

Planejamento do Posicionamento de Leitores e Etiquetas de Referência em Sistemas de Localização RFID

Bruno Almeida da Silva e Paulo André da S. Gonçalves

Centro de Informática (CIn)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
50.740-560 – Recife – PE – Brasil

{bas2, pasg}@cin.ufpe.br

Abstract. *Active RFID-based location systems are the most promising to provide automatic indoor location services of objects. Such systems rely on both received signal strength measurements and an infrastructure composed of readers and reference tags in order to report position estimates of target objects. This paper studies the impact of the positioning of this infrastructure on the location efficiency. For doing so, we consider 27 different infrastructure positioning and different signal propagation conditions in an indoor environment that is composed of 9 rooms or areas. This paper focuses on the following location systems: LANDMARC and LANDMARC+. Both are configured to estimate the room or area where the target object is placed. Simulation results show that the infrastructure positioning impacts significantly on the location efficiency. Based on this fact, we present some guidelines for proper infrastructure positioning while seeking to maximize the location efficiency.*

Resumo. *Os sistemas de localização RFID com etiquetas ativas são os mais promissores para o provimento de serviços de localização automática de objetos em ambientes internos. Esses sistemas contam com medidas de força de sinais e com uma infraestrutura de leitores e etiquetas de referência para a obtenção de estimativas de localização de objetos de interesse. Este artigo estuda a influência do posicionamento dessa infraestrutura na eficiência de localização. Para isso, considera-se 27 configurações de posicionamento da infraestrutura de localização e diversas condições de propagação de sinais em um ambiente interno com 9 salas ou áreas. O foco deste artigo está nos sistemas LANDMARC e LANDMARC+, onde ambos estão configurados para estimar a sala ou área na qual se encontra um objeto de interesse. Os resultados de simulação mostram que o posicionamento da infraestrutura dos sistemas estudados tem impacto significativo na eficiência de localização. A partir disso, são apresentadas orientações para um posicionamento mais adequado dessa infraestrutura, buscando a maximização da eficiência de localização.*

1. Introdução

Atualmente, os sistemas RFID (*Radio Frequency IDentification*) são os mais promissores para a identificação automática de objetos através de sinais de radiofrequência (RF). Os sistemas RFID mais básicos são compostos por um *leitor* e várias *etiquetas*. Cada etiqueta armazena um identificador (ID) único e é colada ou embutida em um objeto de interesse.

O processo de identificação é realizado pelo leitor, o qual requisita o ID das etiquetas que estão em seu alcance de comunicação. De acordo com um mapeamento prévio entre os IDs e os objetos, é possível descobrir automaticamente quais objetos estão no alcance de comunicação do leitor.

Assim sendo, os sistemas RFID possuem duas características importantes: a capacidade de identificar objetos e a capacidade de comunicação através de sinais de RF. Essas características em conjunto com a proliferação de sistemas RFID vêm estimulando o desenvolvimento de sistemas de localização RFID que utilizam medidas de força de sinal recebido (RSS - *Received Signal Strength*) para se obter automaticamente uma estimativa do posicionamento de objetos de interesse em ambientes internos [Ni et al. 2004], [Zhao et al. 2007], [Silva and Gonçalves 2009a], [Silva and Gonçalves 2009b], [Zhu et al. 2009], [Zhang et al. 2010], [Shi et al. 2010]. Para isso, esses sistemas contam com uma infraestrutura fixa de leitores e etiquetas de referência montada no ambiente desejado.

Diversos estudos vêm sendo realizados com foco na melhoria da eficiência de localização desses sistemas. Contudo, não foram encontrados estudos que demonstrem o impacto do posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas de referência na eficiência de localização de aplicações que precisam informar a sala ou área na qual se encontra um objeto de interesse. Com base nisso, este artigo propõe um estudo do impacto do posicionamento da infraestrutura de localização na eficiência dos sistemas LANDMARC [Ni et al. 2004] e LANDMARC+ [Silva and Gonçalves 2009a], [Silva and Gonçalves 2009b] com o tipo de aplicação descrito.

Em particular, este trabalho considera um ambiente interno dividido em áreas que podem estar separadas por paredes, divisórias ou marcações no chão. Os objetos estão espalhados pelo ambiente e um usuário deseja conhecer a área ou sala específica na qual um objeto de interesse se encontra fisicamente. O estudo apresentado neste artigo considera 27 configurações de posicionamento da infraestrutura de localização e diversas condições de propagação de sinais em um ambiente interno com 9 áreas ou salas. Os resultados de simulação mostram que o posicionamento da infraestrutura dos sistemas estudados tem impacto significativo na eficiência de localização. A partir disso, são apresentadas orientações para um posicionamento mais adequado dessa infraestrutura ao se buscar a maximização da eficiência de localização.

O restante deste artigo está organizado como segue: a Seção 2 detalha o funcionamento dos sistemas de localização LANDMARC e LANDMARC+. A Seção 3 detalha o *layout* de ambiente interno estudado e as 27 configurações de posicionamento da infraestrutura de localização nesse ambiente. A Seção 4 apresenta uma avaliação de desempenho dos sistemas estudados em diversos cenários. A Seção 5 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2. Sistemas de Localização Estudados

2.1. LANDMARC

O LANDMARC (*LocAtioN iDentification based on dynaMic Active Rfid Calibration*) utiliza uma infraestrutura composta por leitores e etiquetas de referências para prover o serviço de localização de objetos, onde esses objetos são rotulados com uma etiqueta

RFID ativa. O processo de localização do LANDMARC consiste na construção de dois mapas de força de sinais ou RSS. O primeiro mapa de RSS construído é representado pelo vetor $\vec{S}(j) = (S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$, onde S_i^j denota o RSS medido no leitor $i \in [1, n]$ com relação ao sinal transmitido pelo objeto j a ser localizado. Um segundo mapa é construído para cada etiqueta de referência $r \in [1, m]$ e é representado por $\theta = (\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$, onde θ_i^r é o RSS medido pelo leitor $i \in [1, n]$.

O LANDMARC define

$$E_r^j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i^r - S_i^j)^2} \quad (1)$$

como a distância Euclideana, em níveis de potência, entre o objeto a ser localizado e uma etiqueta de referência r . Conceitualmente, quanto menor for o valor de E_r^j , menor será a distância Euclideana entre a etiqueta de referência r e o objeto j a ser localizado.

O processo de obtenção da estimativa de localização de um objeto j com o LANDMARC ocorre em três etapas. Na primeira etapa, para cada etiqueta de referência $r \in [1, m]$ e o objeto j , ele calcula a distância Euclideana e armazena os valores no vetor $\vec{E}(j) = (E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$. Na segunda etapa, o LANDMARC usa o vetor $\vec{E}(j)$ como entrada para o algoritmo KNN (*K-Nearest Neighbors*) [Bahl and Padmanabhan 2000] que permite encontrar as k etiquetas de referência com a menor distância para o objeto a ser localizado. Para $k = 1$, a estimativa de localização do objeto a ser localizado é igual ao posicionamento da etiqueta de referência mais próxima dele. Para $k > 1$, o LANDMARC estabelece pesos em função da distância entre o objeto a ser localizado e sua l -ésima etiqueta de referência vizinha mais próxima. O peso é dado por:

$$W_l^j = \frac{1/(E_l^j)^2}{\sum_{l=1}^k (1/(E_l^j)^2)} \quad (2)$$

Note que o maior peso será produzido pela l -ésima etiqueta de referência mais próxima do objeto a ser identificado e com menor valor E_l^j .

Na última etapa, o LANDMARC estima as coordenadas (x_j, y_j) do objeto j de acordo com a equação a seguir:

$$(x_j, y_j) = \sum_{l=1}^j W_l^j \times (x_l, y_l) \quad , \quad (3)$$

onde (x_l, y_l) são as coordenadas conhecidas da l -ésima etiqueta de referência.

Para estimar a sala ou área na qual se encontra um objeto, é necessário mapear a localização fornecida pelo LANDMARC no ambiente. Adicionalmente, é conhecido que o valor de k influencia no desempenho do LANDMARC e que o melhor valor para ele é 4 [Ni et al. 2004]. Assim sendo, em todas as simulações neste artigo é utilizado $k = 4$.

2.2. LANDMARC+

A abordagem LANDMARC+ visa evitar que usuários realizem buscas cegas, pelo ambiente, de objetos cujas localizações foram erroneamente estimadas. Para isso, o LAND-

MARC+ fornece automaticamente e simultaneamente duas estimativas de localização: uma primária proveniente da execução do LANDMARC e uma secundária. O cálculo da estimativa secundária leva em consideração a distância média Euclideana, em RSS, entre o objeto j a ser localizado e as etiquetas de referência em cada sala ou área a do ambiente. Essa distância é dada por:

$$M(j, a) = \frac{\sum_{t(a)=1}^{\rho} \Phi_{t(a)}^j}{\rho}, \quad (4)$$

onde ρ representa o número de etiquetas de referência por sala ou área a e $\Phi_{t(a)}^j$ é a distância Euclideana entre o objeto j e uma etiqueta de referência $t(a)$ pertencente à área ou sala a .

Após executar o processo de localização conforme o LANDMARC, o LANDMARC+ constrói o vetor de distâncias médias Euclidianas $\vec{M}(j, A) = [M(j, a_1), M(j, a_2), \dots, M(j, a_q)]$, onde q é o número de áreas ou salas presentes no ambiente interno A . A área a com menor valor $M(j, a)$ é a estimativa secundária de localização do objeto j a ser localizado.

3. Ambiente Interno e Configurações de Posicionamento Estudados

A Figura 1 apresenta a *layout* do ambiente e das diferentes configurações de posicionamento de leitores e etiquetas de referência. O ambiente é composto por 9 salas ou áreas quadradas ($2,75 \text{ m} \times 2,75 \text{ m}$) e é coberto por uma infraestrutura com 4 leitores e 36 etiquetas de referência, havendo 4 etiquetas de referência por sala. As áreas que compõem o ambiente podem ser separadas fisicamente por paredes/divisórias ou por marcações no chão, formando ambientes fechados ou ambientes abertos, respectivamente.

Este trabalho estuda 9 configurações de posicionamento dos leitores. Cada configuração é identificada pelos pequenos quadrados numerados na Figura 1 (1, 2, 3 na Figura 1(a); 4, 5, 6 na Figura 1(b); 7, 8, 9 na Figura 1(c)). Em relação às etiquetas de referência, 3 configurações de posicionamento são estudadas. Elas são identificadas pelos pequenos círculos com letras A , B e C na Figura 1. O posicionamento das etiquetas de referência em cada uma das configurações é exemplificado pelos quadrados tracejados na área 5. Em todas as áreas, as etiquetas de referências estão posicionadas a $0,1 \text{ m}$, $0,6 \text{ m}$ e $1,1 \text{ m}$ da borda de cada área, respectivamente, para as configurações A , B e C .

4. Avaliações de Desempenho

Esta seção apresenta um estudo detalhado do desempenho do LANDMARC e do LANDMARC+ com as 27 combinações de configurações de posicionamento de leitores e de etiquetas de referência apresentadas na seção anterior. Neste artigo, a notação X_Y representa uma infraestrutura montada de acordo com a configuração X de etiquetas de referência e a configuração Y de posicionamento de leitores¹. A seguir, serão apresentados os modelos de propagação de sinais utilizados nesse estudo, os parâmetros de simulação, as métricas de avaliação de desempenho e os resultados obtidos.

¹As coordenadas de cada etiqueta de referência e de cada leitor nas diversas configurações estudadas podem ser obtidas em <http://www.cin.ufpe.br/~pasg/gpublications/bas2-rel2011a.pdf>

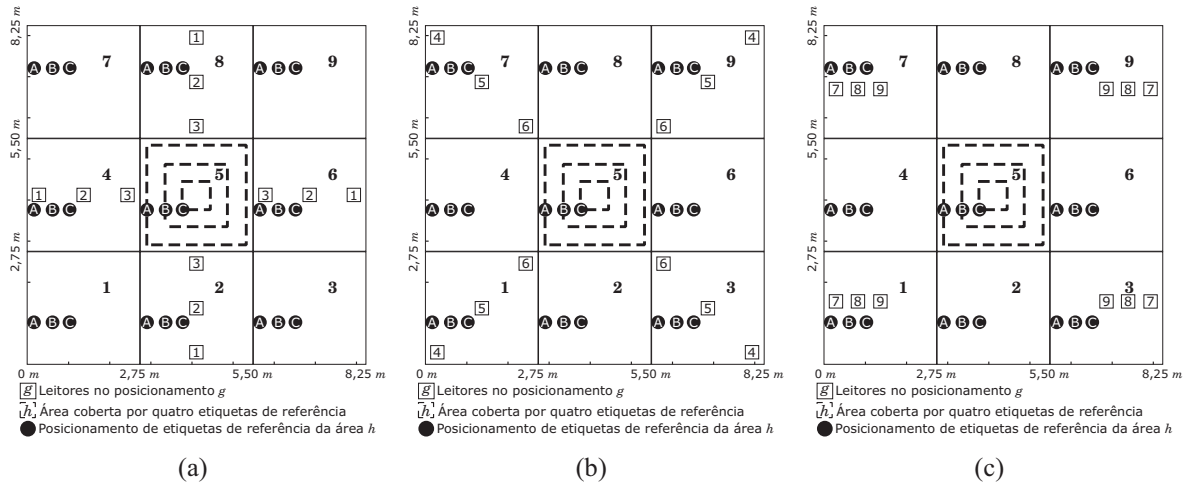


Figura 1. Layout dos cenários utilizados considerando 9 conjuntos de posicionamento de leitores e 3 conjuntos de posicionamento de etiquetas de referência.

4.1. Modelos de Propagação de Sinais

Para avaliar, através de simulações, o desempenho de sistemas de localização baseados em medidas de RSS, é necessário primeiramente modelar a propagação de sinais. Neste artigo, dois modelos de propagação de sinais foram utilizados: o modelo *Path Loss* e o modelo para canais com desvanecimento (*fading*).

4.1.1. *Path Loss*

O modelo de propagação *Path Loss* (PL) é um modelo empírico para ambientes internos proposto em [Seidel and Rappaport 1992] e expressado por

$$PL = PL(d_0) + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \sum_{q=1}^Q FAF(q) + \sum_{p=1}^P WAF(p) \quad , \quad (5)$$

onde PL é a atenuação sofrida (em dB) pelo sinal entre o transmissor e o receptor; $PL(d_0)$ é a atenuação sofrida pelo sinal a uma distância de referência d_0 do transmissor; d é a distância, em metros, entre o transmissor e o receptor; e γ é o expoente de atenuação e representa a taxa de aumento da atenuação em relação à distância. Os valores típicos do expoente de atenuação variam de 2,0 a 4,0. Os fatores de atenuação de pisos e paredes no ambiente são representados respectivamente por $FAF(q)$ e $WAF(p)$. As variáveis q e p representam, respectivamente, um piso (de Q existentes) e uma parede (de P existentes) entre o transmissor e o receptor.

Tipicamente, d_0 é igual a 1 m em ambientes internos e a atenuação do sinal de um transmissor a uma distância de referência de 1 m é dada por

$$PL(1metro) dB = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) dB \quad , \quad (6)$$

onde λ é o comprimento da onda eletromagnética.

Para um mesmo par transmissor-receptor estático, a Equação (5) permite obter apenas um valor fixo de RSS. Entretanto, em ambientes reais, as medidas de RSS variam ao longo do tempo para um mesmo par transmissor-receptor estático. Isso ocorre por causa de efeitos de *multipath*, *shadowing*, propagação sem linha de visada direta, e interferências de outros dispositivos RF. Na prática, tais efeitos fazem com que os valores de RSS pareçam randômicos e imprevisíveis ao longo do tempo. Assim sendo, é importante considerar variações nos valores de RSS de forma a tornar as simulações mais realísticas. Por causa disso, este trabalho usa um modelo de propagação *Path Loss* estendido e definido por

$$PL^* = \Gamma \quad , \quad (7)$$

onde Γ denota uma variável randômica Gaussiana com variância σ^2 e média PL , sendo tal média a atenuação computada através da Equação (5).

4.1.2. Modelagem de Canal com Desvanecimento

Uma onda de rádio, ao se propagar, está sujeita a reflexões que provocam alterações em sua amplitude e em seu caminho percorrido. Isso leva a variações na potência do sinal recebido. Tais variações são chamadas de desvanecimento ou *fading*. O desvanecimento pode ser causado também por obstáculos na linha de visada direta entre o transmissor e o receptor. Esses obstáculos causam o fenômeno de propagação do sinal por múltiplos caminhos. As alterações na força de sinal causadas por desvanecimento são modeladas como processos randômicos. As duas distribuições mais utilizadas para a modelagem de canais com desvanecimento são as distribuições de Rayleigh e Rice.

A distribuição Rayleigh é voltada para situações onde o receptor obtém toda a energia do sinal por múltiplos caminhos. Por outro lado, quando toda a energia do sinal é obtida apenas por um caminho, ou seja, com visada direta, a distribuição que representa esse tipo de canal é a de Rice. A função densidade de probabilidade para a potência recebida (p) em um canal do tipo Rice é dada por [Rappaport 2001], [Sanchez-Garcia and Smith 2002]:

$$f_p(p | \bar{p}, K) = \frac{1 + K}{\bar{p}} e^{-K} e^{\frac{p(1+K)}{\bar{p}}} I_0 \left(\sqrt{\frac{4K(1+K)p}{\bar{p}}} \right) \quad , \quad (8)$$

onde \bar{p} é a potência média recebida, I_0 é a função de Bessel modificada de ordem zero e tipo um e K é o fator de Rice. O fator K é definido por meio da relação entre a potência recebida pela visada direta (p_d) e a potência recebida por múltiplos caminhos (\bar{p}_s). Essa relação é dada por:

$$K = \frac{p_d}{\bar{p}_s} \quad . \quad (9)$$

Quanto maior for o fator K de um canal de comunicação, maior será a influência

da visada direta. Para $K = 0$, o canal é do tipo Rayleigh. Diante disso, observa-se que a distribuição Rayleigh é um caso especial da distribuição de Rice e a função densidade de probabilidade da potência recebida é obtida por

$$f_p(p | \bar{p}) = \frac{1}{\bar{p}} e^{-\frac{p}{\bar{p}}} \quad . \quad (10)$$

4.2. Cenários de Estudo

Os cenários de simulações estudados neste artigo são descritos a seguir:

Cenário 1 - Neste cenário, todas as áreas do ambiente interno estão separadas por divisórias, formando salas. Assume-se que um sinal atravessando uma divisória é atenuado em 2,5 dB. O número total de divisórias pelas quais um sinal passa é obtido contando-se o número de divisórias na visada direta entre o transmissor e o receptor. Assim sendo, esse número depende do posicionamento do transmissor e do receptor. O modelo de propagação para canais com desvanecimento foi utilizado neste cenário. Os transmissores operam na frequência de 915 MHz.

Cenário 2 - Neste cenário, todas as áreas do ambiente interno estão separadas por marcações no chão. O modelo de propagação para canais com desvanecimento também foi utilizado neste cenário. A frequência de operação dos transmissores é também de 915 MHz.

Cenário 3 - Neste cenário, todas as áreas do ambiente interno estão separadas por divisórias, havendo a formação de salas. O canal de comunicação segue modelo *Path Loss* estendido. Nesse caso, o valor de γ depende do posicionamento do transmissor e do receptor. Se ambos estiverem na mesma sala, utiliza-se $\gamma = 2,4$, caso contrário, utiliza-se $\gamma = 2,8$. Os valores de γ estão de acordo com as diretrizes empíricas para escritórios convencionais simples com transmissores operando na frequência de 915 MHz [Sarkar et al. 2003]. Neste cenário, é assumido que um sinal atravessando uma divisória é atenuado em 2,5 dB ($WAF(p)$). O número total de divisórias (P) pelas quais um sinal passa é obtido em função do número de divisórias na visada direta entre o transmissor e o receptor. Assim sendo, esse número depende do posicionamento do transmissor e do receptor.

Cenário 4 - Neste cenário, todas as áreas do ambiente interno estão separadas por marcações no chão. O canal de comunicação segue o modelo *Path Loss* estendido. Nesse caso, um valor de γ igual a 2,4 foi adotado de forma a seguir as diretrizes empíricas para escritórios convencionais de plano aberto com transmissores operando na frequência de 915 MHz [Sarkar et al. 2003].

4.3. Desempenho com as Diversas Configurações de Posicionamento

Na execução de cada cenário descrito na Seção 4.2 combinou-se cada uma das configurações de posicionamento de leitores com cada uma das configurações de etiquetas de referência apresentadas na Seção 3. No interior de cada uma das salas do ambiente interno estudado, os objetos a serem localizados foram posicionados aleatoriamente. Para estimar a localização de cada objeto, foram utilizados os sistemas de localização LAND-MARC e LANDMARC+. Nos cenários com desvanecimento foram estudados ambientes para cada fator K no intervalo $[0, 6]$ em passos de 0,5. Nos cenários que utilizam o modelo de propagação *Path Loss* estendido, foram estudados ambientes para cada σ^2 no intervalo

$[0, 20]$ em passos de 2. Para cada passo de variação de K e de σ^2 , foram posicionados aleatoriamente 2.000 objetos a serem identificados em cada sala.

A métrica de avaliação de desempenho definida para esse estudado é a *eficiência global*. A eficiência global do LANDMARC é definida como a probabilidade dele informar corretamente, com sua única estimativa de localização, a área na qual se encontra o objeto a ser localizado. A eficiência global do LANDMARC+ é a probabilidade de ao menos uma de suas duas estimativas de localização representar a área real na qual se encontra o objeto a ser localizado. Todos os resultados apresentados nesta seção são médias obtidas a partir de todas as simulações feitas.

A Figura 2 apresenta os resultados dos **cenários 1 e 2** para cada uma das 27 combinações possíveis de configuração de posicionamento de leitores e etiquetas de referência. Observa-se que os piores desempenhos² de localização ocorrem sempre com o posicionamento 6 de leitores em ambos os cenários. Isso ocorre independentemente do ambiente ser aberto ou fechado e independentemente do posicionamento de etiquetas de referência estudado (A, B, C). Contudo, observa-se que nesse caso específico de posicionamento de leitores, o posicionamento C de etiquetas de referência provê os melhores resultados.

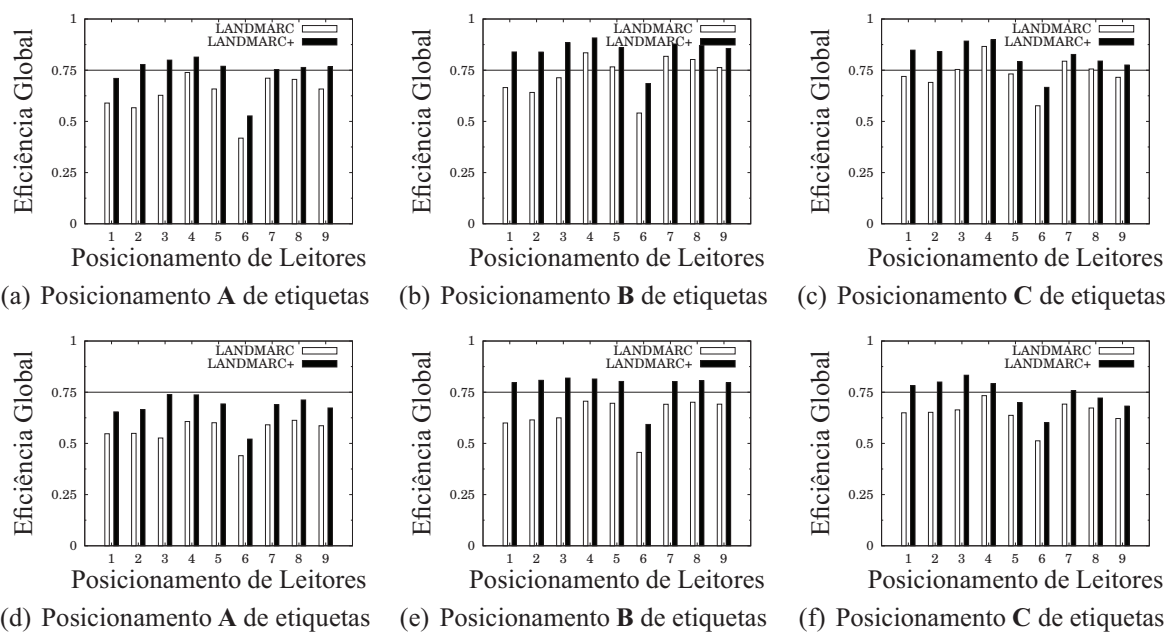


Figura 2. (a), (b) e (c): Cenário 1 (fechado/Desvanecimento). (d), (e), (f): Cenário 2 (aberto/Desvanecimento).

No **cenário 1** é observado que a melhor eficiência de localização para cada posicionamento de etiquetas de referência estudado (A, B, C) ocorre sempre para o posicionamento 4 de leitores. Em relação a tal posicionamento de leitores, o posicionamento C de etiquetas de referência provê o melhor resultado. No **cenário 2**, nota-se que o melhor desempenho de localização ocorre quando é utilizado o posicionamento C_4 .

²Para se classificar um desempenho como melhor ou pior na análise das configurações, considera-se apenas o desempenho do LANDMARC, ou seja, a eficiência primária.

Pelo exposto, conclui-se que para os cenários avaliados, é melhor utilizar o posicionamento 4 de leitores associado ao posicionamento C de etiquetas de referência. Para o posicionamento em questão de leitores, apenas o posicionamento C de etiquetas de referência produz uma melhor eficiência de localização.

A Figura 3 apresenta os resultados dos cenários 3 e 4 para cada uma das 27 configurações estudadas de posicionamento da infraestrutura de localização. Observa-se que em ambos os cenários, os piores desempenhos de localização também ocorrem sempre com o posicionamento 6 de leitores. Isso também ocorre independentemente do ambiente ser aberto ou fechado e independentemente do posicionamento de etiquetas de referência avaliado (A, B, C). Como no caso do ambiente ser fechado, observa-se que o posicionamento C de etiquetas de referência provê os melhores resultados quando o posicionamento 6 de leitores é utilizado.

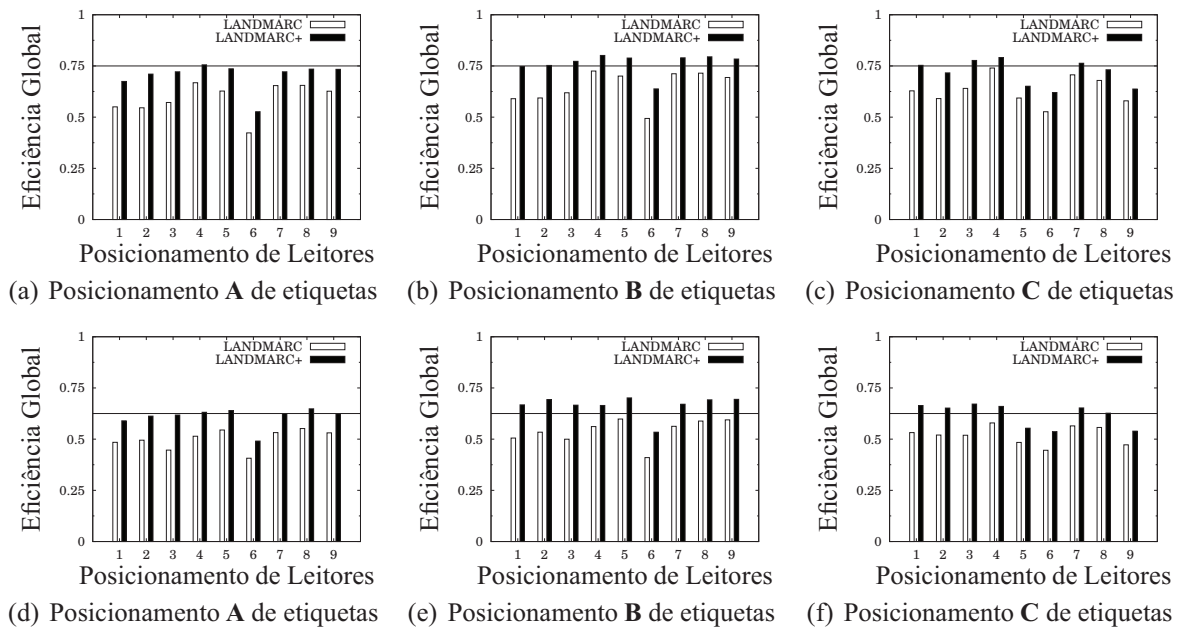


Figura 3. (a), (b) e (c): Cenário 3 (fechado/*Path Loss* estendido). (d), (e) e (f): Cenário 4 (aberto/*Path Loss* estendido).

No **cenário 3**, nota-se que a melhor eficiência de localização para cada posicionamento de etiquetas de referência estudado (A, B, C) ocorre sempre para o posicionamento 4 de leitores. Em relação a tal posicionamento de leitores, o posicionamento C de etiquetas de referência também provê o melhor resultado. Contudo, a análise dos resultados do **cenário 4** mostra que o melhor posicionamento de leitores varia em função do posicionamento das etiquetas de referência. Para o posicionamento A de etiquetas de referência, o posicionamento 8 de leitores produz o melhor resultado. Já para o posicionamento B de etiquetas de referência, o melhor resultado é obtido com o posicionamento 5 de leitores. No caso do posicionamento C de etiquetas de referência, o posicionamento 4 de leitores produz o melhor resultado. Dentre os posicionamentos citados, o posicionamento B de etiquetas de referência associado ao posicionamento 5 de leitores produz a melhor eficiência (59, 82% com o LANDMARC). Entretanto, note que a melhor eficiência para o posicionamento C de etiquetas de referência ocorre quando o posicionamento 4 de leitores é utilizado. Nesse caso, a eficiência é de 57, 93% com o LANDMARC.

A análise dos resultados obtidos para os **cenários 1, 2 e 3** mostra que o posicionamento C_4 é o mais adequado por produzir os melhores resultados. Para o **cenário 4**, o posicionamento B_5 é o melhor, embora o posicionamento C_4 produza uma eficiência global apenas ligeiramente inferior. Pelo exposto, o posicionamento C_4 pode ser escolhido como o planejamento de posicionamento mais adequado já que produz quase sempre os melhores resultados sob diversas condições de propagação de sinais e independentemente do ambiente ser aberto ou fechado. Corrobora para tal escolha, o fato de que em um ambiente real, é importante utilizar um *layout* único de posicionamento de leitores e etiquetas de referência. Isso ocorre, pois a infraestrutura de localização precisa ser fixa e com posicionamento previamente mapeado. Além disso, deve-se considerar que, na prática, um canal de comunicação sem fio está sujeito a condições de propagação de sinais que variam ao longo do tempo. Tais condições são desconhecidas *a priori* e seria inviável readequar o posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas de referência toda vez que as condições de propagação de sinais mudassem.

4.4. Eficiência por Sala com o Posicionamento C_4

Esta seção apresenta um estudo da eficiência global dos sistemas de localização em cada uma das salas do ambiente interno e para cada um dos 4 cenários definidos na Seção 4.2. Nesse novo estudo, apenas o posicionamento C_4 é utilizado. Em todos os cenários, 2.000 objetos a serem localizados foram posicionados aleatoriamente dentro de cada uma das 9 salas do ambiente interno. O LANDMARC e o LANDMARC+ foram executados para localizar cada um dos objetos. Nos cenários com desvanecimento e para cada objeto a ser localizado, obteve-se a resposta dos sistemas de localização para cada fator K no intervalo $[0, 6]$ em passos de 0,5. Nos cenários que utilizam o modelo de propagação *Path Loss* estendido e para cada objeto a ser localizado, obteve-se a resposta dos sistemas de localização para cada σ^2 no intervalo $[0, 20]$ em passos de 2. Todos os resultados apresentados possuem intervalo de confiança de 99%. Tal intervalo é representado por barras de erro nos gráficos.

4.4.1. Ambientes Fechados e Abertos

A Figura 4 mostra a eficiência global por sala com o LANDMARC e o LANDMARC+ sob os **cenários 1 e 3** (ambientes fechados). A eficiência global por sala com o LANDMARC e o LANDMARC+ sob os **cenários 2 e 4** (ambientes abertos) é apresentada na Figura 5.

Ao se comparar os resultados obtidos com ambientes abertos e fechados, observa-se que uma maior eficiência de localização nos ambientes fechados. Isso é explicado pelo fato da presença de divisórias aumentar a probabilidade do KNN escolher como etiquetas de referência vizinhas mais próximas do objeto a ser localizado, as etiquetas que estão posicionadas na mesma sala onde se encontra tal objeto. Em todos os resultados, observa-se também um aumento da eficiência com o aumento de K e com a diminuição de σ^2 . Isso é esperado, pois se reduz cada vez mais a variabilidade das medidas de RSS. Em particular, observa-se que a estratégia adotada pelo LANDMARC+ contribui de forma mais significativa para a melhoria da eficiência global em salas que não possuem leitores instalados.

Note que a eficiência de localização em algumas salas é próxima à eficiência de localização em outras. Assim, é possível identificar 3 conjuntos distintos de salas de acordo com os resultados apresentados: o conjunto formado pelas *salas 1, 3, 7 e 9*; o conjunto formado pelas *salas 2, 4, 6 e 8*; e o conjunto unitário formado pela *sala 5*. A formação desses conjuntos é explicada pela simetria das salas em relação à infraestrutura de localização que também está disposta de forma simétrica no ambiente.

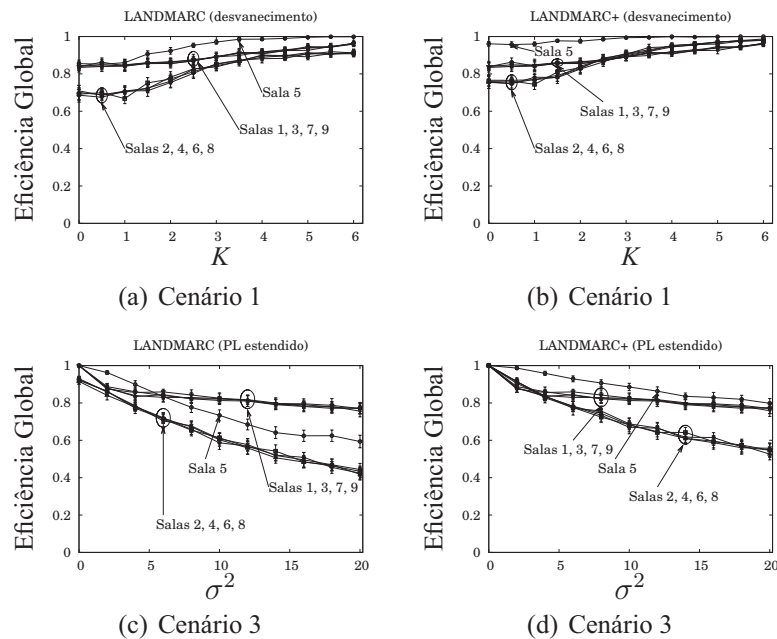


Figura 4. Eficiência Global com posicionamento aleatório de objetos em ambientes fechados.

4.4.2. Posicionamento Restrito de Objetos em Ambientes Abertos e Fechados

Em [Silva and Gonçalves 2009b], são apresentados estudos preliminares que sugerem que a eficiência global de localização do LANDMARC e do LANDMARC+ aumenta quando os objetos a serem localizados estão dentro da região interna formada pelas etiquetas de referência da sala ou área onde se situam. Essa sugestão é baseada na análise da eficiência de localização em apenas uma das 6 salas do ambiente interno estudado. Esta seção apresenta uma avaliação da eficiência de localização do LANDMARC e do LANDMARC+ seguindo tal sugestão, porém a avaliação é feita para cada uma das 9 salas do ambiente interno estudado neste artigo. As avaliações descritas na Seção 4.4.1 são repetidas aqui, alterando-se apenas a localização dos 2.000 objetos em cada sala. Para cada sala, os objetos estão agora posicionados aleatoriamente dentro da região interna formada pelas etiquetas de referências.

Ao se comparar os resultados apresentados nas Figuras 6 e 4, observa-se uma melhora significativa na eficiência global de localização. A mesma observação é válida ao se comparar os resultados apresentados nas Figuras 7 e 5. Por exemplo, houve melhorias de até 20% na eficiência global de localização nas *salas 1, 3, 7 e 9* ao se comparar o desempenho do LANDMARC nas Figuras 7(c) e 5(c) para $\sigma^2 = 2$. Logo, os

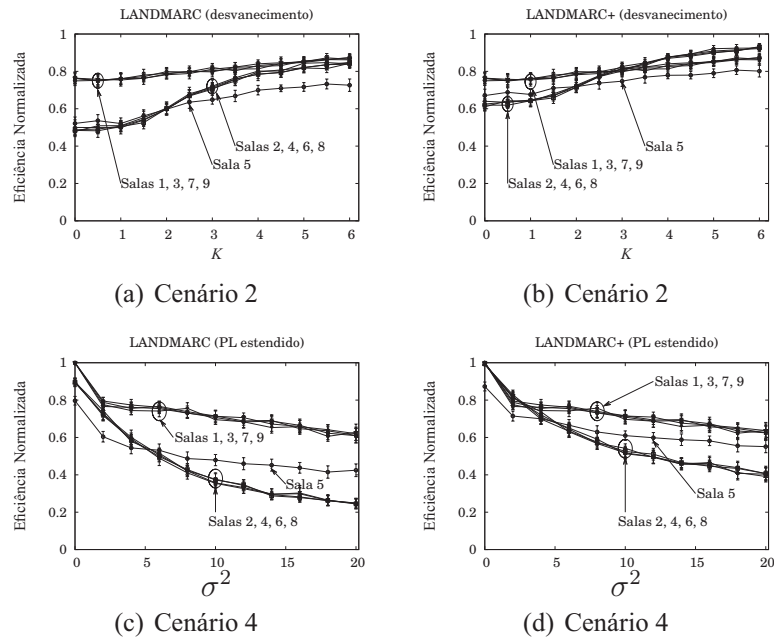


Figura 5. Eficiência Global com posicionamento aleatório de objetos em ambientes abertos.

resultados apresentados confirmam a sugestão de posicionamento de objetos apresentada em [Silva and Gonçalves 2009b].

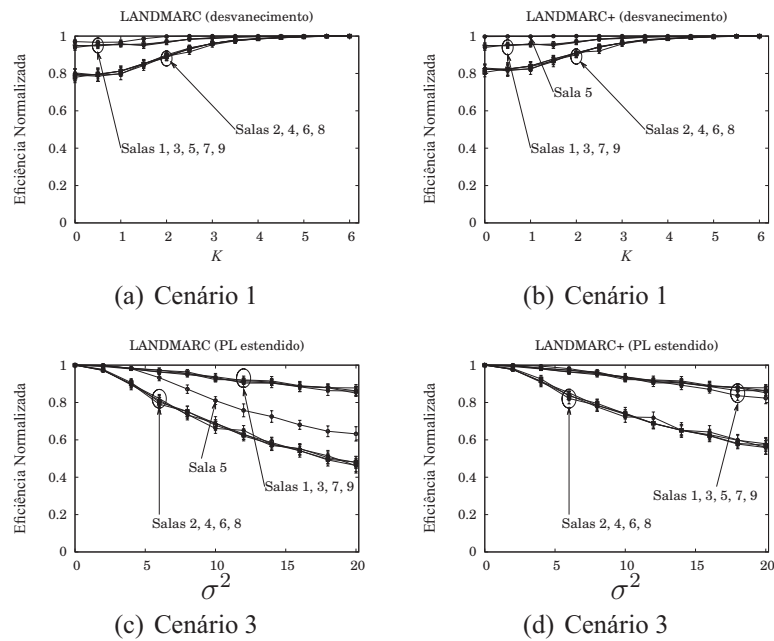


Figura 6. Eficiência Global com posicionamento restrito dos objetos em ambientes fechados.

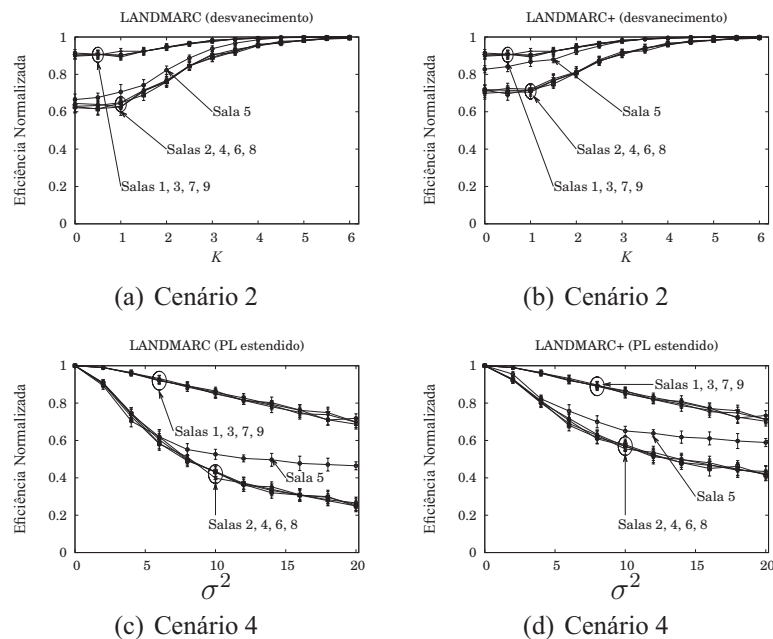


Figura 7. Eficiência Global com posicionamento restrito de objetos em ambientes abertos.

5. Considerações Finais

Esse artigo demonstrou a importância de se planejar o posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas de referência dos sistemas de localização LANDMARC e LANDMARC+. Dependendo de como essa infraestrutura é posicionada, a eficiência de localização dos objetos etiquetados com RFID pode ser significativamente afetada para aplicações que precisam informar a sala ou área onde um objeto está fisicamente posicionado.

Através do estudo de 27 configurações de posicionamento dessa infraestrutura, foi demonstrado que a configuração de posicionamento C_4 se mostrou a mais adequada sob diversas condições de propagação de sinais no ambiente interno estudado. Isso indica que em ambientes semelhantes ao estudado, é preferível posicionar as etiquetas de referência mais próximas do centro das salas ou áreas do ambiente do que mais próximas das fronteiras dessas salas ou áreas. Por outro lado, os resultados também indicam que o melhor posicionamento dos leitores no ambiente é aquele onde eles estão próximos ao limite do ambiente, simetricamente nos cantos, mas respeitando a condição de haver comunicação com todas as etiquetas.

Referências

- Bahl, P. and Padmanabhan, V. (2000). RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System. In *Proc. of IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, volume 2, pages 775–784.
- Ni, L., Liu, Y., Lau, Y., and Patil, A. (2004). LANDMARC: Indoor Location Sensing using Active RFID. *Wireless Networks*, 10(6):701–710.
- Rappaport, T. S. (2001). *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall PTR, 2nd edition.

- Sanchez-Garcia, J. and Smith, D. R. (2002). Capture Probability in Ricean Fading Channels with Power Control in the Transmitters. *IEEE Transactions on Communications*, 50(12).
- Sarkar, T., Ji, Z., Kim, K., Medouri, A., and Salazar-Palma, M. (2003). A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 45(3):51–82.
- Seidel, S. and Rappaport, T. (1992). 914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 40(2):207–217.
- Shi, W., Liu, K., Ju, Y., and Yan, G. (2010). An Efficient Indoor Location Algorithm based on RFID Technology. In *Proc. of International Conference on Wireless Communications, Networking, and Mobile Computing (WiCOM)*, pages 1–5.
- Silva, R. A. and Gonçalves, P. A. S. (2009a). Enhancing the Efficiency of Active RFID-based Indoor Location Systems. In *Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 1–6.
- Silva, R. A. and Gonçalves, P. A. S. (2009b). Um Novo Algoritmo de Auxílio à Localização de Etiquetas RFID Ativas em Ambientes Internos. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*, pages 539–552.
- Zhang, X., Peng, J., and Cao, X. (2010). RFID Indoor Localization Algorithm Based on Dynamic Netting. In *Proc. of International Conference on Computational and Information Sciences (ICCCIS)*, pages 428–431.
- Zhao, Y., Liu, Y., and Ni, L. (2007). VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination. In *Proc. of IEEE International Conference on Parallel Processing*, pages 5–12.
- Zhu, F.-J., Wei, Z.-H., Hu, B.-J., Chen, J.-G., and Guo, Z.-M. (2009). Analysis of Indoor Positioning Approaches Based on Active RFID. In *Proc. of International Conference on Wireless Communications, Networking, and Mobile Computing (WiCOM)*, pages 1–4.