

# Melhoria do desempenho de sistemas RFID UHF passivos utilizando códigos de singularização

Felipe P. Rodrigues e Francisco M. de Assis

**Resumo**— Com o aumento da população de etiquetas RFID em aplicações práticas, diversos problemas, a exemplo da colisão - evento no qual duas ou mais etiquetas transmitem sinais de forma simultânea -, têm seus efeitos acentuados, resultando em aumento no tempo de identificação e perdas significativas de energia durante o processo de comunicação. Assim, a utilização de protocolos de identificação eficientes constitui um dos principais desafios para o projeto desses sistemas. Métodos clássicos são implementados assumindo que a informação presente no sinal de colisão deve ser descartada. Este trabalho utiliza uma abordagem distinta, em que as colisões constituem o fundamento de um método de recuperação da informação para as etiquetas RFID passivas na faixa de UHF. O conceito dos códigos de singularização é revisto e um protocolo de identificação que utiliza essas estruturas é investigado. Resultados obtidos por meio de simulações apresentaram uma diminuição no tempo total de identificação e um aumento da taxa de transferência para cenários com alta densidade de etiquetas em comparação a dois métodos baseados em ALOHA.

**Palavras-Chave**— Códigos de singularização, identificação, colisões, RFID.

**Abstract**— With the RFID tags population growth in practical applications, several issues, such as collisions - event in which two or more tags transmit signals simultaneously -, have their effects reinforced, what results in an increase of identification delays and significant energy losses during the communication process. Thus, the use of efficient identification protocols constitutes one of the main challenges for designing of these systems. Classical methods are implemented assuming that the information in the collision signal must be discarded. This paper uses a different approach, in which collisions are the basis of a method of information recovery for passive RFID tag in the UHF range. The concept of singulation codes is reviewed and an identification protocol that uses these structures is investigated. Results obtained through simulations have been shown a decrease in the total time identification and an increase in the throughput for scenarios with high density of tags compared to two ALOHA-based methods.

**Keywords**— Singulation codes, identification, collisions, RFID.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a tecnologia RFID apresentou-se como uma alternativa viável, do ponto de vista econômico, para a identificação de objetos ou seres vivos nas mais diversas aplicações [1]. Características como capacidade de memória, reprogramação, não intervenção humana, redução no custo dos dispositivos e a união ao paradigma da Internet das Coisas possibilitaram a adoção dessa tecnologia em larga escala,

Felipe Pereira Rodrigues e Francisco Marcos de Assis, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Brasil, E-mails: felipe.rodrigues@ee.ufcg.edu.br, fmarcos@dee.ufcg.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq.

em substituição aos tradicionais métodos de identificação, a exemplo do código de barras. Estima-se que o mercado global de RFID alcance os \$ 47 bilhões de dólares no final do período 2017-2027, uma diferença aproximada de \$ 30 bilhões em relação ao seu valor atual [2]. Há uma grande variedade de sistemas de identificação por rádio frequência que podem ser utilizados atualmente a depender de requisitos tais como frequência de operação, raio de leitura e capacidade de processamento. No entanto, os sistemas RFID UHF passivos se destacam nesse cenário devido ao baixo custo de fabricação das etiquetas e distâncias de leitura que podem ultrapassar os 10 metros [1].

Um sistema RFID passivo tradicional é composto por um leitor e uma ou mais etiquetas. Estas recebem a energia para o seu funcionamento e os comandos necessários à sua operação dos dispositivos leitores, os quais sempre iniciam o processo de identificação e possuem, em geral, grande capacidade de processamento e uma ampla memória. O objetivo do leitor consiste em identificar de forma unívoca todas as etiquetas presentes em sua região de leitura através de um canal compartilhado. Com o aumento da população de etiquetas RFID, diversos problemas têm seus efeitos acentuados, a exemplo do evento de colisão - evento no qual duas ou mais etiquetas transmitem suas mensagens de forma simultânea. Como resultado, ocorre uma diminuição da taxa de leitura do sistema, perda significativa de energia e aumento no tempo total de identificação. Assim, um dos requisitos fundamentais a serem atendidos por esses sistemas em uma aplicação prática é a identificação rápida e confiável de todas as etiquetas, dadas as suas condições limitadas de alimentação e processamento.

Diversos protocolos anticisão são utilizados com o objetivo de diminuir a probabilidade de ocorrência de colisões. Esses protocolos são categorizados, em geral, de acordo com o recurso - tempo, frequência, espaço ou código - a ser compartilhado em TDMA, FDMA, SDMA e CDMA [3]. Contudo, os protocolos TDMA representam a grande maioria e subdividem-se em determinísticos e aleatórios, possuindo como representantes principais os protocolos baseados em árvore e ALOHA, respectivamente, ou protocolos híbridos, ao unir aspectos de ambos [4]. O padrão EPC Global [5], um documento que contém os requisitos físicos e lógicos que um sistema RFID passivo na faixa de UHF deve atender e que foi adotado pela Organização Internacional para Padronização, ISO, utiliza um protocolo anticisão baseado em ALOHA como solução para o acesso ao canal. Apesar das diferenças entre si, esses métodos são implementados assumindo que a informação presente no sinal de colisão entre etiquetas deve ser descartada.

Por outro lado, alguns trabalhos abordam o evento de colisão de maneira distinta, utilizando-o para extrair informação útil para o processo de identificação das etiquetas envolvidas. *Benbaghdad e Tedjini* apresentam em [6] um modelo do sinal de colisão entre duas etiquetas RFID passivas na faixa de UHF e, com base em parâmetros físicos da transmissão, propõem um método de resolução de colisões. Em [7], *Carroccia e Maselli* utilizam um esquema para induzir colisões utilizando múltiplas antenas a fim de capturar os sinais das etiquetas envolvidas e demonstram ser possível estimar esses sinais através do uso de métodos algébricos. Em [8], *Tan et al.* apresentam um algoritmo anticolisão que é capaz de estimar a quantidade total de etiquetas em campo e a comunicação entre elas utilizando técnicas de recuperação dos sinais em colisão.

Outrossim, descobriu-se que o número de etiquetas ativas na região de atuação do leitor pode ser estimado com base no método de detecção da seção transversal de radar, RCS [9], [10]. Com base nesses resultados, *Mahdavifar e Vardy* [11] introduziram uma nova classe de códigos, denominados códigos de singularização, adaptada ao paradigma da RFID e demonstraram ser possível atingir, de forma assintótica, qualquer taxa de transferência positiva utilizando uma família de códigos adequada. Os autores apresentam limitantes para o tamanho dessas estruturas bem como duas construções específicas para a sua obtenção [11]. A propriedade básica desses códigos consiste no fato de que qualquer coleção de palavras-código, possivelmente com tamanho ilimitado, possui diferentes vetores-soma sobre o corpo dos números inteiros. Assim, um decodificador consegue identificar todas as palavras-código transmitidas com base, unicamente, em seu vetor-soma.

Neste trabalho, investiga-se a implementação de um método de recuperação de sinal das etiquetas RFID que propõe a utilização dos códigos de singularização em comparação a dois algoritmos DFSA, representados pelo método de estimação de *backlog* e o algoritmo-Q. Buscou-se determinar, de forma objetiva, o ganho da aplicação desses códigos no processo de identificação em relação aos métodos adotados atualmente para o uso comercial da RFID. Resultados obtidos por meio de simulações apresentaram uma diminuição no tempo total de identificação e um aumento na taxa de transferência média para cenários com alta densidade de etiquetas. O restante do trabalho está organizado como segue. A seção II aborda os conceitos de algoritmos DFSA, método RCS e códigos de singularização, fundamentos utilizados no trabalho. O protocolo proposto é apresentado na seção III. A seção IV exhibe os resultados obtidos e, por fim, a seção V apresenta algumas considerações finais.

## II. FUNDAMENTOS

### A. Dynamic Framed Slotted ALOHA

A comunicação simultânea entre um determinado conjunto de etiquetas e um único leitor constitui um dos problemas-chave em sistemas RFID UHF passivos [3]. Portanto, faz-se necessário utilizar métodos anticolisão para gerenciar o acesso ao canal compartilhado e os métodos baseados em ALOHA constituem uma classe largamente utilizada em sistemas RFID comerciais, possuindo como representante principal o algoritmo *Dynamic Framed Slotted ALOHA*. Existem

diversas variações do algoritmo DFSA, no entanto, para fins de comparação, neste trabalho serão utilizados o algoritmo DFSA com estimação de *backlog*, DFSA-b, e o algoritmo-Q.

O processo de identificação para esses métodos consiste em uma série de quadros, ou rodadas, nas quais o tempo é dividido em intervalos, denominados *slots*. A quantidade de *slots* em cada quadro é alterada de forma dinâmica durante esse processo. No início de um quadro, cada etiqueta seleciona um valor aleatório que corresponde ao *slot* em que haverá uma tentativa de comunicação com o leitor. Os *slots* escolhidos por apenas uma etiqueta habilitam o leitor a identificá-la corretamente. Cada etiqueta somente pode acessar o canal uma única vez a cada quadro e esse processo continua até que todas sejam identificadas com sucesso. A forma de determinar a quantidade de *slots* em cada quadro diferencia os métodos DFSA-b e algoritmo-Q e é determinante para a taxa de transferência  $T$  do sistema, definida por

$$T = \frac{N_s}{N_t}, \quad (1)$$

em que  $N_s$  corresponde ao número de *slots* lidos com sucesso e  $N_t$  é o valor total de *slots* utilizados. O valor de  $T$  é máximo quando o número de *slots* em cada quadro é igual ao número de etiquetas não identificadas.

Para o método DFSA-b, a quantidade de *slots* do quadro inicial é determinada de forma aleatória e, após isso, esse valor é atualizado para  $2,39 \cdot N_c$ , em que  $N_c$  é o número de *slots* em colisão do quadro anterior. São identificadas, em média, uma fração de  $1/e$  etiquetas por quadro. Denotando o número de etiquetas em campo por  $s$ , tem-se que o valor esperado do número total de intervalos de tempo utilizados no processo é  $se$ . O algoritmo-Q, protocolo adotado atualmente pelo padrão EPC Global, possibilita a atualização do tamanho do quadro de forma iterativa a cada *slot*. Com isso, há uma melhoria da taxa de transferência em relação ao DFSA-b, pois o ajuste é realizado antes do término do quadro. Como exemplo, o processo de identificação do algoritmo-Q será descrito, de forma sucinta, como segue.

No início do primeiro quadro, o leitor envia um comando *Query* com um parâmetro  $Q$ , que assume valores no conjunto  $\{0, 1, 2, \dots, 15\}$  e será utilizado para especificar a quantidade de *slots* disponíveis. Ao receberem esse comando, as etiquetas geram um número aleatório entre  $(0, 2^Q - 1)$  correspondente ao *slot* escolhido para a transmissão. Em seguida, o leitor envia uma série de comandos *QueryRep* para marcar o início dos *slots* subsequentes. Com base no estado de cada *slot* - colisão, vazio ou sucesso -, o leitor pode atualizar o valor do parâmetro  $Q$  enviando um comando *QueryAdjust*, dando início a um novo quadro. Quando apenas uma etiqueta seleciona um *slot*, o leitor responde ao envio com um comando *Ack*. Todas as etiquetas identificadas não participam das próximas rodadas de identificação. A Figura 1 apresenta um possível diagrama para os estados possíveis dos *slots*. Na parte (a), há sucesso na comunicação. Após o envio do comando de requisição pelo leitor, apenas uma etiqueta envia, inicialmente, o seu RN16, que é um número de 16 bits gerado de forma aleatória. Em seguida, o leitor reconhece o envio e, ao final, a etiqueta retorna o seu código eletrônico de produto, EPC,

seguido de redundâncias. Na parte (b), temos um caso de *slot* em colisão e vazio, respectivamente.

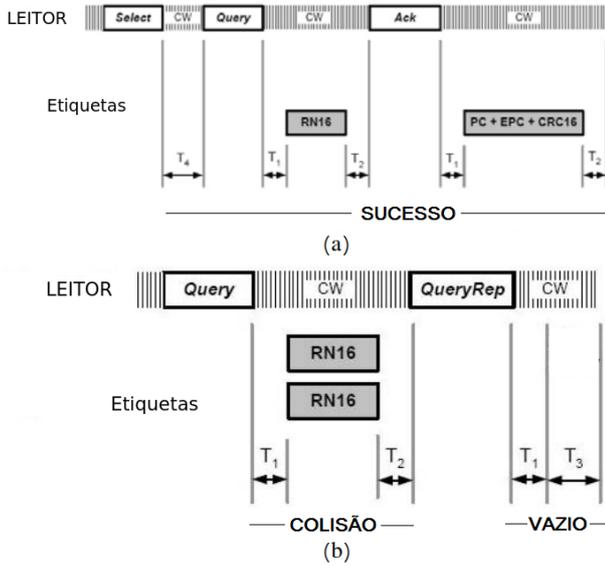


Fig. 1. Diagramas de estados dos slots durante um quadro de identificação.

### B. Método da Seção Transversal de Radar

O acoplamento entre os dispositivos em um sistema RFID UHF passivo ocorre através de retroespalhamento eletromagnético e o processo de troca de informações se baseia no princípio do radar, em que a energia transmitida pelo leitor é refletida pelas etiquetas. Nesse contexto, a seção transversal de radar, RCS, pode ser utilizada como um método de análise criteriosa do sinal recebido a fim de determinar a quantidade de etiquetas que transmitem simultaneamente durante um determinado intervalo de tempo [9].

As etiquetas alteram o seu coeficiente de reflexão variando a carga conectada nos terminais das suas antenas durante o processo de comunicação. Isso pode ser feito utilizando-se um dispositivo de chaveamento, tal como um transistor, e tem como objetivo modular a potência refletida pela etiqueta no tempo de acordo com os dados que serão transmitidos [1]. O sinal refletido pelas etiquetas deverá ser demodulado pelo leitor utilizando-se um demodulador I/Q. Valores distintos de magnitude da potência recebida nos terminais da antena do leitor podem ser observados após a demodulação, em relação aos estados das chaves eletrônicas utilizadas pelas etiquetas. Nota-se, da mesma forma, uma dependência da fase dos sinais no momento da modulação. A combinação dos valores de fase e amplitude da potência refletida são, então, combinados para formar um único vetor RCS no plano I/Q.

Quando duas ou mais etiquetas transmitem algum sinal, os vetores resultantes do espalhamento dos seus campos eletromagnéticos são sobrepostos. Assim, por exemplo, se três etiquetas transmitirem, serão observados no plano I/Q oito *clusters*, que representam o recebimento de oito vetores RCS. Para determinar a quantidade de etiquetas que colidiram em um determinado intervalo, faz-se necessário contar o número de *clusters* formados. Como uma etiqueta gera dois estados

RCS, então um número  $s$  de etiquetas é representado por um total de  $2^s$  estados.

### C. Códigos de Singularização

Os códigos de singularização são estruturas algébricas adaptadas ao paradigma da RFID. A definição formal desses códigos é apresentada a seguir.

*Definição 1:* Seja  $C \subset \{0, 1\}^n$  um conjunto de vetores binários de comprimento  $n$  com  $|C| = M \leq 2^n$ . Então,  $C$  é um código de singularização  $(n, M, s)$  se, para duas coleções não vazias  $A$  e  $B$  de elementos de  $C$ , possivelmente com repetição e tamanho máximo  $s$ ,

$$\sum_{x \in A} x \neq \sum_{y \in B} y,$$

em que a soma é realizada sobre  $\mathbb{Z}$ .

Portanto, um código de singularização  $C$  é um subconjunto das  $n$ -uplas binárias e deve ser representado por 3 medidas, a saber:  $n$  como o tamanho das palavras-código; cardinalidade  $M$  desse conjunto;  $s$  como o maior tamanho de uma coleção de elementos de  $C$ . Da definição, temos que é possível recuperar de forma unívoca uma coleção  $A$ , com tamanho máximo  $s$ , de elementos do código conhecendo apenas o seu vetor-soma. Em [11] são encontrados limitantes para a quantidade de palavras do código  $M$  com base nos valores de  $n$  e  $s$ . O Teorema 1 fortalece a condição de singularização e simplifica a construção dessas estruturas. Ao fazer  $s \rightarrow \infty$ , é possível utilizar uma condição algébrica para encontrar famílias de códigos de singularização.

*Teorema 1:* Um código  $C$  é um código de singularização com  $s \rightarrow \infty$  se, e somente se, os elementos de  $C$  são linearmente independentes sobre o conjunto dos números racionais  $\mathbb{Q}$ .

Como exemplo, seja o código formado pelas linhas da matriz

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

o qual é formado pelas palavras-código 011, 101 e 110. Temos que essas palavras são linearmente independentes sobre  $\mathbb{Q}$  e, pelo Teorema 1, portanto, formam um código de singularização  $C(3, 3, s \rightarrow \infty)$ . Assim, em tese, é possível identificar as palavras presentes em uma coleção de tamanho indefinido apenas pelo vetor-soma dessas palavras.

## III. PROTOCOLO PROPOSTO

Para o início do processo de singularização, o dispositivo leitor envia um comando *Query* para que todas as etiquetas gerem uma sequência binária aleatória contendo 32 bits e transmitam de forma simultânea. Esse valor foi definido com base no tamanho de duas sequências RN16, as quais são utilizadas pelos métodos *Frame Slotted ALOHA* [9]. Dessa forma, utilizando-se o método RCS é possível estimar a quantidade de etiquetas ativas  $t$  presentes na região de leitura para determinar o código de singularização  $C$  com parâmetros

$(n, M, s)$ , para o qual  $t \leq s$ , que será utilizado na primeira rodada de identificação. Após isso, o leitor envia um comando *Request* com os parâmetros do código escolhido para que cada etiqueta selecione uma palavra de forma aleatória, armazene e transmita ao leitor em  $n$  intervalos de tempo. Assumindo que a palavra-código a ser transmitida seja  $(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n) \in C$ , então, para  $1 \leq i \leq n$ , se  $c_i = 0$ , a etiqueta permanece em silêncio. Caso contrário,  $c_i = 1$  e a etiqueta transmite ao leitor um determinado sinal no  $i$ -ésimo intervalo de tempo.

O leitor, por sua vez, analisa o sinal recebido e utiliza o método RCS para determinar a quantidade de etiquetas que transmitem simultaneamente no  $i$ -ésimo intervalo, convertendo essa informação na quantidade de palavras-código que possuem 1 na  $i$ -ésima posição. Ao final de  $n$  intervalos de tempo o leitor terá a soma de todas as palavras transmitidas pelas etiquetas. Se todas as palavras-código forem distintas, então o processo é encerrado. Caso contrário, o leitor dará início a uma nova rodada de identificação para as etiquetas que selecionaram palavras repetidas. Um novo código  $C'$  com parâmetros  $(n', M', s')$  é escolhido com base na quantidade de etiquetas  $t' \leq s'$  que não foram identificadas e um novo comando *Request* é enviado. O processo de singularização é encerrado quando todas as etiquetas são identificadas. A Figura 2 exibe o fluxograma da execução do protocolo.

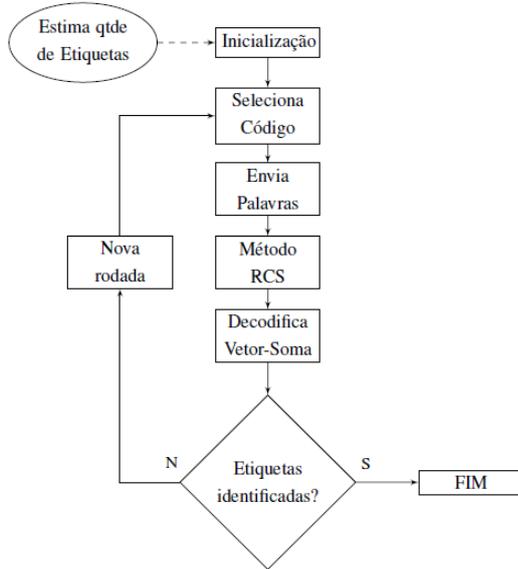


Fig. 2. Fluxograma de execução do protocolo proposto.

A escolha do código foi feita com base na possibilidade de implementação futura do protocolo em um ambiente real. Seja uma matriz de verificação de paridade  $H$ , com dimensão  $d \times (2^d - 1)$ , em que a  $k$ -ésima coluna é a representação binária de  $k$ . Como exemplo, para  $d = 3$ , tem-se a matriz

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Essa matriz representa um código de Hamming dual no contexto dos códigos de bloco clássicos e, devido ao seu

formato de construção, pode ser facilmente adaptada para o nosso problema. Com base no Teorema 1 e na definição 1, temos que o código  $C_H$ , formado pelas combinações lineares das linhas de  $H$ , excluindo a palavra nula, é também um código de singularização.

Para implementar o protocolo de transmissão, as etiquetas devem ser capazes de realizar duas operações básicas sobre o corpo  $GF(2) = \{0, 1\}$ : seleção de uma sequência aleatória de comprimento  $d$ ; manipulações numéricas sobre a sequência escolhida. Essas operações são realizáveis de acordo com o padrão EPC Global, o qual as inclui entre os requisitos obrigatórios para tais dispositivos. O algoritmo utilizado durante o processo de codificação para as etiquetas é descrito como segue.

#### Algoritmo 1 Codificação das Etiquetas

- 1: Espera até receber requisição do leitor
- 2: **se** Comando = *Query* **então**
- 3:   Faça  $d \leftarrow 32$
- 4:   Atualize o contador  $i = (i_1, i_2, \dots, i_d)$  para um valor aleatório. Transmita imediatamente
- 5: **fim se**
- 6: **se** Comando = *Request* **então**
- 7:   Ajuste o valor de  $d$ .
- 8:   Faça  $i = (i_1, i_2, \dots, i_d) = (0, 0, \dots, 1)$ .
- 9:   Gere uma sequência aleatória  $t$  de comprimento  $d$  diferente da sequência nula.
- 10:   **enquanto**  $i < 2^d$  **faça**
- 11:      $result = 0$
- 12:     **para**  $j = 1$  **até**  $d$  **faça**
- 13:        $result = result \oplus (i_j \wedge t_j)$
- 14:     **fim para**
- 15:     **se**  $result = 0$  **então**
- 16:       Permaneça em silêncio no  $i$ -ésimo *slot*
- 17:     **senão**
- 18:       Transmita um sinal no  $i$ -ésimo *slot*
- 19:     **fim se**
- 20:      $i = i + 1$
- 21:   **fim enquanto**
- 22: **fim se**

Nota-se, portanto, que não é necessário armazenar a matriz  $H$  na memória das etiquetas. A partir do contador  $i$  obtêm-se uma palavra do código  $C_H$  gerada pela multiplicação  $tH$ . O leitor, por sua vez, deve determinar a quantidade de etiquetas que transmitem um sinal no  $i$ -ésimo intervalo de tempo. Para tanto, seja  $c_i$  a palavra-código gerada pela  $i$ -ésima etiqueta,  $s$  a quantidade de etiquetas ainda não identificadas e  $x_i$  a quantidade de etiquetas que geraram a palavra  $c_i$ . Portanto, o leitor deve resolver o sistema de equações

$$(r_1, r_2, \dots, r_n) = \sum_{i=1}^s x_i c_i, \quad (3)$$

em que o vetor  $\mathbf{r}$  e  $x$  são tomados sobre  $\mathbb{Z}$ . Para que o processo de identificação seja finalizado, o decodificador deve recuperar os valores  $x_i$ , dado que  $\mathbf{r}$  é conhecido. Com base na maior capacidade de processamento do dispositivo leitor, é possível

realizar essa tarefa de forma direta através da multiplicação do vetor  $\mathbf{r}$  pela inversa da matriz quadrada com dimensão  $2^d - 1$  que contém todas as palavras do código  $C_H$  sobre os reais.

#### IV. RESULTADOS

Um ambiente de simulação utilizando a linguagem Python foi construído para executar os protocolos abordados no trabalho. Os resultados obtidos para os códigos de singularização foram comparados aos métodos DFSA-b e algoritmo-Q em relação a duas métricas de desempenho: quantidade total de *slots* utilizados e taxa de transferência média, ou *throughput*. Foram utilizados cenários com uma quantidade significativa de etiquetas, variando no intervalo (1, 1000), a fim de avaliar o desempenho dos métodos em ambientes com alta densidade de etiquetas. A Figura 3 apresenta as curvas obtidas em simulação para a variação da quantidade de *slots* como função da quantidade de etiquetas em campo. A curva inferior representa o limitante para essa medida.

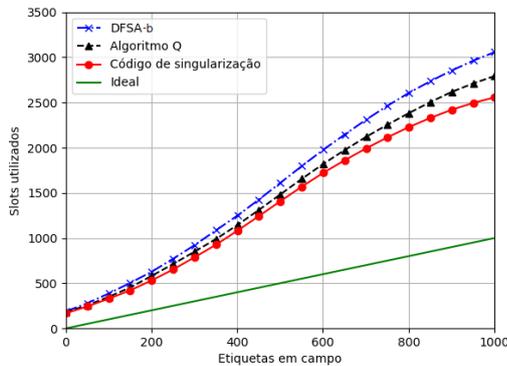


Fig. 3. Variação da quantidade de *slots* em relação ao número de etiquetas.

Para a taxa de transferência, a utilização dos códigos de singularização apresentou uma melhoria significativa em comparação aos outros métodos, o que leva a um uso mais eficiente do canal de comunicação. A Figura 4 exibe os resultados obtidos para todos os protocolos em comparação ao valor analítico de  $1/e$ , que é obtido para o algoritmo DFSA sob a condição de igualdade entre o número de etiquetas sem identificação e quantidade de *slots* por quadro.

A Tabela I descreve os ganhos percentuais da utilização dos códigos de singularização com base nas Figuras 3 e 4, para um cenário com 500 etiquetas.

TABELA I

GANHOS PERCENTUAIS DOS CÓDIGOS DE SINGULARIZAÇÃO PARA UM VALOR DE 500 ETIQUETAS EM CAMPO.

	DFSA-b	Algoritmo-Q
Qtd slots	$\approx -16,5\%$	$\approx -7,6\%$
Throughput	$\approx 24,4\%$	$\approx 14,8\%$

#### V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho investigou a utilização de um método alternativo para a identificação de etiquetas RFID passivas na faixa

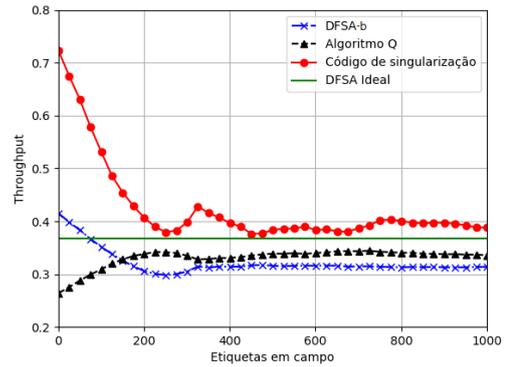


Fig. 4. Taxa de transferência média para os métodos utilizados como função do número de etiquetas.

de UHF que se utiliza dos códigos de singularização. Com base no método da seção transversal de radar, apresentou-se um protocolo para a comunicação das etiquetas compatível com o padrão EPC Global. Os resultados obtidos por meio de simulações mostraram uma redução na quantidade de *slots* utilizados no processo de identificação e uma maior taxa de transferência em cenários com a mesma quantidade de etiquetas, em comparação aos resultados obtidos para os protocolos DFSA-b e algoritmo-Q. Portanto, há redução no tempo total de identificação e maior eficiência na utilização do canal, resultando em menores perdas de energia para alimentar as etiquetas por parte do leitor.

#### REFERÊNCIAS

- [1] K. Finkenzeller, *RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*. John Wiley & Sons, 2010.
- [2] "Rfid market: Global industry analysis and opportunity assessment 2017-2027." <https://www.futuremarketinsights.com/reports/rfid-market>.
- [3] D. K. Klair, K.-W. Chin, and R. Raad, "A survey and tutorial of rfid anti-collision protocols," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 12, no. 3, pp. 400–421, 2010.
- [4] L. Sanchez and V. Ramos, "An epc class-1 generation-2 anti-collision protocol for rfid tag identification in augmented systems," in *RFID Technology (EURFID), 2015 International EURASIP Workshop on*, pp. 36–43, IEEE, 2015.
- [5] G. EPCglobal, "EPCTM radio-frequency identity protocol class-1 generation-2 uhf rfid protocol for communications at 860mhz-960mhz version 2.0.1," tech. rep., 2015.
- [6] M. Benbaghdad, B. Fergani, S. Tedjini, and E. Perret, "Simulation and measurement of collision signal in passive uhf rfid system and edge transition anti-collision algorithm," in *RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA), 2014 IEEE*, pp. 277–282, IEEE, 2014.
- [7] G. Carroccia and G. Maselli, "Inducing collisions for fast rfid tag identification," *IEEE Communications Letters*, vol. 19, no. 10, pp. 1838–1841, 2015.
- [8] X. Tan, H. Wang, L. Fu, J. Wang, H. Min, and D. W. Engels, "Collision detection and signal recovery for uhf rfid systems," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 15, pp. 239–250, Jan 2017.
- [9] P. Nikitin and V. S. Kodukula, "Method and apparatus to estimate the number of transponders in a field," Oct. 22 2013. US Patent 8,564,412.
- [10] R. S. Khasgiwale, R. U. Adyanthaya, and D. W. Engels, "Extracting information from tag collisions," in *RFID, 2009 IEEE International Conference on*, pp. 131–138, IEEE, 2009.
- [11] H. Mahdaviifar and A. Vardy, "Coding for tag collision recovery," in *RFID (RFID), 2015 IEEE International Conference on*, pp. 9–16, IEEE, 2015.