De acordo com esse protocolo, o tamanho do quadro subsequente ao quadro inicial é ajustado dinamicamente com base no número de etiquetas que disputaram por *slots* no quadro anterior. Intuitivamente, a precisão do estimador utilizado poderá afetar o desempenho na identificação de etiquetas. Assim, diversas propostas de estimadores vêm contribuindo para melhorar a precisão da quantidade de etiquetas, diminuindo, desse modo, o atraso de identificação. Contudo, pouca atenção tem sido dada na identificação de um grande volume de etiquetas. Os desafios estão em prover um estimador acurado e com baixo custo computacional. Esta dissertação propõe uma extensão ao estimador Chen II, o qual, originalmente, apesar de possuir um baixo custo computacional e boa precisão, é incapaz de lidar com a identificação de grandes volumes de etiquetas sem perda significativa de eficiência. Os resultados mostram que a extensão proposta consegue uma eficiência muito próxima de 36,8% para a identificação de até 10.000 etiquetas. Esse percentual representa a eficiência máxima do protocolo de acesso ao meio utilizado.

Palavras-chave: DFSA, RFID, Desempenho, Etiquetas, Estimador, Extensão.

ABSTRACT

The DFSA (*Dynamic Framed Slotted ALOHA*) is an anti-collision protocol that has been widely adopted to solve collision problems in RFID systems (Radio Frequency Identification). According to the protocol, the size of the table below to the starting frame is dynamically adjusted based on the number of labels that disputed by *slots* in the table above. Intuitively, the accuracy of the estimator used can affect performance in identifying labels. Thus, several proposals estimators have contributed to improve the accuracy of the number of labels, and thus decrease the delay identification. However, little attention has been given to the identification of a large volume of labels. The challenges are to provide an accurate and computationally efficient estimator. This paper proposes an extension to the estimator Chen II, which originally despite having a low computational cost and good accuracy, it is unable to deal with the identification of large volumes of labels with no significant loss of efficiency. The results show that the proposed extension can very closely efficiency of 36.8 % for identifying up to 10,000 labels. This percentage is the maximum efficiency of the access protocol to the medium used.

Keywords: DFSA, RFID, Performance, Labels, Estimator, Extension.

SUMÁRIO

Capítulo 1—Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	4
1.3 Organização	4
Capítulo 2—Radio-frequency Identification (RFID)	6
2.1 Arquitetura	6
2.1.1 Etiquetas	7
2.1.2 Etiquetas Passivas	7
2.1.3 Etiquetas Ativas	7
2.1.4 Etiquetas Semiativas	8
2.1.5 Etiquetas Semipassivas	8
2.2 Colisões em RFID	8
2.2.1 Formas de Acesso Múltiplo ao Meio	9
2.3 Protocolo anticolisão	11
2.3.1 Protocolos Anticolisão Baseados em Árvore	12
2.3.2 Query Tree (QT)	12
2.4 Resumo	15
Capítulo 3—Protocolos Anticolisão Baseados em ALOHA	16
3.1 Pure ALOHA (PA)	16

3.2	Slotted Aloha (SA)	18
3.3	Frame Slotted Aloha (FSA)	19
3.4	Dynamic Frame Slotted ALOHA (DFSA)	19
3.5	Estimadores para o protocolo DFSA	21
3.5.1	Schoute	22
3.5.2	Vogt	22
3.5.3	Eom-Lee	24
3.5.4	Chen II	25
3.6	Avaliação de Desempenho dos Estimadores	26
3.6.1	Resultados do quadro inicial de 64 <i>Slots</i>	27
3.6.2	Resultados do quadro inicial de 128 <i>slots</i>	30
3.7	Resumo	33
Capítulo 4—Proposta de um Estimador		34
4.1	Extensão do Estimador	34
4.2	Análise e Avaliação de Desempenho dos Estimadores	39
4.2.1	Desempenho dos estimadores com quadro inicial de 64 <i>slots</i>	39
4.2.2	Desempenho dos estimadores com quadro inicial de 128 <i>slots</i>	41
4.3	Resumo	45
Capítulo 5—Conclusão		46

LISTA DE FIGURAS

2.1	Exemplo de um sistema RFID.	7
2.2	Tipos de acesso múltiplo.	10
2.3	Exemplo de funcionamento do QT.	14
3.1	Exemplo de transmissão no pure ALOHA.	17
3.2	Exemplo de transmissão no <i>Slotted</i> ALOHA.	18
3.3	Exemplo de transmissão no <i>Frame Slotted</i> ALOHA.	20
3.4	Exemplo de transmissão no <i>Dynamic Frame Slotted</i> ALOHA.	21
3.5	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i> em colisão.	27
3.6	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i> vazios.	28
3.7	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i>	29
3.8	Desempenho considerando a vazão.	29
3.9	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i> em colisão.	30
3.10	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i> vazios.	31
3.11	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i>	31
3.12	Desempenho considerando a vazão.	32
4.1	Desempenho do Chen II para 1.000 etiquetas com quadro inicial de 64 <i>slots</i>	35
4.2	Desempenho do Chen II para 1.000 etiquetas com quadro inicial de 128 <i>slots</i>	36
4.3	Desempenho do Chen II para 10.000 etiquetas com quadro inicial de 64 <i>slots</i>	36
4.4	Desempenho do Chen II para 10.000 etiquetas com quadro inicial de 128 <i>slots</i>	37
4.5	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i> em colisão.	39
4.6	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i> vazios.	40

4.7	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i>	41
4.8	Desempenho considerando a vazão.	42
4.9	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i> em colisão.	42
4.10	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i> vazios.	43
4.11	Desempenho considerando o número total de <i>slots</i>	44
4.12	Desempenho considerando a vazão.	44

LISTA DE ACRÔNIMOS

- BAP** *Battery Assisted Passive.* 7
- BQT** *Binary Query Tree.* 11
- CDMA** *Code Division Multiple Access* 10
- DFSA** *Dynamic Frame Slotted ALOHA.* 2
- EPC Gen 1** *EPCGlobal Generation 1.* 9
- EPC Gen 2** *UHF Class 1 Generation 2.* 9
- FDMA** *Frequency Division Multiple Access* 10
- FSA** *Frame Slotted ALOHA.* 16
- ID** *Identificador.* 1
- IQT** *Intelligent Query Tree.* 11
- MQT** *M-ary Query Tree.* 11
- PA** *Pure ALOHA.* 14
- QT** *Query Tree.* 11
- RFID** *Radio-Frequency IDentification.* 1
- SA** *Slotted ALOHA.* 15
- SDMA** *Space Division Multiple Access.* 10

TDMA *Time Division Multiple Access.* 10, 11

UHF *Ultra High Frequency.* 9

INTRODUÇÃO

Atualmente, existe uma grande necessidade de gerenciar vários objetos com uma maior rapidez e precisão. Diante dessa demanda, a tecnologia de RFID (*Radio-Frequency Identification* - Identificação por Radiofrequência) aparece como uma forte aliada para a realização de tarefas como identificação, rastreamento e automatização de objetos. Um grande diferencial em relação a outros sistemas de identificação diz respeito ao seu alcance de leitura, tendo em vista não é necessário que o objeto esteja próximo para ser identificado.

1.1 MOTIVAÇÃO

Os sistemas RFID se destacam-se como uma nova geração de sistemas de identificação, em substituição aos códigos de barra, cartões de crédito com leitura magnética, crachás de identificação, entre outros. De modo geral, um sistema RFID básico é formado por um leitor, etiquetas e uma base de dados. O leitor é responsável pela emissão de um campo eletromagnético que alimenta a etiqueta, o qual, por sua vez, responde ao leitor com o conteúdo armazenado em sua memória. As etiquetas são fixadas a objetos e possuem um identificador único chamado (ID) que serve para identificar cada objeto; por fim, a base de dados é o local que contém todas as informações armazenadas de cada objeto, como características, valor, quantidade, entre outras.

As vantagens da tecnologia RFID incluem menor tempo para identificação, menor ocorrência de falhas e maior controle na segurança e nos fluxos de informações. Outro atrativo do sistema é a capacidade de se comunicar com as etiquetas sem a necessidade de uma visada direta entre os leitores e as etiquetas, o que possibilita a identificação

das etiquetas em qualquer direção dentro do alcance de cobertura do leitor. Devido às inúmeras vantagens apresentadas, os sistemas de RFID vêm sendo cada vez mais utilizados em diversas aplicações, como, por exemplo, em sistemas de localização de objetos para inventários [Paydar, Endut e Lajevardi 2013], controle de estacionamento e pedágio [Guangxian 2008], rastreamento de animais [Catarinucci et al. 2012], logística industrial [Qinghua et al. 2009], entre outras.

Apesar das reconhecidas vantagens citadas, os sistemas de RFID também apresentam algumas fragilidades, as quais precisam ser resolvidas para um bom funcionamento do sistema. Dentre os problemas encontrados, um em especial é muito comum em qualquer sistema de comunicação de dados que utiliza o meio sem fio, denominado de problema de acesso múltiplo ao meio. Logo, quando duas ou mais etiquetas transmitem ao mesmo tempo informações para o leitor, ocorre um efeito chamado colisão entre sinais, fazendo com que o leitor não consiga identificar **de maneira correta a resposta das etiquetas.**

De acordo com os sistemas de RFID, existem, basicamente, dois tipos de colisão a serem resolvidos: colisões entre leitores e colisões entre etiquetas. As Colisões entre leitores ocorrem quando os sinais de dois ou mais leitores se sobrepõem [Eom, Yim e Lee 2009]. As colisões de etiquetas acontecem quando duas ou mais etiquetas tentam transmitir informações simultaneamente para o mesmo leitor.

No entanto, não é possível implementar soluções já existentes em redes de computadores sem fio para resolver problema de acesso múltiplo ao meio em sistemas de RFID, os quais possuem duas partes envolvidas no processo de comunicação, chamado de transceptor, que tem a função de colaborar na comunicação entre o transmissor e o receptor. Esse auxílio não existe em sistemas de RFID, pois as etiquetas, principalmente as passivas, possuem algumas limitações, tais como: baixo poder computacional, consumo de energia, memória, entre outras. Em virtude dessa problemática, por sua vez, surge a necessidade de criação e utilização de algoritmos e protocolos específicos para tratar esse tipo de problema [Klair, Chin e Raad 2010].

Assim, vários protocolos anticolisão são encontrados na literatura [Chen 2014, Choi e Lee 2007, Su e Ha 2010, Wu Y. Zeng e Gu 2013],

em especial o protocolo DFSA (Dynamic Framed Slotted ALOHA) [Bueno-Delgado, Vales-Alonso e Gonzalez-Castao 2009, He e Wang 2013, Schoute 1983], que vem sendo amplamente adotado para resolver problemas de colisão em sistemas RFID. De acordo com esse protocolo, o leitor inicialmente gera um quadro que é dividido em vários *slots* de tempo. Assim, as etiquetas, por sua vez, irão responder em apenas um *slot* por quadro; diante disso, aquelas que não foram identificadas no processo de leitura inicial vão novamente disputar por *slots* no quadro que será gerado posteriormente. Contudo, o comprimento do novo quadro é ajustado dinamicamente conforme a estimativa do grupo de etiquetas que competiram por *slots* no quadro anterior [Andrade e Gonçalves 2011].

No processo para a identificação de etiquetas no DFSA, a sua eficiência está diretamente relacionada a como se estimar um número de etiquetas e a como ser gerado o tamanho do novo quadro que deverá ser utilizado. Dessa forma, tanto a precisão de estimar a população de etiquetas quanto o ajuste do tamanho do novo quadro podem afetar o desempenho do DFSA. Assim, é observado que a escolha do tamanho do próximo quadro é de suma importância e tem por objetivo diminuir o atraso de identificação do grupo de etiquetas envolvidas.

Em geral, existem diversas propostas de estimadores que são encontrados na literatura com o intuito de melhorar o desempenho do protocolo DFSA. O Tong [Tong, Zou e Tong 2009], o Eom-Lee [Eom e Lee 2010], o Schoute [Schoute 1983], uma versão do Vogt [Vogt 2002] e o Chen [Chen 2014] utilizam uma técnica baseada em cálculos matemáticos, com o objetivo de gerar um novo tamanho de quadro com base na população de etiquetas que competiram por *slots* no quadro anterior, em um processo que será repetido até que todas as etiquetas sejam identificadas.

Nessa perspectiva, diversas propostas de estimadores vêm contribuindo para melhorar a precisão da quantidade de etiquetas, diminuindo assim o atraso de identificação. Contudo, pouca atenção tem sido dada à identificação de um grande volume de etiquetas. Os desafios estão em prover um estimador acurado e com baixo custo computacional. Com base nos benefícios relatados, esta dissertação propõe uma extensão ao estimador

Chen II, o qual, originalmente, apesar de possuir um baixo custo computacional e boa precisão, é incapaz de lidar com a identificação de grandes volumes de etiquetas sem perda significativa de eficiência. Os resultados mostram que a extensão proposta consegue uma eficiência muito próxima de 36,8% para a identificação de até 10.000 etiquetas. Esse percentual representa a eficiência máxima do protocolo de acesso ao meio utilizado.

1.2 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo geral propor uma extensão para o estimador Chen II, tornando-o capaz de identificar um número de 10.000 etiquetas com precisão e sem perder eficiência. Os resultados mostram que o estimador proposto consegue uma eficiência na vazão muito próxima do ideal, que é 36,8%, **correspondendo ao número total de *slots* identificados com sucesso, dividido pelo número total de *slots* utilizados no processo de identificação, em que esse valor representa a eficiência máxima do protocolo DFSA no geral.**

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

1. Estudar sobre conceitos básicos de um sistema RFID;
2. Estudar e analisar os principais protocolos anticolisão, em especial para o protocolo DFSA;
3. Realizar uma análise dos principais protocolos anticolisão para o DFSA usando como tamanho o quadro inicial de 64 e 128 *slots*;
4. Propor uma extensão para o estimador Chen II;
5. Comparar a extensão proposta com os estimadores estudados.

1.3 ORGANIZAÇÃO

A presente dissertação está organizada desta forma: o Capítulo 2 descreve o funcionamento básico e as características principais dos sistemas RFID e expõe os tipos de

protocolos anticolisão que são utilizados para resolver o problema de colisão de etiquetas. O Capítulo 3 traz o estado da arte sobre os protocolos anticolisão baseados em ALOHA, com suas extensões, e uma avaliação de desempenho com os estimadores propostos na literatura. No Capítulo 4 é apresentada uma extensão do estimador indicado sugerido para o DFSA com uma avaliação de desempenho envolvendo a proposta com um quadro de tamanho inicial de 64 e 128 *slots*. Por fim, o Capítulo 5 conclui o trabalho.

CAPÍTULO 2

RADIO-FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID)

Este capítulo apresenta os fundamentos básicos dos sistemas RFID, assim como os tipos de etiquetas e de colisões. Para resolver o problema de acesso ao meio em sistemas RFID, foram expostos os métodos de acesso múltiplo ao meio. Por fim, foi apresentado um protocolo anticolição baseado em árvore, como forma de solução para tratar do problema de acesso ao meio em sistemas RFID.

2.1 ARQUITETURA

Um sistema RFID básico é formado por três principais elementos: leitores, etiquetas e uma base de dados [Lodewijks, Veeke e Cruz. 2006]. O leitor é um dispositivo cuja função é identificar as etiquetas e, através disso, extrair informações nelas contidas, desde que estejam no seu raio de alcance para a realização da leitura. Sua comunicação é realizada por meio de ondas de radiofrequência. Outra função importante do leitor diz respeito a gerenciar o controle de acesso ao meio das etiquetas, que é realizado com o auxílio dos protocolos anticolição.

A base de dados é a entidade central de um sistema RFID. Ela tem o papel de processar e armazenar informações de acordo com as necessidades de cada aplicação. Em geral, é um banco de dados no qual se armazenam e se acessam informações de todas as etiquetas e leitores presentes no sistema. Também pode estar embutida no próprio leitor, dependendo do tipo de dispositivo utilizado.

As etiquetas são os elementos mais simples do sistema, com a função de armazenar informações sobre o objeto a que estão associadas. Elas possuem um identificador (ID) o único no qual serve para identificá-las. A Figura 2.1 mostra um exemplo básico de

um sistema em RFID. A seção a seguir apresenta os tipos de etiqueta que compõem o sistema de RFID.

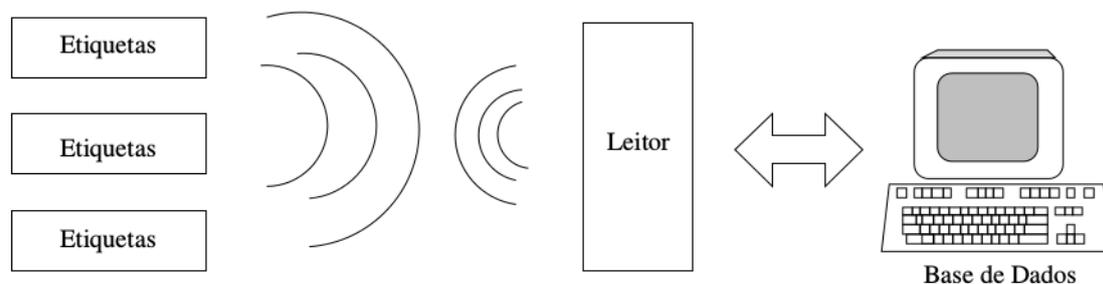


Figura 2.1 Exemplo de um sistema RFID.

2.1.1 Etiquetas

As etiquetas são subdivididas em quatro categorias: passivas, ativas, semiativas e semi-passivas [Senadeera et al. 2013].

2.1.2 Etiquetas Passivas

As etiquetas passivas são mais simples e baratas. Elas não possuem fonte de alimentação como bateria interna, isto é, utilizam o sinal do próprio leitor como fonte de energia através de indução eletromagnética para alimentar o seu *microchip* e para realizar a comunicação com o leitor. Desse modo, não é necessário fazer manutenção delas, porém, devido à simplicidade do seu *hardware* o seu alcance de cobertura é bem menor em relação a etiquetas ativas.

2.1.3 Etiquetas Ativas

As etiquetas ativas apresentam uma fonte própria de energia, de modo geral, uma bateria interna que auxilia na realização de todas as funções de processamento interno. Possuem

um maior alcance em relação às etiquetas passivas e semipassivas, bem como um maior poder computacional.

2.1.4 Etiquetas Semiativas

As etiquetas semiativas possuem uma fonte de energia própria para alimentar seu *micro-chip* e assim realizar também operações internas, mas ainda utilizam a energia do leitor para transmitir sinal, ou seja, esse tipo de etiqueta somente irá transmitir algum sinal após a transmissão do leitor para estabelecer a comunicação.

2.1.5 Etiquetas Semipassivas

As etiquetas dessa categoria utilizam um mecanismo chamado (BAP)- *Battery Assisted Passive*, o qual possui a função de auxiliar no processo de leitura quando o leitor não consegue transmitir um sinal com potência suficiente para aciona-las. Trabalham de maneira similar à etiqueta semiativas, porém, quando a sua bateria interna acaba elas continuam funcionando como uma etiqueta passiva.

Vale lembrar que as etiquetas passivas são mais utilizadas em sistemas de RFID por serem pequenas e de simples fabricação, além de possuírem uma grande vantagem com relação aos outros grupos de etiquetas, que é o baixo custo de produção, apresentando também uma maior durabilidade, uma vez que não possuem bateria interna. Conforme a série de vantagens mencionadas, as etiquetas passivas serão o foco de pesquisa desta dissertação.

2.2 COLISÕES EM RFID

Com a utilização do meio sem fio como forma de comunicação para a propagação de ondas de radiofrequência, alguns problemas como interferência são comuns nesse tipo de comunicação. Assim, algumas dessas interferências são geralmente conhecidas como colisão de transmissão de sinal. De modo geral, as colisões podem provocar problemas

como: dificuldade na identificação das etiquetas, desperdício de energia e de largura de banda, devido à necessidade de retransmissão, em alguns casos, comprometendo o uso do sistema de RFID.

Para as etiquetas passivas, o problema de colisão pode se agravar ainda mais por causa de sua limitação computacional, tornando-as impossibilitadas de se comunicar com outras etiquetas, a fim de resolver o problema de colisão. Assim, fica a cargo do leitor resolver o problema de acesso múltiplo ao meio nas etiquetas passivas.

Atualmente, existem dois tipos de colisões que precisam ser resolvidas: colisões entre leitores e colisões entre etiquetas. As colisões entre leitores ocorrem quando os sinais de dois ou mais leitores se sobrepõem [Eom e others. 2008], tornando confuso para as etiquetas identificar qual o leitor responder. As se dão colisões de etiquetas ocorrem quando duas ou mais etiquetas enviam informações simultaneamente para um único leitor.

Problemas de acesso ao meio estão diretamente ligados às colisões de etiquetas nos sistemas de RFID. Essas soluções têm o papel primordial de coordenar a comunicação entre leitor e etiquetas, realizando um sincronismo entre as partes envolvidas através do uso dos protocolos anticisão. Algumas soluções de acesso múltiplo ao meio serão expostas na seção a seguir.

2.2.1 Formas de Acesso Múltiplo ao Meio

Quando desejamos compartilhar um determinado recurso de comunicação entre diversos transmissores independentes, é necessário estabelecer regras para regular o acesso a esse recurso. O conjunto dessas regras denomina-se de protocolos de acesso múltiplo ao meio, os quais basicamente são subdivididos em quatro grandes classes: SDMA (*Space Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Espaço), CDMA (*Code Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Código), FDMA (*Frequency Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência) e TDMA (*Time Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo), conforme pode ser visto na Figura 2.2.

A classe SDMA [Finkenzeller] tem a função de distribuir diferentes faixas de

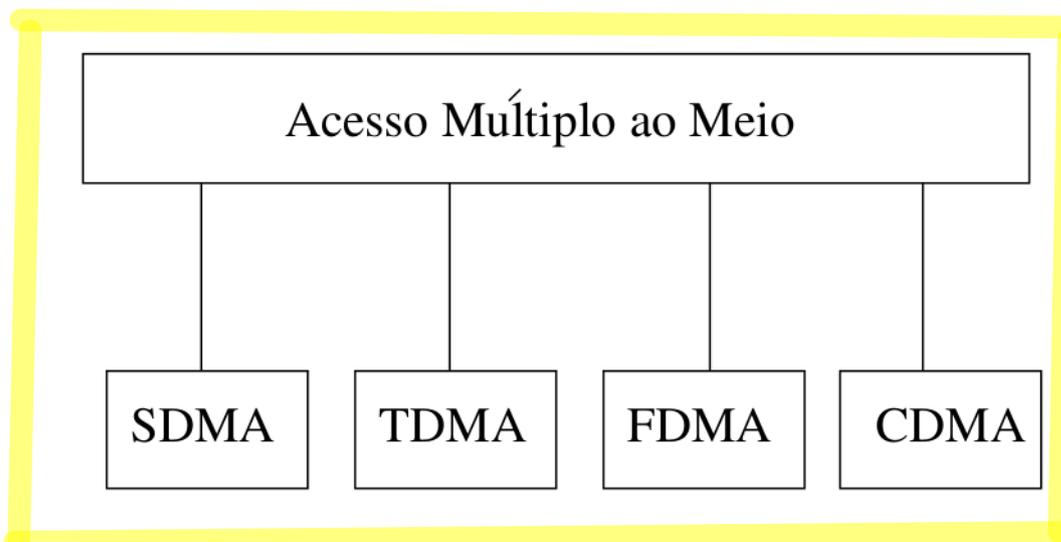


Figura 2.2 Tipos de acesso múltiplo.

freqüências para diferentes regiões próximas. Esse método é muito utilizado para realizar a cobertura de sinal entre células adjacentes, como ocorre na rede de telefonia celular. Porém, torna-se inviável a sua utilização em sistemas de RFID, devido o uso de diversas antenas setoriais e de vários leitores, aumentando, assim, a complexidade do sistema e consequentemente gerando um alto custo para sua execução [Klair, Chin e Raad 2010].

No modelo CDMA [Klair, Chin e Raad 2010], são aplicadas técnicas de propagação espectral distribuída uniformemente aos elementos da rede, com a mesma potência e freqüência. Porém, cada elemento envolvido possui um código diferente para modular o sinal, o qual foi transmitido para todos ao mesmo tempo. Contudo, a utilização dessa técnica para sistemas de RFID apresenta alguns problemas, pois uma vez que o uso da divisão de códigos necessita de um custo computacional bem elevado em equipamentos de *hardware*, tornando assim inviável sua aplicação em etiquetas passivas de RFID.

O grupo do tipo FDMA, tem a função de dividir a largura de banda disponível em diversas faixas de freqüência. Nelas, cada usuário possui uma parte da banda de transmissão para enviar suas informações, ou seja, cada banda que é reservada para um usuário específico pode ser utilizada até fim de sua transmissão. Dessa forma o uso de diversas faixas de freqüências aumenta o custo das etiquetas e dos leitores envolvidos, devido à utilização de vários canais simultaneamente [Klair, Chin e Raad 2010].

Na técnica TDMA [Shih et al. 2006] o canal é dividido em vários *slots* de tempo de

tamanho fixo, em cada elemento vai transmitir em um determinado *slot* por vez, evitando assim interferências. Devido à sua simplicidade e ao baixo custo computacional para as etiquetas, o TDMA tornou-se o mais viável para os sistemas de RFID. Com a utilização da solução TDMA, o intervalo de tempo disponibilizado para a transmissão das etiquetas é classificado de três formas: *slot* vazio, quando não existe nenhuma transmissão de etiquetas; *slot* com sucesso, ocorre quando apenas uma etiqueta transmite sua identificação e *slot* em colisão, ocorre quando duas ou mais etiquetas tentam transmitir simultaneamente dentro do mesmo intervalo de tempo disponível.

2.3 PROTOCOLO ANTICOLISÃO

Problemas de acesso ao meio estão diretamente ligados às colisões de etiquetas nos sistemas de RFID. As diversas soluções de acesso múltiplo ao meio têm o papel primordial de coordenar a comunicação entre leitor e etiquetas, realizando assim um sincronismo entre as partes envolvidas através do uso dos protocolos anticolisão, principalmente quando no sistema existe o uso de etiquetas passivas, ficando dessa forma, a cargo do leitor gerenciar o acesso ao meio.

Para resolver problemas causados por colisões de etiquetas, existem diversos protocolos que podem ser encontrados na literatura [Klair, Chin e Raad 2010]. De acordo com a limitação computacional das etiquetas passivas e com a sua grande usabilidade no mercado empresarial, devido ao seu baixo custo torna-se mais viável a utilização de soluções como o TDMA (*Time Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo) como forma de acesso múltiplo para os sistemas de RFID. Assim, o TDMA pode ser dividido em duas categorias de protocolos anticolisão de etiquetas: protocolos baseados em árvore e protocolos baseados em ALOHA. Porém os protocolos baseados em ALOHA são os mais utilizados.

2.3.1 Protocolos Anticolisão Baseados em Árvore

Os protocolos baseados em árvore atuam de forma determinística [Klair, Chin e Raad 2010], ou seja, eles tem por obrigação, identificar todas as etiquetas envolvidas no processo. Assim quando houver pelo menos uma etiqueta em colisão, elas serão separadas, formando um conjunto de colisões de etiquetas, até que pelo menos uma etiqueta a seja identificada. O processo de seleção ocorre de acordo com o ID binário da etiqueta. Assim, ao longo do processo de identificação é construída uma estrutura de dados que representam uma árvore, por isso a denominação árvore binária.

Os protocolos anticolisão baseados em árvore, que podem ser encontrados na literatura da mesma categoria do QT *Query Tree*, são: o QT [Law, Lee e Siu 2000], o IQT [Bhandari et al. 2006], o BQT [Yang et al. 2012] e o MQT [Shin, Jeon e Yang 2013] entre outras extensões. [Klair, Chin e Raad 2010]. Assim, na seção a seguir será demonstrado um exemplo do funcionamento para a identificação de etiquetas usando o protocolo QT *Query Tree*.

2.3.2 Query Tree (QT)

O protocolo da classe *Query Tree* (QT) funciona da seguinte forma: o leitor envia requisições contendo parte do prefixo do ID das etiquetas, assim, as etiquetas que contêm parte desse ID com prefixo de consulta correspondente respondem ao leitor informando o seu prefixo. Desse modo, o leitor vai percorrendo cada parte da árvore binária. O processo se repetirá de forma recursiva, ou seja, até que uma única etiqueta seja identificada. Então, de acordo com o processo de identificação em uma consulta, três situações podem ser encontradas nesse protocolo, a saber:

Colisão: Quando duas ou mais etiquetas que estão no raio de cobertura do leitor respondem com o prefixo de consulta igual ao do leitor. Ocorre o efeito chamado colisão de etiquetas, dessa forma, o leitor que não identificar nenhuma etiqueta continuará percorrendo a árvore aumentando o seu prefixo de consultas e solicitando

novas requisições para as etiquetas.

Somente uma resposta: Acontece quando apenas uma única etiqueta responde com prefixo de consulta igual ao prefixo do leitor, então a etiqueta é silenciada e o leitor volta a enviar novas requisições **com o intuito de identificar todas as etiquetas que ainda faltam a ser identificadas.**

Vazio: Ocorre quando nenhuma etiqueta possui o prefixo de consulta igual ao que foi solicitado pelo leitor. Novamente, o leitor retorna ao último nó em colisão e **continua o processo de identificação.**

No funcionamento do protocolo QT, demonstrado na Figura 2.3, inicialmente, existe uma população de etiquetas com os seus respectivos IDs **000**, **011** e **111**. No primeiro passo, o leitor envia uma requisição inicial com vazio, as etiquetas que se encontram no seu raio de cobertura, no caso as três etiquetas, respondem criando uma situação de colisão. Assim, da-se início ao segundo passo, em que é utilizado um prefixo de consulta $Q = 0$ e duas etiquetas com prefixo de consulta igual ao do leitor respondem, formando novamente uma situação de colisão entre os IDs das etiquetas **000** e **011**. Nos passos 3 e 4, o leitor acrescenta mais um prefixo de consulta, $Q = 00$ e $Q=01$, e apenas uma etiqueta responde em cada folha da árvore. Finalizando esse lado da árvore, o leitor volta até a última colisão, que é o ponto inicial, e dá início ao passo 5 que corresponde a uma consulta com um novo prefixo $Q = 1$ e apenas uma etiqueta responde com o seu ID **111**, e assim todas as etiquetas são identificadas com sucesso.

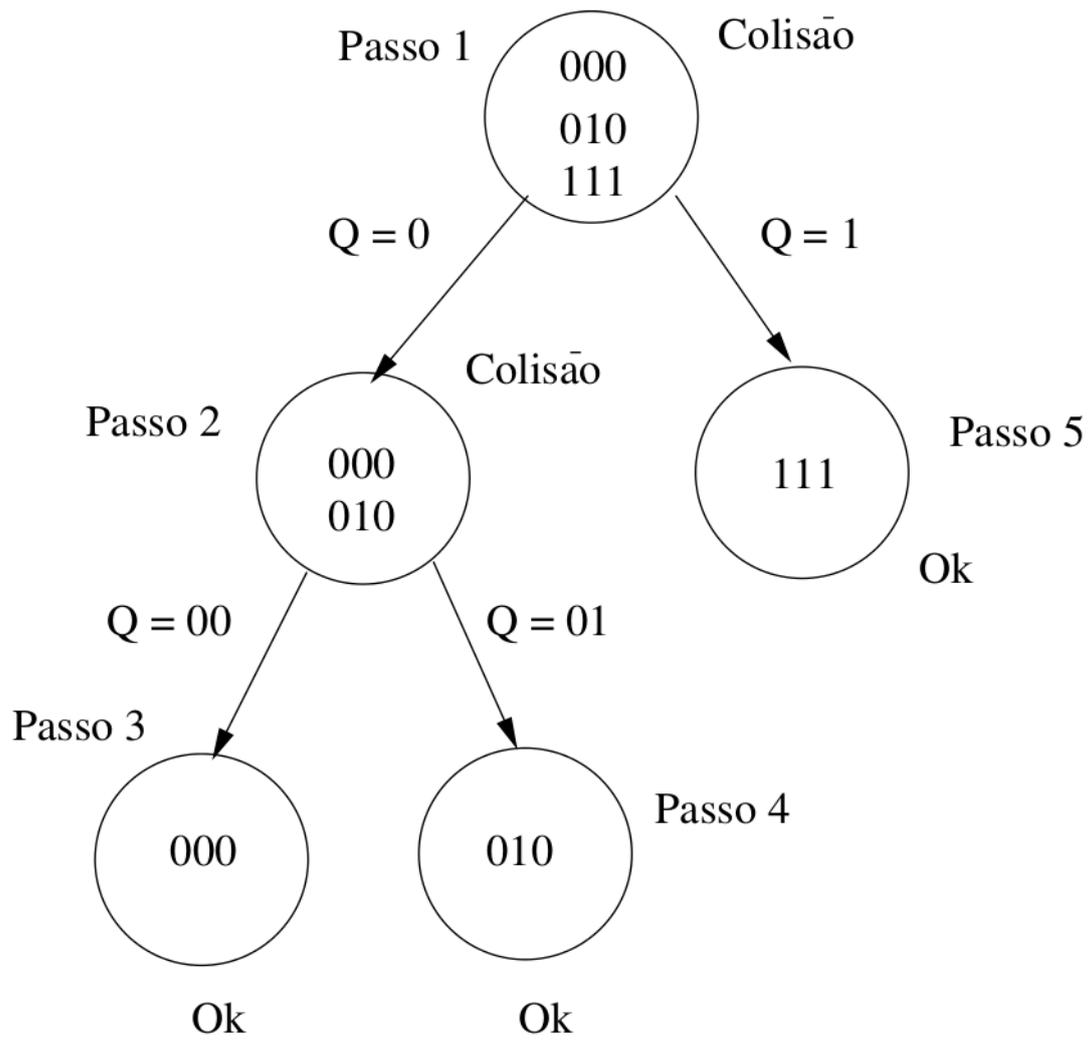


Figura 2.3 Exemplo de funcionamento do QT.

2.4 RESUMO

Nesse capítulo, foram expostos alguns conceitos básicos de um sistema de RFID. Em seguida, foi abordada a arquitetura utilizando leitores e etiquetas, apresentando os tipos de etiquetas que são encontradas. Ainda, apresentaram-se as formas de acesso múltiplo ao meio, e mostrando qual método mais viável para o uso de etiquetas passivas em sistemas de RFID. Além disso, os problemas de acesso ao meio, como tipos de colisões, foram expostos. Por fim, demonstrou-se o protocolo anticisão baseado em árvore, o *Query Tree* (QT), como uma alternativa para resolver problemas de colisão de etiquetas.

PROTOCOLOS ANTICOLISÃO BASEADOS EM ALOHA

Este capítulo aponta os principais protocolos anticolisão baseados em ALOHA, todos com um objetivo em comum: de gerenciar a forma de acesso ao meio das etiquetas e resolver o seu problema de colisão. Além disso, serão abordados alguns estimadores que são utilizados juntamente com o protocolo DFSA (*Dynamic Frame Slotted ALOHA*). Por fim, será apresentada uma avaliação de desempenho com todos os estimadores relacionados.

3.1 PURE ALOHA (PA)

O protocolo ALOHA foi um dos primeiros protocolos anticolisão desenvolvidos para resolver problemas de acesso múltiplo ao meio em redes de computadores. De acordo com o seu funcionamento, o transmissor começa a enviar quadros de informações para o receptor. Após o envio desses quadros, escuta meio para ter a certeza de que a sua informação chegou ao destino, ou seja, ele obtém um *feedback* da informação que foi enviada. Para essa finalidade, o transmissor gera um tempo randômico de espera para saber se a sua informação chegou ao destino. Se não houve resposta durante o tempo de espera, o transmissor irá transmitir novamente a mesma informação, ou seja, irá reenviar o quadro que não obteve resposta. [Tanenbaum 2003].

Os protocolos anticolisão baseados em ALOHA são chamados de probabilísticos ou aleatórios [Vales-Alonso et al. 2011], diferentemente dos protocolos baseados em árvores que atuam de forma determinística. Assim, nos protocolos baseados em ALOHA, é estimada uma certa quantidade de etiquetas de um grupo total de etiquetas que irá disputar por *slots* de tempo, os quais serão alocadas nas suas transmissões.

Os problemas de colisão no *pure* ALOHA em sistemas de RFID são tratados da seguinte forma [Zhong et al. 2012]: se, no momento de uma transmissão, duas ou mais etiquetas enviarem seus dados simultaneamente para o leitor, ocorrerá certamente uma colisão. Dessa forma, é gerado um período de tempo randômico para que as etiquetas que se envolveram na colisão possam transmitir novamente apenas uma única etiqueta por vez. Um exemplo do funcionamento do *pure* ALOHA pode ser visto na Figura 3.1.

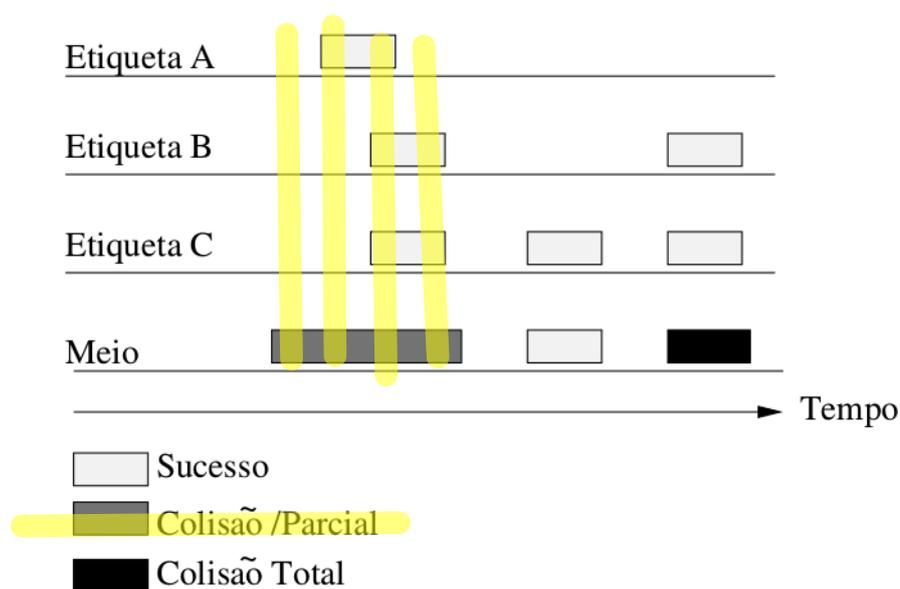


Figura 3.1 Exemplo de transmissão no pure ALOHA.

Observa-se que as etiquetas A, B e C fazem uma colisão parcial logo na primeira transmissão. Nota-se que no momento em que a etiqueta A transmite informações, parte dela colide com as etiquetas B e C, todas disputando o acesso ao meio simultaneamente, como pode ser visto na Figura 3.1. As colisões parciais podem acontecer no protocolo *pure* ALOHA devido à ausência de *slots* de tempo de tamanho fixo. Essa deficiência é comum do próprio protocolo. Enquanto as etiquetas B e C geram uma colisão total e apenas a etiqueta C consegue ser identificada com sucesso. De acordo com o que foi apresentado, existe uma problemática com o uso do *pure* ALOHA para RFID. Imaginemos que existam milhares de etiquetas a serem identificadas, dessa forma, poderá ocorrer uma demora muito significativa na identificação de todas as etiquetas. Em virtude da falta de gerenciamento do tempo para transmissão das etiquetas, elas passam a transmitir

informações a qualquer momento, gerando diversas colisões sucessivas.

3.2 SLOTTED ALOHA (SA)

Diferentemente do *Pure ALOHA*, o protocolo *Slotted ALOHA* adotou a ideia de fragmentar o tempo para transmissão em várias partes de tamanhos iguais, chamando-os de *slots* de tempo [Zhong et al. 2012]. Assim, é importante que todas as etiquetas envolvidas estejam sincronizadas com o objetivo de saber quando inicia e quando finaliza um *slot* antes de realizar qualquer transmissão.

De acordo com a Figura 3.2, três possíveis situações poderão ser encontradas: *slot* em colisão, quando duas ou mais etiquetas transmitem ao mesmo tempo; *slot* com sucesso, quando apenas uma única etiqueta transmite; e *slot* vazio, quando não há transmissão de etiquetas. A Figura 3.2 mostra o funcionamento do protocolo *Slotted ALOHA*. Note-se que, as etiquetas *A*, *B* e *C* disputam o acesso ao meio. A etiqueta *A* transmite sozinha, no primeiro *slot*; as etiquetas *B* e *C* colidem no segundo *slot*; no terceiro *slot* nenhuma etiqueta transmite informações, e no quarto *slot* apenas a etiqueta *C* transmite normalmente.

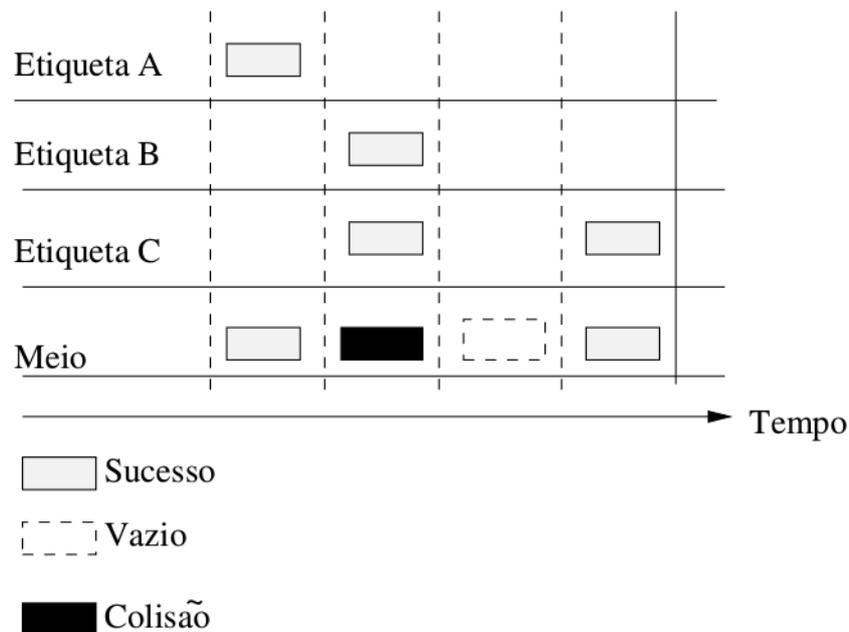


Figura 3.2 Exemplo de transmissão no *Slotted ALOHA*.

3.3 FRAME SLOTTED ALOHA (FSA)

O Protocolo *Frame Slotted ALOHA* é uma extensão do *Slotted ALOHA*, sua função é implementar a utilização de um quadro com tamanho fixo e composto por vários *slots*, no qual cada transmissão de etiquetas poderá ser alocada em apenas um único *slot* por quadro [Zhong et al. 2012]. Se houver a necessidade de uma etiqueta transmitir em um *slot* ocupado, ocorrerá uma colisão. Vale salientar que essa alocação de etiquetas em *slots* acontece de forma randômica.

A Figura 3.3 mostra um exemplo do protocolo *Frame Slotted ALOHA*. Verifica-se que inicialmente são gerados dois quadros de tamanhos fixos com quatro *slots* cada um. As etiquetas A, B e C vão disputar por *slots* no primeiro quadro. Observa-se que apenas a etiqueta A é identificada com sucesso logo no primeiro *slot*. Já no segundo, as etiquetas B e C geram uma colisão, porque realizaram uma transmissão em único *slot* simultaneamente. O terceiro e quarto *slots* apresentam-se como vazios, porque não houve nenhuma transmissão de etiquetas.

Devido à colisão ocorrida no primeiro quadro, ainda restam identificar as etiquetas B e C, gerando-se, para isso, um segundo quadro com essa finalidade. No segundo quadro, as etiquetas A, B e C são identificadas com sucesso, uma em cada *slot*. Já o último *slot* aparece como vazio, porque não houve transmissão de nenhuma etiqueta.

Porém, existe um dilema nesse protocolo. Para uma determinada quantidade de etiquetas a serem identificadas, caso se apresente um quadro com um tamanho grande, ou seja, com vários *slots*, poderá ser gerado um número alto de *slots* vazios, causando, assim, um desperdício. Se o tamanho do quadro for pequeno, poderá ocorrer um número alto de *slots* em colisões.

3.4 DYNAMIC FRAME SLOTTED ALOHA (DFSA)

Conforme foi mencionado sobre o problema da utilização de um quadro de tamanho fixo, surgiu a necessidade de se criar um protocolo que utiliza um quadro de tamanho variável.

O Protocolo *Dynamic Frame Slotted ALOHA*, ou simplesmente DFSA, é o mais

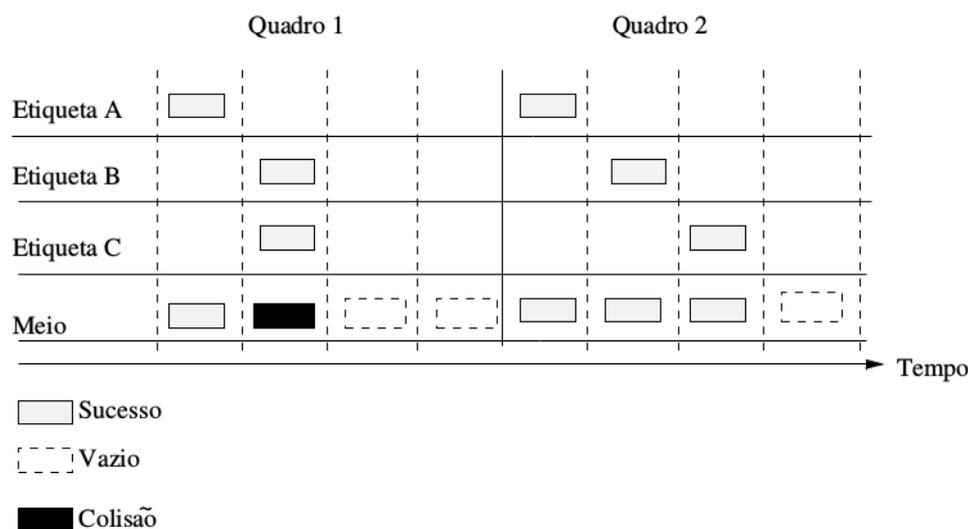


Figura 3.3 Exemplo de transmissão no *Frame Slotted* ALOHA.

eficiente de todas as extensões propostas para os protocolos anticisão baseados em ALOHA [Wang et al. 2012]. O protocolo DFSA tem a função de ajustar dinamicamente o tamanho do seu quadro antes de cada ciclo de leitura, com isso, ele consegue identificar um maior número de etiquetas com um menor tempo, devido à utilização de um tamanho de quadro teoricamente proporcional ao número de etiquetas que fazem parte do processo de identificação.

O DFSA funciona da seguinte forma: inicialmente, é gerado um quadro com o tamanho de um *slot*. As etiquetas A, B e C vão transmitir todas nesse único *slot*, gerando uma colisão. O protocolo DFSA percebe a necessidade de ajustar dinamicamente o quadro atual com base nas etiquetas que competiram por *slots* nesse quadro. Logo, é gerado um novo quadro com o tamanho de dois *slots* e apenas a etiqueta A é identificada com sucesso, e as demais geram uma colisão. Novamente, é gerado um novo quadro, agora com o tamanho de três *slots*, no qual a etiqueta B é identificada com sucesso e as demais geram uma colisão. E por fim, no último quadro, todas as etiquetas, A, B e C são identificadas com sucesso. O exemplo do protocolo DFSA pode ser visto na Figura 3.4.

Para o DFSA conseguir gerar um novo quadro, é preciso primeiramente estimar a quantidade de etiquetas que disputaram por *slots* no quadro anterior. Esse resultado é obtido através de algoritmos chamados de estimadores, os quais são capazes de estimar

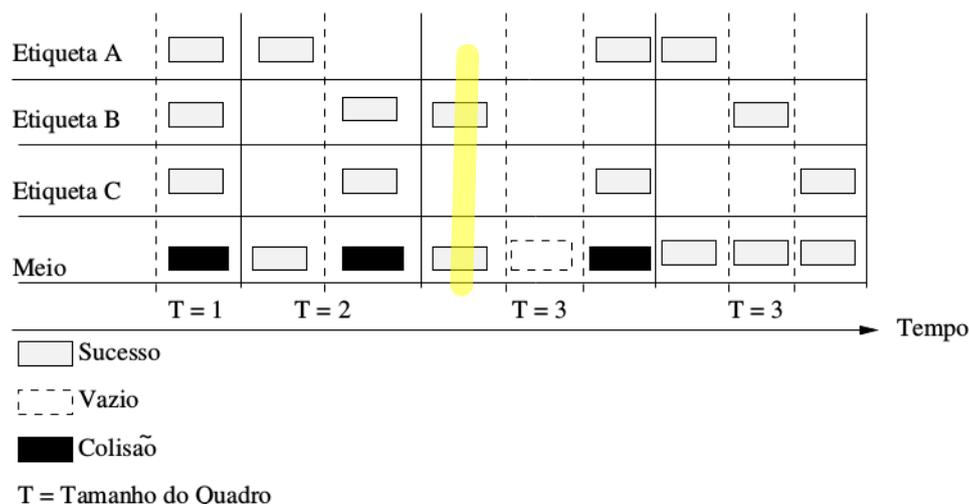


Figura 3.4 Exemplo de transmissão no *Dynamic Frame Slotted ALOHA*.

um grupo de etiquetas por ciclos de leituras. Na seção a seguir, serão apresentados alguns estimadores utilizados juntos com o protocolo DFSA.

3.5 ESTIMADORES PARA O PROTOCOLO DFSA

Conforme mostrado anteriormente, a que a função dos algoritmos estimadores é auxiliar no processo de como gerar um novo quadro de tamanho correto para um número de etiquetas que a serem identificadas.

Algumas informações podem ser obtidas no primeiro ciclo de identificação das etiquetas, assim, os resultados extraídos em disputa por *slots* poderão ter três possibilidades de resultados, quais sejam: sucesso, colisão ou vazio. Um *slot* com sucesso significa uma transmissão bem-sucedida de apenas uma única etiqueta em um *slot*. No caso de um *slot* em colisão, significa que no mínimo duas etiquetas tentaram transmitir em um único *slot* ao mesmo tempo. Quanto à situação de *vazio*, ocorre quando não há nenhuma transmissão para o respectivo *slot*. Com base nesses resultados, pode-se gerar uma estimativa de etiquetas que competiram por *slots* no quadro anterior.

Diversos tipos de estimadores que atuam junto com o DFSA podem ser encontrados na literatura [Chen 2014, Wang et al. 2012, Vales-Alonso et al. 2011]. Todos têm um objetivo em comum, que é aumentar sua precisão para estimar o número de etiquetas,

como também gerar um próximo quadro com o tamanho ideal para a quantidade de etiquetas que foram estimadas. Então, essa relação tem um fator determinante para a eficiência máxima no protocolo DFSA.

Com base nisso, foram escolhidos alguns estimadores mais utilizados para serem apresentados neste trabalho, como: [Schoute 1983], [Vogt 2002], [Eom e Lee 2010] e [Chen 2014].

3.5.1 Schoute

O estimador do Schoute utiliza um método no qual o número de etiquetas que ainda precisam ser identificadas corresponde a uma constante com valor igual a 2,39, multiplicado pela quantidade de *slots* em colisão. Essa constante corresponde a um valor médio de etiquetas que transmitiram em cada *slot* em colisão no quadro atual. Assim, C representa a quantidade de *slots* em colisão e x , representa o número total de etiquetas que precisam ser identificadas, conforme a seguinte equação (3.1):

$$x = 2,39 \cdot C \quad . \quad (3.1)$$

Dessa forma, o método utilizado pelo estimador do Schoute torna-se viável se a quantidade de etiquetas que estão se alocando nos *slots* de um quadro seguir a distribuição de Poisson com média unitária [Chen 2014]. É importante ressaltar que as etiquetas podem utilizar outros processos de distribuição.

3.5.2 Vogt

O estimador Vogt, o qual faz o uso do processo de Markov para a modelagem de leitura das etiquetas, uma vez que o número de etiquetas no ciclo de leitura seguinte depende do ciclo de leitura atual [Vogt 2002]. Logo, para se estimar um determinado grupo de etiquetas, é necessário que o resultado seja extraído através do número atual de etiquetas menos o número previsto, conforme mostrado na Equação (3.2).

$$\hat{f}(L, v, s, c) = \min_n \left| \begin{pmatrix} a_0^{L,n} \\ a_1^{L,n} \\ a_{\geq 2}^{L,n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} v \\ s \\ c \end{pmatrix} \right|. \quad (3.2)$$

Desse modo $a_0^{L,n}$, $a_1^{L,n}$, $a_{\geq 2}^{L,n}$ corresponde ao número previsto para quantidade de *slots* vazios, sucesso e colisão, respectivamente, com v , s , c , correspondem aos valores atuais, L representa o tamanho do quadro e n refere-se ao valor que minimiza o resultado dessa função. Com base no resultado estimado do número de etiquetas, o estimador do Vogt também consegue definir o tamanho do novo quadro. Por exemplo, se a quantidade de etiquetas a ser identificada corresponde a 13, então para essa quantidade, o tamanho do novo quadro é de 32 *slots*, como pode ser visto na Tabela 3.1.

O estimador do Vogt inicialmente apresenta um grave problema: quando se encontra em um cenário com um grande volume de etiquetas a serem identificadas, o seu desempenho é comprometido e o tornando-se inviável a sua utilização, considerando o tamanho do último quadro, que corresponde a 256 *slots*. Dessa forma, ele necessita realizar inúmeras rodadas de identificação. Atualmente, diversas aplicações em DFSA, observando essa falha, utilizam o estimador sem essa limitação.

Tabela 3.1 Tamanho de quadros em Vogt.

Tamanho do Novo Quadro	Intervalo de Etiquetas
16	[1, 9]
32	[10, 27]
64	[17, 56]
128	[51, 129]
256	[112, ∞]

3.5.3 Eom-Lee

O estimador do Eom-Lee considera que a probabilidade de um grupo de etiquetas r ocupar pelo menos um *slot* de um quadro de tamanho L , para um total de n etiquetas, segue a distribuição binomial [Eom e Lee 2010], representada pela Equação (3.3).

$$a_r^{L,n} = L \binom{n}{r} \left(\frac{1}{L}\right)^r \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-r}. \quad (3.3)$$

Entretanto, se o tamanho do quadro for relativamente grande, o resultado dessa distribuição pode ser encontrado em (3.4).

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\frac{1}{\beta}}}{\beta(1 - (1 + \frac{1}{\beta})e^{-\frac{1}{\beta}})}. \quad (3.4)$$

Assim, o estimador do Eom-Lee utiliza um algoritmo de iteração, com base nas seguintes equações (3.5) e (3.6) para uma aproximação de como estimar, respectivamente, o tamanho do novo quadro e a quantidade de etiquetas que competiram por este. Os valores L , s e c correspondem, respectivamente, ao tamanho do quadro, *slots* com sucesso e *slots* em colisão.

$$\beta_k = \frac{L}{\gamma_{k-1} \cdot c + s}, \quad (3.5)$$

$$\gamma_k = \frac{1 - e^{-\frac{1}{\beta_k}}}{\beta_k(1 - (1 + \frac{1}{\beta_k})e^{-\frac{1}{\beta_k}})}. \quad (3.6)$$

Nesse sentido, os valores de $\beta_1 = \infty$ e $\gamma_1 = 2$, e o limiar $|\gamma_{k^*-1} - \gamma_{k^*}|$ são estabelecidos como referência. Se os valores forem menor do que o limiar, o processo é encerrado imediatamente. Além disso, as novas equações são apresentadas como tamanho do novo quadro e estimação do novo número de etiquetas, respectivamente.

$$\hat{f} = \gamma_{k^*} \cdot c. \quad (3.7)$$

$$\hat{n} = \frac{\hat{f}}{\beta_{k^*}} . \quad (3.8)$$

3.5.4 Chen II

O estimador do Chen II [Chen 2014], primeiramente, inicia um ciclo de leitura com um parâmetro de consulta Q , de acordo com o qual, no i -ésimo *slot* no quadro inicial, é contabilizada a quantidade de etiquetas que disputaram por *slots*, gerando os seguintes resultados: s , v e c , que correspondem ao número de *slots* com sucesso, vazio e colisão, respectivamente.

Com base no resultado extraído, é utilizada a função de estimativa do número de etiquetas representado por \hat{n} ainda no quadro inicial, conforme a Equação (3.9).

$$\hat{n} = (s + k \cdot c) \cdot \frac{L}{i} \quad (3.9)$$

Assim como no Schoute, o estimador Chen II também utiliza uma constante, $k = 2,39$, a qual representa o número médio de etiquetas que vão transmitir nos *slots* em colisão. Logo, o tamanho do próximo quadro L relaciona-se diretamente com o resultado do valor de \hat{n} . Esses valores estão listados na Tabela 3.2.

Se não corresponder ao intervalo ideal, o quadro será ajustado, com a finalidade de encontrar o tamanho adequado com base na quantidade de etiquetas que ainda não foram identificadas, conhecidas por *backlog*, que pode ser obtido por:

$$backlog = \hat{n} - s . \quad (3.10)$$

É importante ressaltar que o tamanho do quadro utilizado poderá prejudicar a eficiência do estimador. Então, com base na relação entre tamanho do quadro e quantidade média de etiquetas, pode-se calcular a eficiência média para cada tamanho de quadro utilizado, de modo que não comprometa o desempenho do estimador. O valor \bar{U}_Q representa a vazão, n_{Q1} e n_{Q2} representam, respectivamente, o intervalo inicial e final da quantidade de etiquetas e n é igual ao número de etiquetas. Esses valores podem ser

Tabela 3.2 Tamanho do quadro em relação à quantidade de etiquetas estimadas.

Q	Tamanho do Quadro $L = 2^Q$	Etiquetas $n_{Q_1} - n_{Q_2}$	Desempenho
2	4	[1, 5]	0.404
3	8	[6, 11]	0.382
4	16	[12, 22]	0.372
5	32	[23, 44]	0.366
6	64	[45, 89]	0.363
7	128	[90, 177]	0.362
8	256	[178, 355]	0.361
9	512	[356, 710]	0.361
10	1024	[711, 1420]	0.361

encontrados na Equação (3.11).

$$\bar{U}_Q = \frac{1}{(n_{Q_2} - n_{Q_1} + 1)} \sum_{n=n_{Q_1}}^{n_{Q_2}} \frac{n}{2^Q} \cdot \left(1 - \frac{1}{2^Q}\right)^{n-1} \quad (3.11)$$

3.6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS ESTIMADORES

Nesta seção, será apresentada uma avaliação de desempenho com todos os estimadores mostrados neste capítulo, com o objetivo de compreender qual é o estimador mais eficiente. As métricas utilizadas para avaliação de desempenho foram: vazão, número total de *slots* para a identificação de todas as etiquetas, número total de *slots* em colisão e, por fim, número total de *slots* vazio.

Todos os estimadores avaliados utilizam um quadro inicial com tamanho de 64 e 128 *slots*, e a quantidade de etiquetas varia de 100 a 1.000, distribuídas aleatoriamente. Assim, poderemos analisar o comportamento dos diversos estimadores em ambas as situações. Os simuladores foram validados através de comparações com outros trabalhos da literatura, utilizando as mesmas métricas como parâmetro de comparação.

Para tanto, foi implementado um simulador de eventos discretos na linguagem C,

seguindo as normas estabelecidas pela EPCglobal Class1 Generation 2 para o protocolo DFSA.

Vale salientar que o modelo de simulação utilizado foi de apenas um único leitor, que se comunica com várias etiquetas e o canal de comunicação apresentado é livre de erros. Para garantir a convergência dos resultados apresentados, foram extraídos a partir da média dos resultados de 1.000 simulações, com passos de 100. Diante disso, o simulador se encerra quando todas as etiquetas da simulação forem identificadas.

3.6.1 Resultados do quadro inicial de 64 Slots

A Figura 3.5 mostra o número total de *slots* em colisão com o tamanho do quadro inicial de 64 *slots*. Nota-se que o Schoute e o Vogt apresentam um crescimento exponencial significativo em função do aumento do número de etiquetas a serem identificadas. Dentre os estimadores avaliados, o Eom-Lee é o melhor de todos, com até pouco mais de 750 etiquetas. Após esse número o Chen II leva uma pequena vantagem apresentando graficamente um valor menor na quantidade total de *slots* em colisão, em relação ao Eom-Lee.

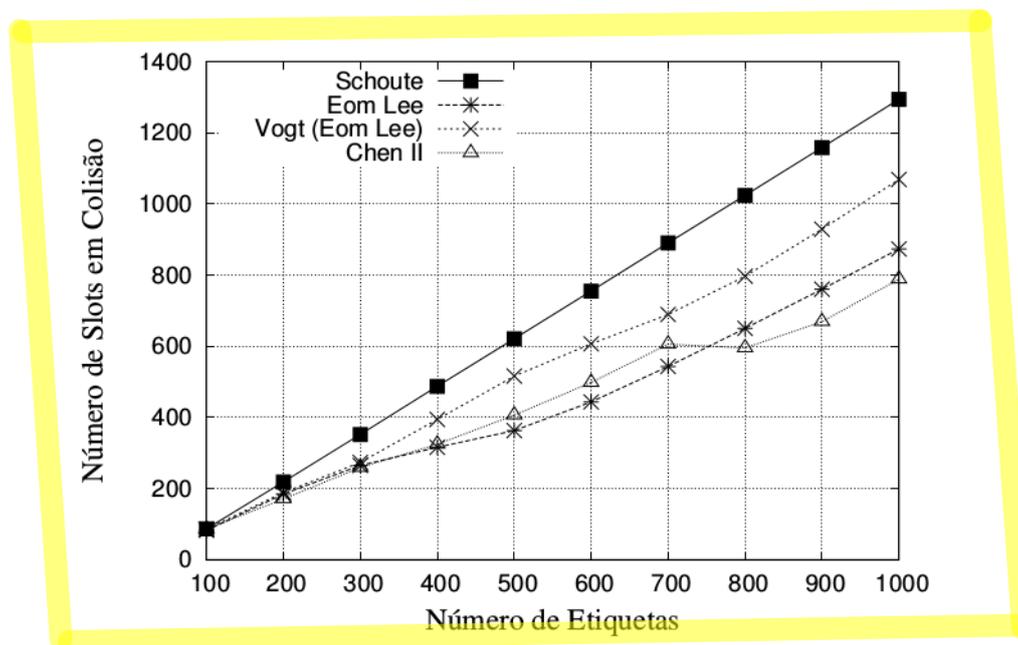


Figura 3.5 Desempenho considerando o número total de *slots* em colisão.

A Figura 3.6 mostra o número de total de *slots* vazios, em que todos os estimadores

apresentam resultados muito similares, de até 300 etiquetas. Após esse número, o Eom-Lee demonstra maior quantidade de *slots* vazios, com até pouco mais de 750 etiquetas, e o estimador do Chen II apresenta o maior número de *slots*, a partir de 800 etiquetas, mas com uma diferença pequena em relação ao Vogt no final. Por fim, o Schoute apresenta o melhor desempenho com relação a todos os outros estimadores, com a menor quantidade de *slots* vazios.

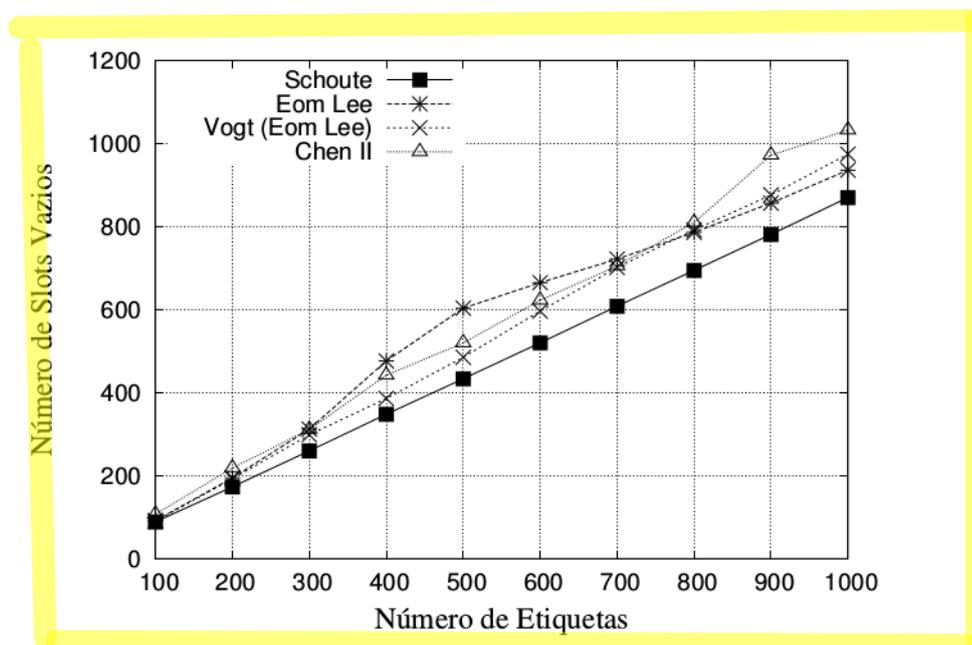


Figura 3.6 Desempenho considerando o número total de *slots* vazios.

O Schoute e o Vogt como mostrado na Figura 3.7, necessitam de uma maior quantidade de *slots* para a identificação de todas as etiquetas. Já o Eom-Lee tem um desempenho parecido com o Chen II, levando ambos uma pequena vantagem em relação aos outros estimadores.

Percebe-se que a Figura 3.8 representa uma avaliação de desempenho utilizando a vazão como métrica, e novamente o Eom-Lee e o Chen II possuem um melhor desempenho em relação aos outros estimadores. Para a realização da vazão como métrica, é utilizado como parâmetro o número total de *slots* usados na identificação de todas as etiquetas dividido pelo número de etiquetas, como é visto na Figura 3.8.

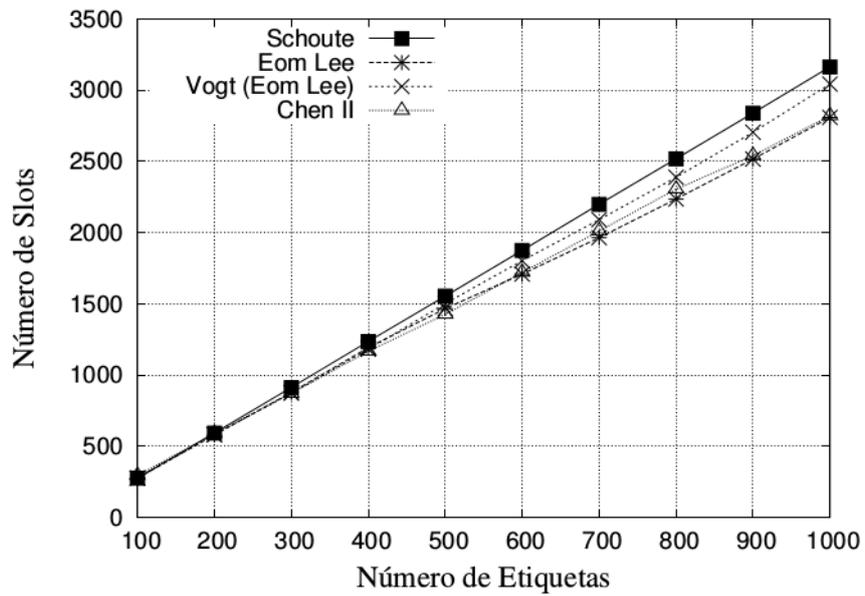


Figura 3.7 Desempenho considerando o número total de slots.

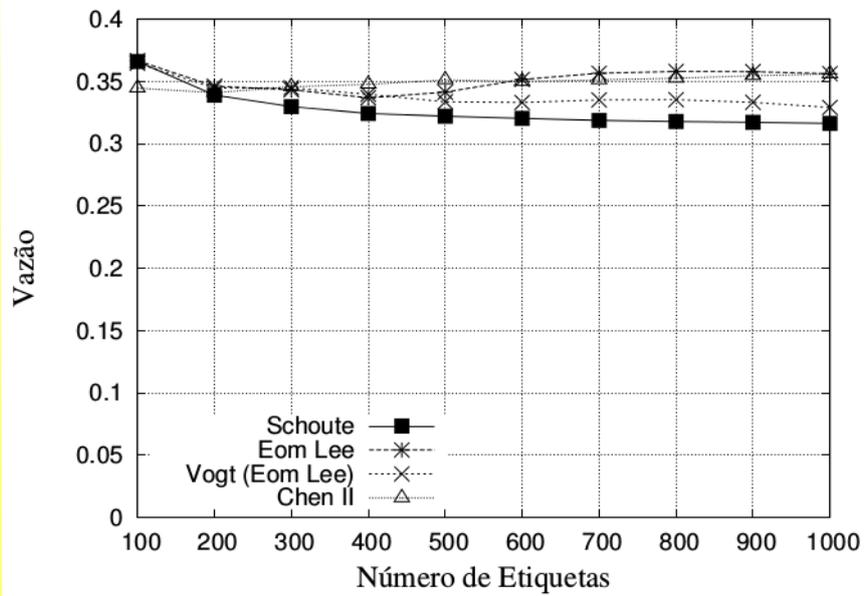


Figura 3.8 Desempenho considerando a vazão.

3.6.2 Resultados do quadro inicial de 128 slots

A Figura 3.9 mostra o número total de *slots* em colisão com o tamanho do quadro inicial de 128 *slots*, no qual para cada um dos estimadores o número de etiquetas varia de 100 a 1.000. Nessa situação, o estimador Schoute apresenta o pior desempenho em relação a todos os outros estimadores. Já o Eom-Lee e o Vogt demonstram o mesmo desempenho, até aproximadamente 700 etiquetas, quando no gráfico do Vogt começa a crescer rapidamente o número *slots* em colisão. É perceptível que o Chen II é o que possui o menor número de *slots* em colisão, em relação, a todos os outros estimadores.

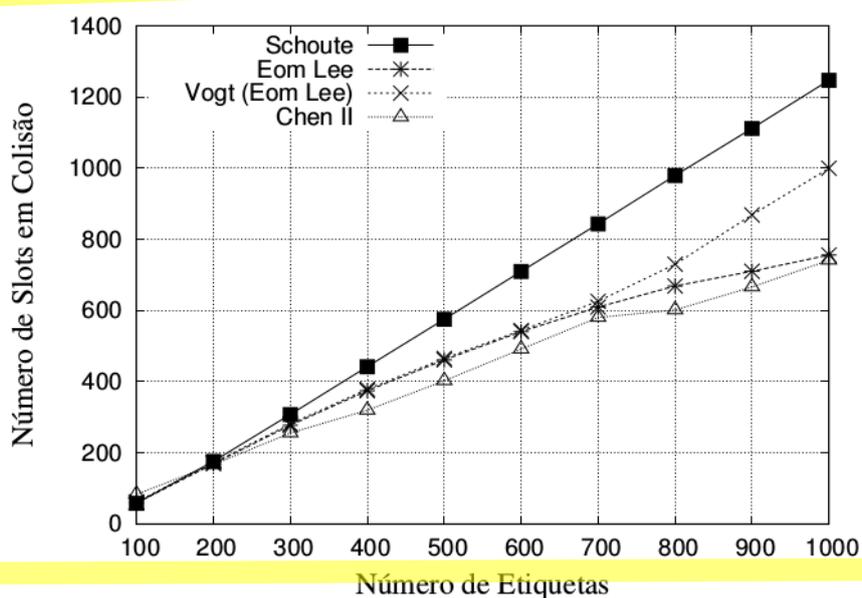


Figura 3.9 Desempenho considerando o número total de *slots* em colisão.

Na Figura 3.10, independentemente de utilizar como tamanho do quadro inicial de 128 *slots*, o Schoute repete o mesmo resultado, apresentando a menor quantidade de *slots* vazios em relação a todos os outros estimadores. Já os estimadores Eom-Lee, Vogt, e Chen II possuem praticamente a mesma quantidade de *slots* vazios, até 700 etiquetas. Logo após esse valor, os estimadores Chen II e Eom-Lee têm um pequeno crescimento de até 800 etiquetas. Por fim, o Eom-Lee apresenta o maior número de *slots* vazios.

Na Figura 3.11, todos os estimadores apresentam praticamente o mesmo desempenho em relação ao número total de *slots*, até 500 etiquetas. O Schoute diverge para maior e

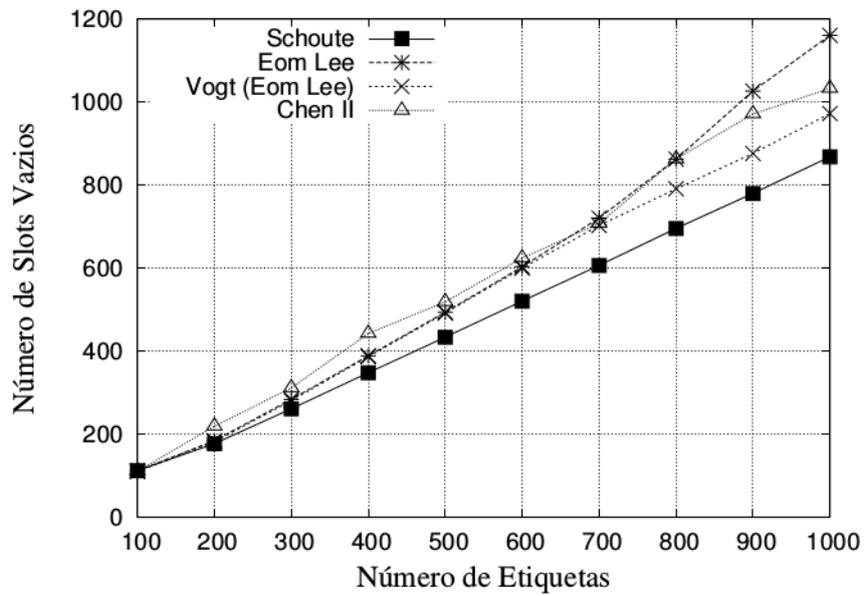


Figura 3.10 Desempenho considerando o número total de *slots* vazios.

os demais se mantêm estáveis, até aproximadamente 800 etiquetas, quando o estimador Chen II apresenta uma pequena redução no número total de *slots* com o resultado igual ao Eom-Lee.

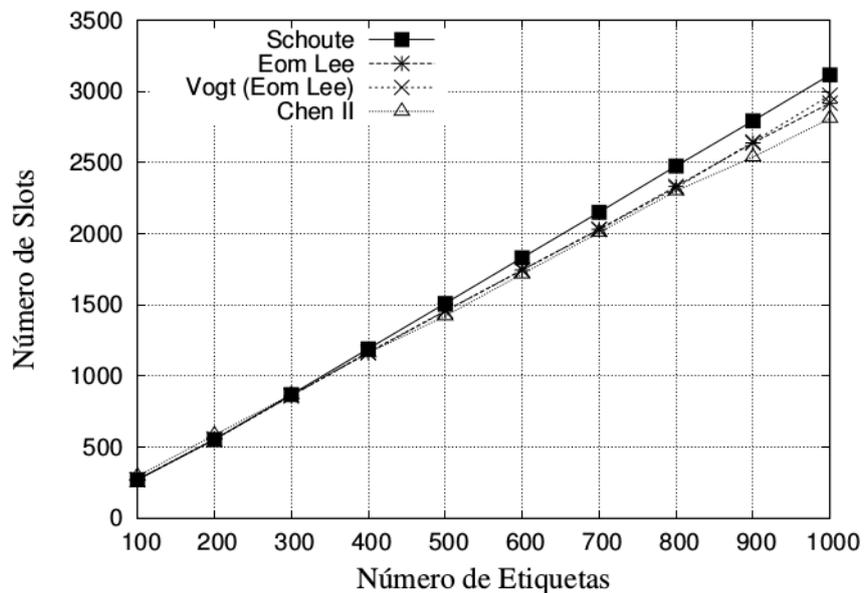


Figura 3.11 Desempenho considerando o número total de *slots*.

Por fim, na Figura 3.12, o estimador Chen II possui inicialmente o pior desempenho, com a métrica de vazão de até aproximadamente 300 etiquetas. Logo depois, mantém estável até as 1.000 etiquetas, juntamente com o Eom-Lee, enquanto que demais têm uma pequena perda de performance com relação à métrica de vazão.

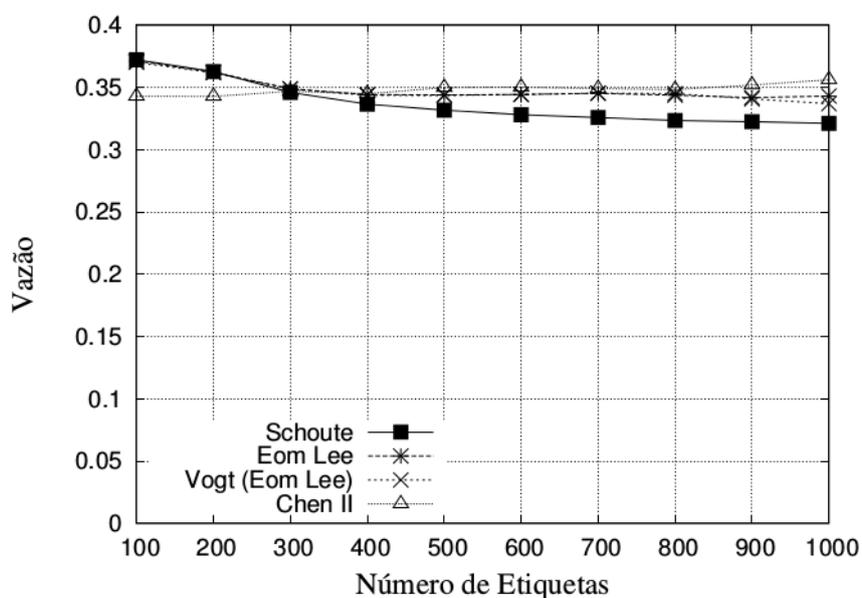


Figura 3.12 Desempenho considerando a vazão.

Pelo exposto, foi concluído que os estimadores Eom-Lee e Chen II obtiveram uma quantidade menor do número total de *slots* em colisão, quando comparados com os estimadores do Vogt e do Schoute. Dessa forma, podemos concluir que houve uma redução do número total de *slots*, contribuindo para um melhor desempenho dos estimadores, ou seja, uma melhor métrica de vazão, o que se aproximou do resultado ideal, igual a 36,8%, que significa a eficiência máxima do protocolo DFSA [Maguire e Pappu 2009]. Esse resultado é representado por $1/e$, que corresponde ao número total de *slots* identificados com sucesso dividido pelo número total de *slots* gastos para realizar o processo de identificação para um determinado grupo de etiquetas.

3.7 RESUMO

Um dos maiores problemas nos sistema de RFID é o tradicional acesso múltiplo ao meio. Objetivando resolver problemas de colisão de etiquetas, foram apresentados os tipos de protocolos anticisão baseados em ALOHA. Inicialmente, existia um quadro com tamanho fixo contendo vários *slots*, no qual as etiquetas eram transmitidas apenas uma por *slots*. Para resolver essa problemática, surge o Protocolo Dynamic Frame Slotted ALOHA (DFSA), que tem a função de gerar quadros de tamanhos variados, de acordo com a quantidade de etiquetas que competiam por *slots*.

No protocolo DFSA, para se obter um melhor desempenho, ou seja, gerar um quadro de tamanho ideal para uma quantidade de etiquetas no processo de identificação, é necessário possuir um estimador bastante acurado. Assim, foram expostos nesse capítulo diversos estimadores, como: Schoute, Vogt, Eom-Lee e Chen II, todos com o objetivo em comum de maximizar a eficiência no protocolo DFSA.

Por fim, foram realizadas avaliações de desempenho com os estimadores citados em duas situações, com o quadro de tamanho inicial de 64 e 128 *slots* e utilizando como métricas quantidade total de *slots*, quantidade total de *slots* em colisão, quantidade total de *slots* vazios e a vazão. Esta última métrica corresponde à eficiência máxima que pode ser obtida no protocolo DFSA.

CAPÍTULO 4

PROPOSTA DE UM ESTIMADOR

Este capítulo apresenta uma proposta de extensão para o estimador do [Chen 2014], tendo em vista que, devido a sua simplicidade e eficiência, tornou-se um atrativo para ser o objeto de pesquisa desse trabalho. Porém, esse estimador possui um problema de limitação para identificar uma quantidade acima de 1.000 etiquetas. Diante desse contexto, este trabalho se propõe a resolver essa limitação quando envolve um grande volume de etiquetas, de modo a manter o desempenho do estimador com um baixo custo computacional. Os resultados obtidos mostram que, além de simples, a implementação do algoritmo também é mais eficiente do que outros estimadores em diversas situações, utilizando tamanho de quadro inicial de 64 e 128 *slots*.

4.1 EXTENSÃO DO ESTIMADOR

Como foi mencionado, diversos estimadores trabalham com o objetivo de gerar uma estimativa mais precisa do número de etiquetas em relação ao tamanho do próximo quadro a ser utilizado. Em alguns casos, para aumentar a precisão dos estimadores, é necessário o uso de uma significativa carga computacional visando realizar cálculos matemáticos complexos [Chen 2014]. Apesar de essa estimativa melhorar o desempenho do protocolo DFSA, essa precisão poderá aumentar os custos computacionais. Além disso, deve-se levar em consideração a sua implementação em etiquetas passivas, principalmente se esse número de etiquetas for acima de 1.000 etiquetas.

Conforme visto na seção anterior, o estimador do Chen II, apesar de ser um eficiente estimador para uma quantidade máxima de até 1.000 etiquetas, apresenta uma limitação, tendo em vista que somente demonstra eficiência se o número máximo do intervalo de eti-

quetas, mostrado na Tabela 3.2, for menor ou igual a 1.420 etiquetas. Portanto, se o número de etiquetas ultrapassar esse valor, o seu estimador passar a perder desempenho devido ao tamanho inadequado para o próximo quadro em relação à população de etiquetas que poderá ultrapassar esse valor citado.

A métrica de vazão é uma das mais utilizadas para testar o desempenho de um sistema em RFID que corresponde ao número total de *slots* identificados com sucesso dividido pelo número total de *slots* utilizados no processo de identificação de etiquetas. As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam graficamente o desempenho do estimador Chen II em duas situações, com o tamanho do quadro inicial de 64 e 128 *slots*, podendo-se notar que os resultados se mantêm quase inalterados, devido à distribuição do número de etiquetas, que varia de 100 a 1.000.

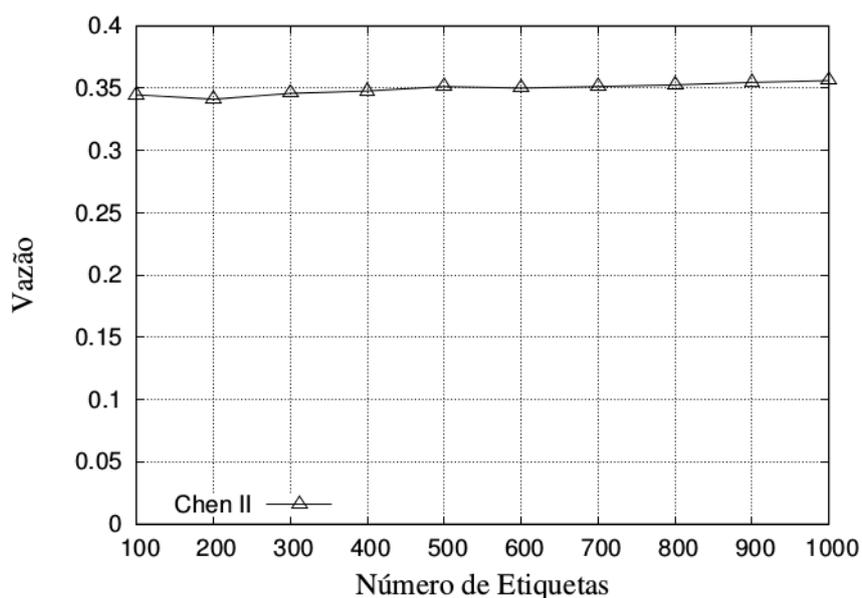


Figura 4.1 Desempenho do Chen II para 1.000 etiquetas com quadro inicial de 64 *slots*.

No entanto, essa situação se inverte nas Figuras 4.3 e 4.4, quando o número passa a ser de 1.000 a 10.000 etiquetas com o tamanho do quadro inicial de 64 e 128 *slots*. Observa-se no gráfico que o desempenho do estimador Chen II fica próximo a zero, quando se aproxima da quantidade de 9.000 etiquetas. Desse modo, foi provado que o seu estimador não é viável para esse volume de etiquetas.

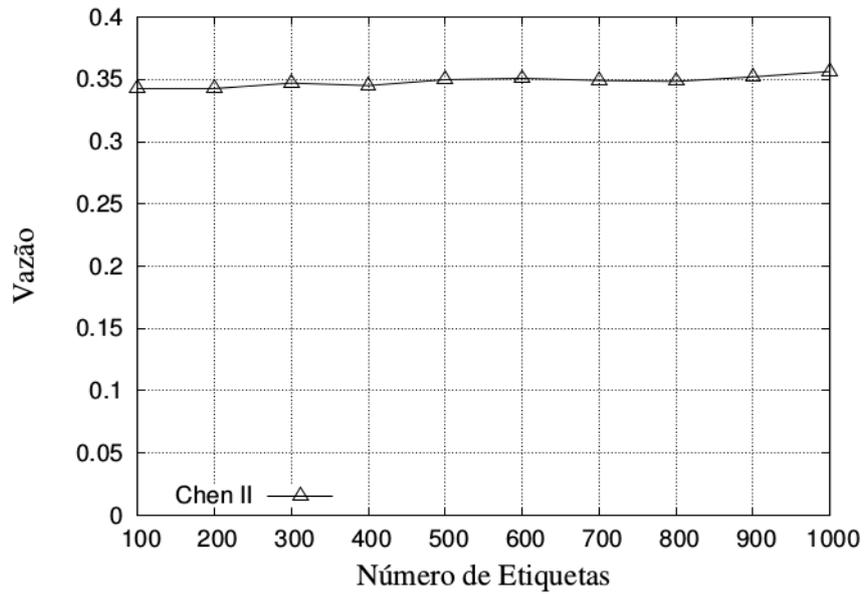


Figura 4.2 Desempenho do Chen II para 1.000 etiquetas com quadro inicial de 128 slots.

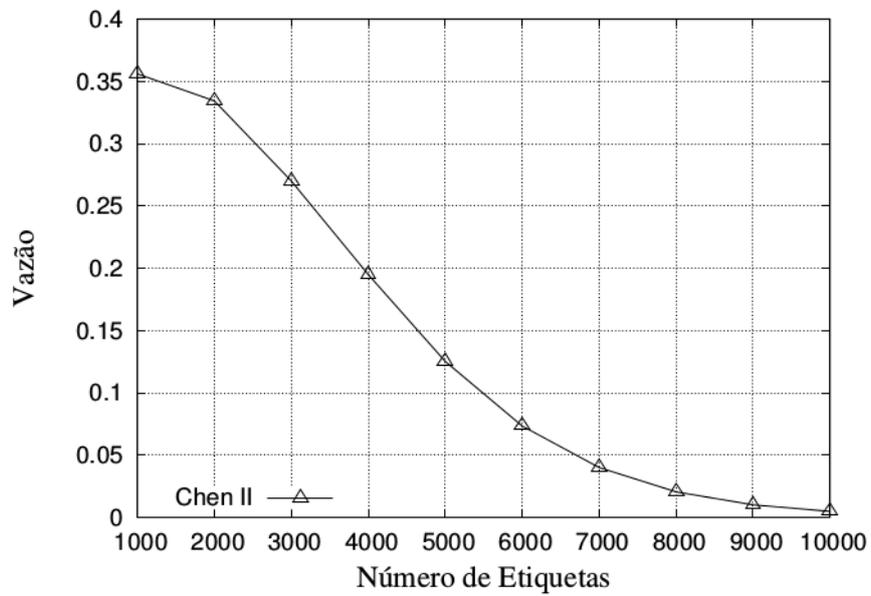


Figura 4.3 Desempenho do Chen II para 10.000 etiquetas com quadro inicial de 64 slots.

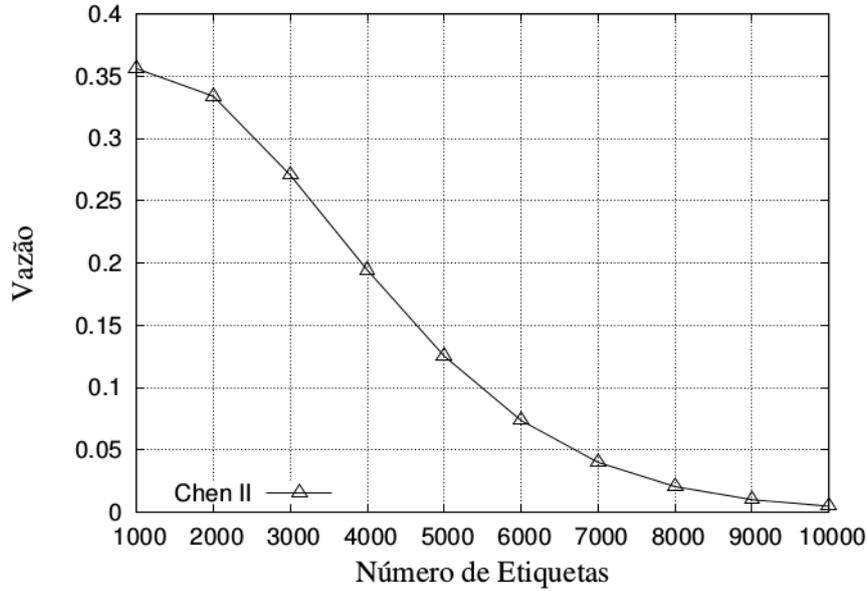


Figura 4.4 Desempenho do Chen II para 10.000 etiquetas com quadro inicial de 128 *slots*.

Diante dos problemas encontrados no estimador Chen II, foi proposta uma extensão no seu estimador, fazendo com este tenha a capacidade de identificar uma população de etiquetas maior que 1.000, sem, conseqüentemente comprometer o seu desempenho em relação às métricas utilizadas. Note-se que para essa extensão foram acrescentados valores no seu estimador através da Equação (4.1), continuando o tamanho do próximo quadro 2^Q .

$$n_{Q1} = n_{\hat{Q}2} + 1 \quad (4.1)$$

$$n_{Q2} = (n_{\hat{Q}1} \cdot 2) - 2$$

Onde a variável n_{Q1} corresponde ao início do novo intervalo de etiquetas e n_{Q2} referente ao final do novo intervalo de etiquetas. Então, $n_{\hat{Q}1}$ e $n_{\hat{Q}2}$ correspondem respectivamente, ao início e ao final do intervalo anterior antes da extensão, conforme a Tabela 4.1. Assim, essa nova equação demonstra como realizar a extensão do estimador proposto.

O desempenho do estimador proposto pode ser comprovado pela Equação (4.2), a mesma que é utilizada pelo Chen II.

$$\bar{U}_Q = \frac{1}{(n_{Q_2} - n_{Q_1} + 1)} \sum_{n=n_{Q_1}}^{n_{Q_2}} \frac{n}{2^Q} \cdot \left(1 - \frac{1}{2^Q}\right)^{n-1} \quad (4.2)$$

Com base no resultado dessa Equação, o estimador deve ser estendido e adequado para identificar uma população de etiquetas superior a 10.000, conforme a Tabela 4.1, mantendo praticamente o mesmo desempenho, apesar de um aumento significativo do número de etiquetas no estimador.

Tabela 4.1 Tamanho do quadro em relação a quantidade de etiquetas.

Q	Tamanho do Quadro $L = 2^Q$	Etiquetas $n_{Q_1} - n_{Q_2}$	Desempenho
2	4	[1, 5]	0.404
3	8	[6, 11]	0.382
4	16	[12, 22]	0.372
5	32	[23, 44]	0.366
6	64	[45, 89]	0.363
7	128	[90, 177]	0.362
8	256	[178, 355]	0.361
9	512	[356, 710]	0.361
10	1024	[711, 1420]	0.361
11	2048	[1421, 2840]	0.361
12	4096	[2841, 5680]	0.361
13	8192	[5681, 11360]	0.361

Outra vantagem desse estimador é que não necessita da realização de cálculos matemáticos complexos, desse modo seu custo computacional de processamento é menor, tornando-o um estimador simples, rápido e eficiente para ser utilizado em conjunto com o protocolo DFSA.

4.2 ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS ESTIMADORES

Nesta seção, será apresentada uma avaliação de desempenho com todos os estimadores mostrados anteriormente. Para tanto, é preciso haver uma comparação entre todos os estimadores para que se entenda em qual situação é melhor utilizá-los.

As métricas que foram avaliadas correspondem a: vazão, número total de *slots* para a identificação de todas as etiquetas envolvidas, número total de *slots* vazios e, por fim, número total de *slots* em colisão, todos com o quadro inicial de 64 e 128 *slots* para o número de 10.000 etiquetas, com passos de 1.000.

Lembrando que o canal de transmissão é livre de erros, onde será utilizado um simulador com uma média de 1000 simulações, para não haver convergência de resultados. Essa simulação só termina quando todas as etiquetas forem identificadas.

4.2.1 Desempenho dos estimadores com quadro inicial de 64 slots

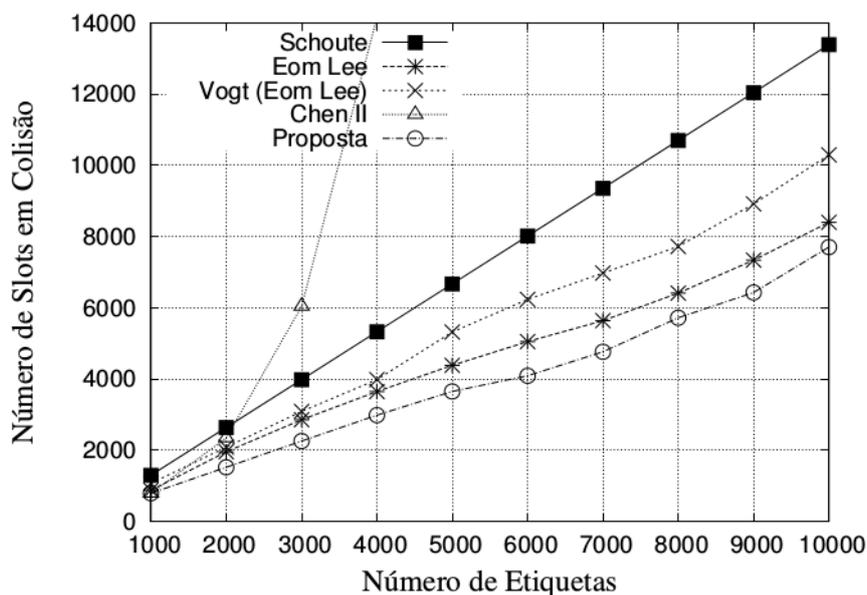


Figura 4.5 Desempenho considerando o número total de *slots* em colisão.

A Figura 4.3 mostra uma representação gráfica de uma avaliação de desempenho usando como métrica o número total de *slots* em colisão, utilizando como tamanho o

quadro inicial de 64 *slots*. Nessa situação, o estimador do Chen II apresenta o maior número de *slots* em colisão, a partir de 2.500 etiquetas. Esse problema ocorre devido à impossibilidade de gerar o tamanho adequado para próximo quadro, de acordo com o número atual de etiquetas.

O estimador do Schoute também não apresenta um bom desempenho, mostrando-se como o segundo pior para essa métrica. Já o Vogt e o Eom-Lee, inicialmente, demonstram valores muito parecidos, de até 3.000 etiquetas. Depois o Vogt aumenta exponencialmente o número de *slots* em colisão. A proposta apresenta uma menor quantidade de *slots* em colisão, em relação a todos os outros estimadores. Observa-se que ela inicia o processo com menos *slots* em colisão e, conseqüentemente, consegue se manter até o término.

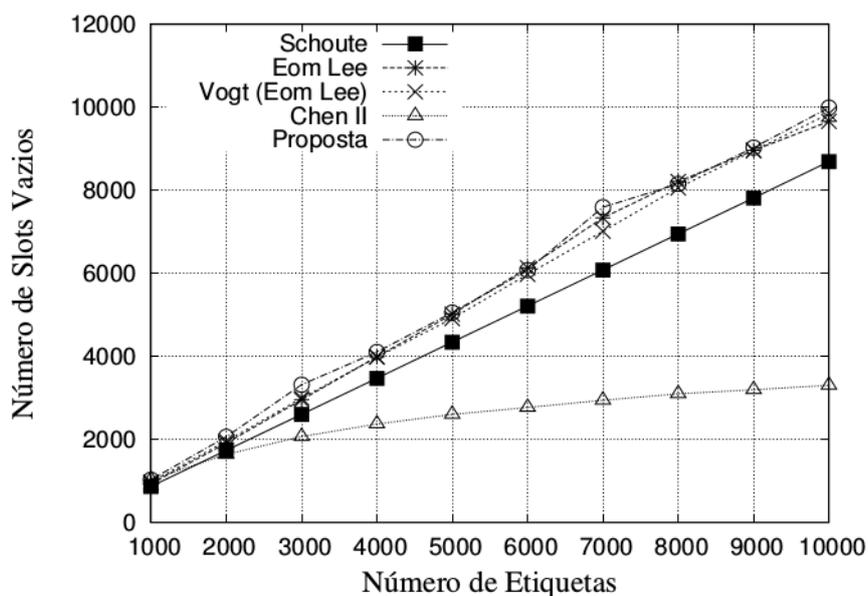


Figura 4.6 Desempenho considerando o número total de *slots* vazios.

A Figura 4.4 expõe que o estimador Chen II apresenta um menor número de *slots* vazios. Esse resultado está relacionado com a limitação de tamanho do seu próximo quadro. Devido a essa limitação, o Chen II gera vários quadros de tamanho menor e, desse modo, a probabilidade de *slots* vazios é bem menor do que nos demais estimadores. O estimador do Schoute também consegue ter um número menor de *slots* vazios do que os estimadores Eom-Lee, Vogt e a Proposta, que apresentam resultados muito próximos.

A Figura 4.5 trata resultados do número total de *slots* que são utilizados para realizar o processo de identificação de todas as etiquetas envolvidas. Conforme já mencionado, o estimador Chen II utiliza mais *slots* devido ao tamanho máximo de 1.024 *slots* que consegue gerar como próximo quadro. Essa limitação causa um grande impacto no processo de identificação, ocasionando um atraso significativo. Observa-se que os estimadores Eom-Lee e a Proposta apresentam desempenho muito parecido, porém a Proposta consegue diminuir em poucos *slots*, em relação ao Eom-Lee.

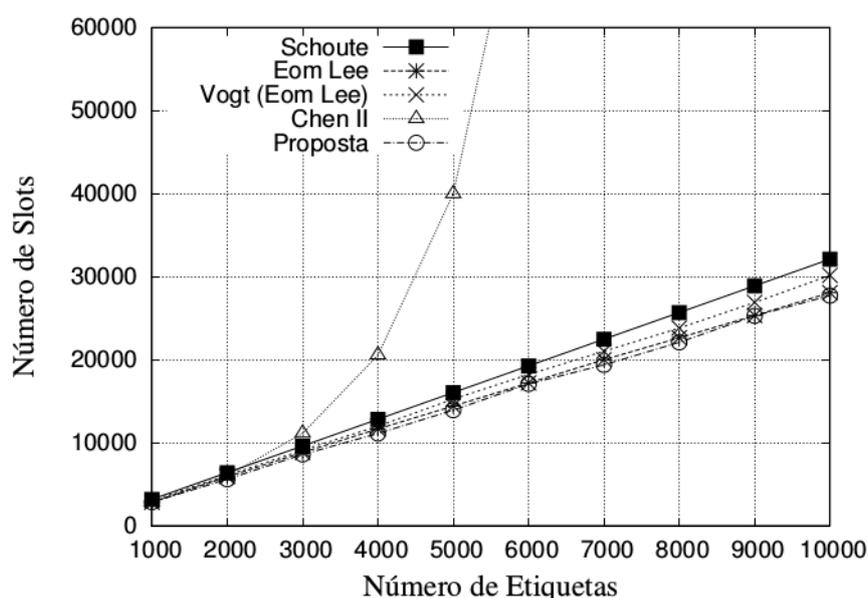


Figura 4.7 Desempenho considerando o número total de *slots*.

Na Figura 4.6, a vazão é mostrada como métrica e, novamente, o estimador Chen II demonstra o pior desempenho em relação aos outros estimadores. Como a vazão é uma métrica que apresenta a eficiência máxima do DFSA, fica, então, claro que o uso do estimador Chen II para esse cenário torna-se inviável. A proposta se mantém bem estável e leva uma pequena vantagem em relação ao estimador Eom-Lee.

4.2.2 Desempenho dos estimadores com quadro inicial de 128 slots

A Figura 4.7 expõe uma avaliação de desempenho com o número total de *slots* em colisão, utilizando quadro inicial de 128 *slots*. Novamente, o estimador Chen II possui a maior

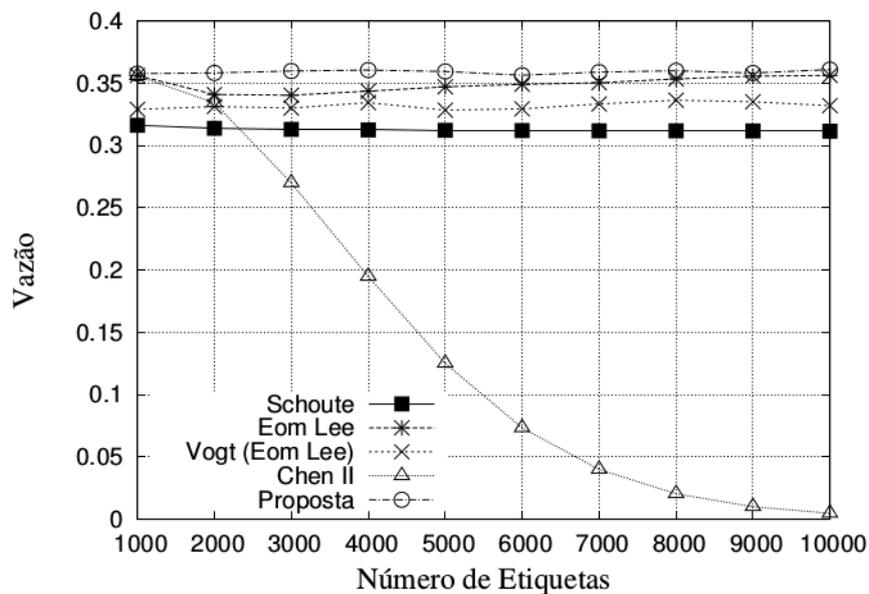


Figura 4.8 Desempenho considerando a vazão.

quantidade de *slots* em colisão, em relação aos demais estimadores. A Proposta repete novamente com o menor número de *slots* em colisão. Verifica-se que os resultados são bem similares com a avaliação anterior, que utilizava como tamanho o quadro inicial de 64 *slots*. Apenas o Eom-Lee apresentou um pequeno aumento.

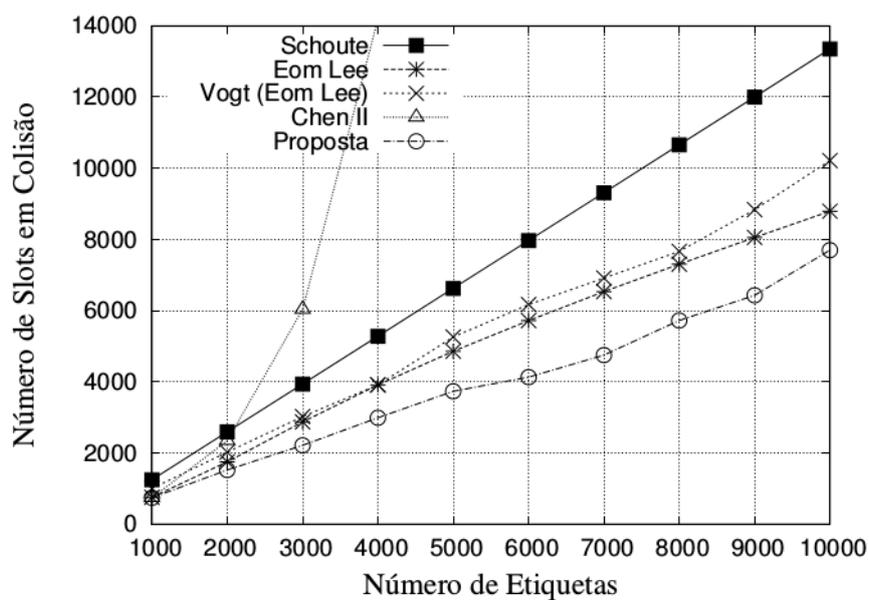


Figura 4.9 Desempenho considerando o número total de *slots* em colisão.

Na Figura 4.8, os estimadores Schoute, Eom-Lee e a Proposta aparecem praticamente com o mesmo desempenho no que se refere à quantidade de *slots* vazios. Como mencionado, o estimador Chen II apresenta o menor número de *slots* vazios devido a uma limitação no tamanho do seu próximo quadro. Já Schoute repete o mesmo desempenho da Figura 4.4.

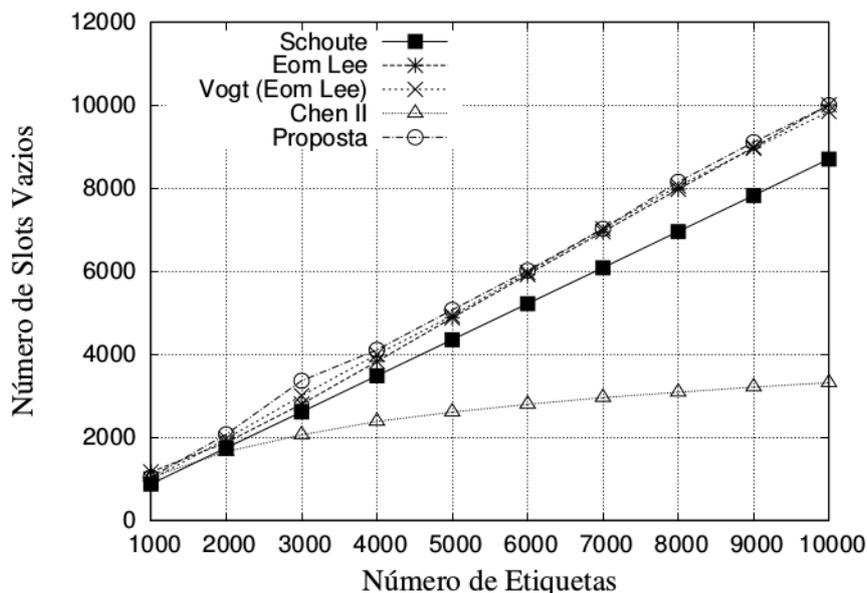


Figura 4.10 Desempenho considerando o número total de *slots* vazios.

A Figura 4.9 revela que houve uma pequena redução do número total de *slots* na Proposta em relação aos demais estimadores. Quando utilizado como tamanho o quadro inicial de 64 *slots*, o Eom-Lee e a Proposta tinham apresentado praticamente os mesmos resultados. Conforme citado, o estimador Chen II precisa de um número muito grande de *slots* e de vários quadros para identificar uma população de 10.000 etiquetas, dessa forma o seu estimador apresenta uma deficiência que o torna inviável.

Por fim, a Figura 4.10 mostra novamente que o estimador Chen II é ineficiente quando há uma quantidade de 10.000 etiquetas. No caso da Proposta, prova ser o estimador mais eficiente, uma vez que a soma total de *slots* para a identificação de todas as etiquetas acaba interferindo no resultado final da vazão. Nesse exemplo, a Proposta apresenta-se novamente mais estável do que os demais estimadores. Diante disso, pode-se concluir que

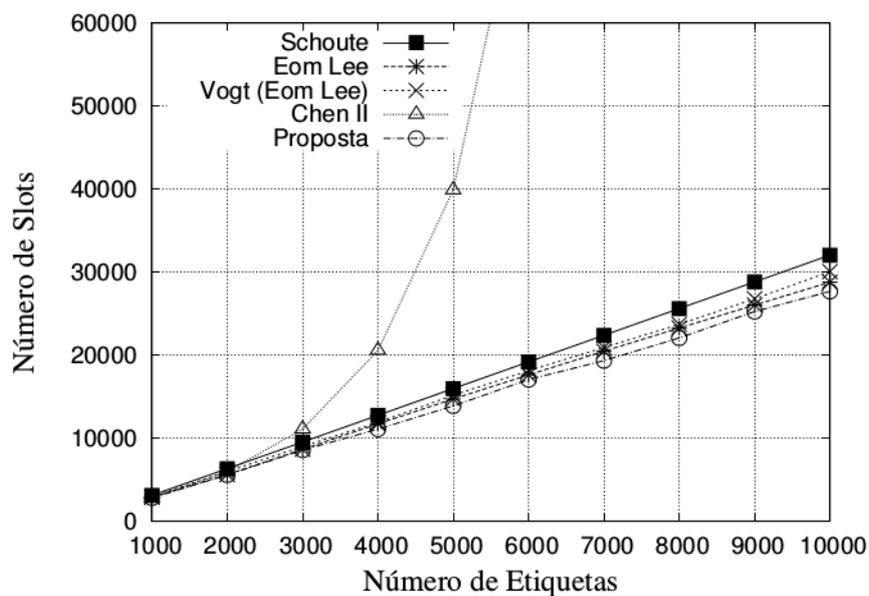


Figura 4.11 Desempenho considerando o número total de *slots*.

é o melhor estimador em ambas as situações, tanto com o tamanho do quadro inicial de 64 quanto com o de 128 *slots*.

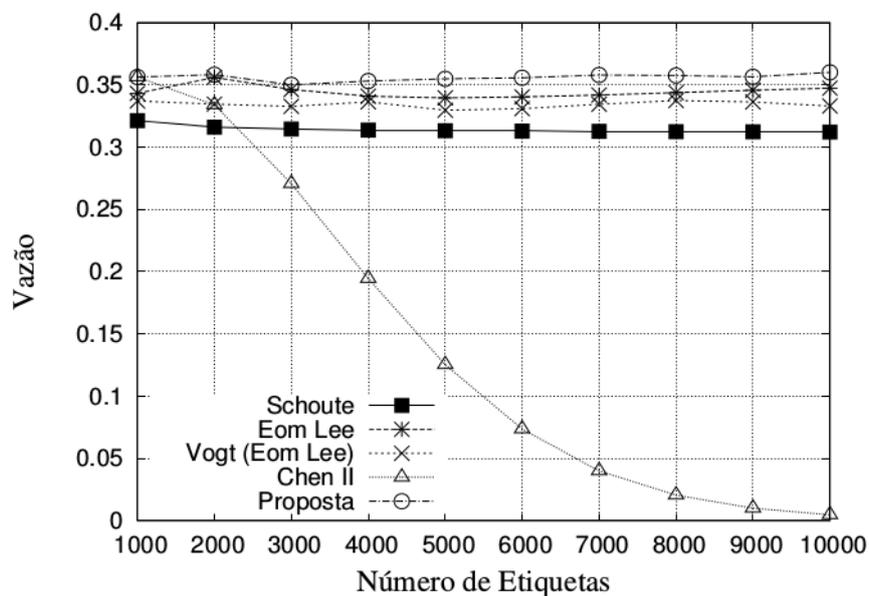


Figura 4.12 Desempenho considerando a vazão.

4.3 RESUMO

Neste capítulo, foi apresentada uma extensão do estimador Chen II, de modo que fosse capaz de identificar um número de 10.000 etiquetas. A princípio, o estimador era totalmente ineficiente para tal cenário, sendo provado que, para essa situação, o estimador do Chen II não era capaz de estimar com eficiência essa quantidade de etiquetas.

Desse modo, foi criada uma extensão com base na existente, a qual fosse capaz de estimar e também gerar um próximo quadro adequado para tal situação. Para tanto, foram realizadas simulações com diversas avaliações de desempenho, utilizando tamanhos de quadros com 64 e 128 *slots* e métricas como: número total de *slots* para o processo de identificação, número total de *slots* vazios, número total de *slots* em colisão e também a vazão. Esse último caso é referente à eficiência máxima no protocolo DFSA. Os resultados das avaliações de desempenho mostraram que a proposta é totalmente viável para tal situação, independentemente do quadro inicial a ser utilizado.

CONCLUSÃO

Existem diversas aplicações que fazem uso de um sistema RFID com um cenário de 10.000 etiquetas. Pode-se citar como exemplo o ambiente hospitalar, onde é necessário um controle constante sobre os ativos hospitalares, tais como: equipamentos, material hospitalar, inventário de medicamentos de uma farmácia hospitalar, banco de sangue, roupas de cama, vestuários e utensílios. O controle desses ativos tem influência direta no custo das organizações médicas, haja vista que o desperdício, o mau uso do patrimônio hospitalar e a sua utilização indevida, contribuem para o aumento dos prejuízos dessas organizações.

Nessa perspectiva, este trabalho apresentou diversos protocolos anticolisão de etiquetas, todos com o objetivo em comum de controlar o acesso ao meio. Em especial, foi mostrado o protocolo anticolisão baseado em ALOHA, o DFSA, que tem por finalidade melhorar o desempenho no processo de identificação para um cenário com 10.000 etiquetas.

Para isso, foram apresentados diversos estimadores que atuam em conjunto com o protocolo DFSA, todos com a finalidade em comum de melhorar o DFSA, estimando uma quantidade de etiquetas de acordo com o tamanho do próximo quadro no qual serão alocadas. Verificou-se então que diversos estimadores necessitam de cálculos matemáticos complexos para a realização de uma estimativa mais acurada. Dessa forma, o consumo de carga computacional deve ser levado em consideração quando há uso de etiquetas passivas, não possuindo nenhum recurso adicional de *hardware*.

Contudo, foi observado um estimador simples e eficiente, com a capacidade de realizar a identificação de etiquetas, superando, em alguns casos, o desempenho de outros estimadores apresentados neste trabalho. Porém, esse estimador citado apresentava uma

falha: não era capaz de identificar com eficiência uma quantidade de etiquetas maior do que 1.000. Analisando essa problemática, propôs-se uma extensão do estimador que fosse capaz de obter o mesmo desempenho, com foco em uma população de 10.000 etiquetas.

Para essa finalidade, foram realizadas simulações com diversas avaliações de desempenho, utilizando tamanhos de quadros com 64 e 128 *slots* e métricas como: número total de *slots* para o processo de identificação, número total de *slots* vazios, número total de *slots* em colisão e também a vazão. Nesse último caso é referente à eficiência máxima no protocolo DFSA. Os resultados das avaliações de desempenho revelaram que a proposta é totalmente viável para tal situação, independentemente do tamanho do quadro inicial a ser utilizado. A redução significativa da quantidade total de *slots* em colisão acabou contribuindo para uma vazão mais eficiente do estimador proposto. Assim, para ter uma vazão eficiente, é necessário diminuir o número total de *slots* gastos para a identificação de todas as etiquetas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Andrade e Gonçalves 2011]ANDRADE, J. D.; GONÇALVES, P. A. S. Uma Função de Cálculo de Tamanho de Frames para o Protocolo DFSA em Sistemas RFID. *XVI Workshop de Gerência e Operação de Redes (WGRS)*, 2011. Campo Grande, MS, p. 61–74, 2011.
- [Bhandari et al. 2006]BHANDARI, N. et al. Intelligent query tree (IQT) protocol to improve RFID tag read efficiency. In: *9th International Conference on Information Technology (ICIT'06)*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 46–51.
- [Bueno-Delgado, Vales-Alonso e Gonzalez-Castao 2009]BUENO-DELGADO, M.; VALES-ALONSO, J.; GONZALEZ-CASTAO, F. Analysis of DFSA Anti-Collision Protocols in Passive RFID Environments. In: *Proceedings of the IEEE Industrial Electronics 35th Annual Conference (IECON)*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 2610–2617.
- [Catarinucci et al. 2012]CATARINUCCI, L. et al. An Innovative Animals Tracking System based on Passive UHF RFID Technology. *International Conference Software, Telecommunications and Computer Networks*, 2012. p. 1–7, 2012.
- [Chen 2014]CHEN, W.-T. A Feasible and Easy-to-Implement Anticollision Algorithm for the EPCglobal UHF Class-1 Generation-2 RFID Protocol. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2014. v. 11, p. 485–491, 2014.
- [Choi e Lee 2007]CHOI, D. L. J. H.; LEE, H. Query Tree-Based Reservation for Efficient RFID Tag Anti-Collision. *IEEE Communications Letters*, 2007. v. 11, n. 1, p. 85–87, 2007.

- [Eom e others. 2008]EOM, J.; OTHERS. RFID Reader Anti-collision Algorithm Using a Server and Mobile Readers Based on Conflict-Free Multiple Access. *IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC)*, 2008. 2008.
- [Eom e Lee 2010]EOM, J.-B.; LEE, T.-J. Accurate Tag Estimation for Dynamic Framed-slotted ALOHA in RFID Systems. *IEEE Communications Letters*, 2010. v. 14, p. 60–62, 2010.
- [Eom, Yim e Lee 2009]EOM, J.-B.; YIM, S.-B.; LEE, T.-J. An Efficient Reader Anticollision Algorithm in Dense RFID Networks With Mobile RFID Readers. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2009. v. 56, n. 7, p. 2326–2336, 2009.
- [Finkenzeller]FINKENZELLER, K. [S.l.: s.n.].
- [Guangxian 2008]GUANGXIAN, X. The Research and Application of RFID Technologies in Highway's Electronic Toll Collection System. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, 2008. p. 1–4, 2008.
- [He e Wang 2013]HE, Y.; WANG, X. An ALOHA-Based Improved Anticollision Algorithm for RFID Systems. In: *Proceedings of the IEEE Wireless Communications*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 152–158.
- [Klair, Chin e Raad 2010]KLAIR, D.; CHIN, K.-W.; RAAD, R. A Survey and Tutorial of RFID Anti-Collision Protocols. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 2010. v. 12, n. 3, p. 400–421, 2010.
- [Law, Lee e Siu 2000]LAW, C.; LEE, K.; SIU, K.-Y. Efficient Memoryless Protocol for Tag Identification (Extended Abstract). In: *Proceedings of the 4th International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 75–84.
- [Lodewijks, Veeke e Cruz. 2006]LODEWIJKS, G.; VEEKE, H.; CRUZ., A. D. L. Reliability of RFID in logistic systems. In: *Reliability of RFID in Logistic Systems*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 971–976.

- [Maguire e Pappu 2009]MAGUIRE, Y.; PAPPU, R. An Optimal Q-Algorithm for the ISO 18000-6C RFID Protocol. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2009. v. 6, n. 1, p. 16–24, 2009.
- [Paydar, Endut e Lajevardi 2013]PAYDAR, S.; ENDUT, I. R.; LAJEVARDI, A. Environmental Determinants of RFID Adoption in Retail Supply Chain, A Binary Logistic Regression Analysis. *IEEE International Conference on RFID Technologies and Applications*, 2013. Johor Bahru, Malaysia, p. 1–6, 2013.
- [Qinghua et al. 2009]QINGHUA, Z. et al. Pallet Rental Information System Based on RFID. In: . [S.l.: s.n.], 2009. p. 886–891.
- [Schoute 1983]SCHOUTE, F. C. Dynamic Frame Length ALOHA. *IEEE Transactions on Communications*, 1983. v. 31, p. 565–568, April 1983.
- [Senadeera et al. 2013]SENADEERA, P. M. et al. Recent Trends in RFID Transponders. In: . [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–5.
- [Shih et al. 2006]SHIH, D. et al. Taxonomy and Survey of RFID Anti-collision Protocols. *Computer Communications*, 2006. v. 29, n. 11, p. 2150–2166, 2006.
- [Shin, Jeon e Yang 2013]SHIN, J.; JEON, B.; YANG, D. Multiple RFID Tags Identification with M-ary Query Tree Scheme. *IEEE Communications Letters*, 2013. v. 17, n. 3, p. 604–607, March 2013.
- [Su e Ha 2010]SU, N. V. A. W.; HA, T. T. Multiple RFID Tags Access Algorithm. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2010. v. 9, n. 2, p. 174–187, 2010.
- [Tanenbaum 2003]TANENBAUM, A. S. Redes de Computadores. In: . [S.l.: s.n.], 2003. v. 4.
- [Tong, Zou e Tong 2009]TONG, Q.; ZOU, X.; TONG, H. Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm Based on Bayesian Estimation in RFID System. In: . Los Angeles, CA, USA: [s.n.], 2009. v. 1, p. 384–388.

- [Vales-Alonso et al. 2011]VALES-ALONSO, J. et al. Multiframe Maximum-Likelihood Tag Estimation for RFID Anticollision Protocols. *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, 2011. v. 7, n. 3, p. 487–496, August 2011.
- [Vogt 2002]VOGT, H. Efficient Object Identification with Passive RFID Tags. In: . London UK: Springer-Verlag, 2002. p. 98–113.
- [Wang et al. 2012]WANG, S. et al. A Novel Fast Tag Estimate Method for Dynamic Frame Length Aloha Anti-collision Algorithms in RFID System. *Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 2012. p. 1–5, 2012.
- [Wu Y. Zeng e Gu 2013]WU Y. ZENG, J. F. H.; GU, Y. Binary Tree Slotted Aloha for Passive RFID Tag Anticollision. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2013. v. 24, n. 1, p. 19–31, 2013.
- [Yang et al. 2012]YANG, C.-N. et al. Query Tree Algorithm for RFID Tag with Binary-Coded Decimal EPC. *IEEE Communications Letters*, 2012. v. 12, n. 10, p. 1616–1619, April 2012.
- [Zhong et al. 2012]ZHONG, W. et al. The Application of ALOHA Algorithm to Anticollision of RFID Tags. *International Conference on Measurement, Information and Control (MIC)*, 2012. p. 717–720, 2012.