

# Influência da interferência e da localização de sensores no desempenho de redes corporais sem-fio

Fábio Kazuo Hashimoto de Barros<sup>1</sup>, Michael Keese Martins<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curso de Engenharia de Computação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
CEP – 86.300-000 – Cornélio Procopio – PR – Brasil

fabiobarros@alunos.utfpr.edu.br, michael.keese@bol.com.br

**Abstract.** *Transmitting data reliably has been very important in the last years. The number of connected devices has grown up a lot, and with the advent of wireless networks, who exchange information in a very variable environment, the air; the reliability in the transmission turned out to be even more important. When speaking about body-area networks, this must be treated very seriously, once that they usually require accurate information, because they deal with signals related to people's health. Any mistakes here can result in a wrong diagnose, compromising the user's health. This paper looks to evaluate the influence of interference and sensors' location in the network's performance and what would be its impact in the reliability of the network.*

**Resumo.** *Transmitir dados de forma confiável tem se tornado cada vez mais importante nos últimos anos. O número de dispositivos em rede tem crescido muito, e com o advento das redes sem-fio, que trocam informações utilizando um meio muito variável, o ar, a confiabilidade nesta troca tornou-se cada vez mais fundamental. Quando fala-se em redes corporais, isto deve ser tratado muito seriamente, já que estas em muitas vezes exigem precisão nas informações, pois tratam de sinais relacionados à saúde das pessoas. Algum erro cometido aqui pode levar a um diagnóstico errado, comprometendo a saúde do usuário. Este trabalho busca avaliar a influência da interferência e da localização de sensores no desempenho da rede, e qual seria o impacto da mesma na confiabilidade da rede.*

## 1. Introdução

Transmissão de dados é um assunto muito importante quando se trata de avanços tecnológicos. Este é, inclusive, um dos fatores que definem os limites de evoluções tecnológicas, afinal de contas, não há equipamento algum capaz de funcionar por toda a eternidade realizando envios e recebimentos de dados em sua integridade. Podem ser destacadas duas importantes questões desta última afirmação: tempo de vida útil de equipamentos e capacidade de transmissão e recepção de dados. Há vários estudos e abordagens que buscam qualquer tipo de aperfeiçoamento destes dois assuntos.

Sabe-se que o uso de energia por parte dos equipamentos é algo que necessita de melhorias para que seja possível que novas idéias surjam e sejam colocadas em prática para melhorar a relação envio / recebimento de dados. O grande problema deste contexto é que estas grandezas (energia e envio/recebimento de dados) são inversamente proporcionais, ou seja, quanto mais esforços são feitos para melhorar o envio e recebimento de

dados mais energia é demandada. Este trabalho procura estudar qual é o impacto causado pela interferência e pelo posicionamento e localização dos nós de rede nos processos que envolvem a transmissão de dados. Além disso, propôr formas para aprimorar estes processos e obter resultados melhores no que diz respeito a recebimento de dados e consumo de energia.

O cenário utilizado para tornar este estudo possível é simulado na ferramenta Castalia (versão 3.3) que é brevemente apresentada na seção 3. A simulação consiste em uma rede de monitoramento corporal (maiores detalhes na seção 2) que contém seis nós sensores (dispositivos com rádio que coletam informações corporais e as transmitem). Estes nós estão localizados da seguinte forma: um em cada braço, um em cada perna, um no peito e um localizado na região do abdômen. Este último é o nó sink, que é responsável por receber as informações coletadas pelos outros nós. Os resultados das simulações e mais detalhes da proposta deste trabalho são apresentados na seção 4, e a conclusão na 5.

## **2. Monitoriamento Corporal**

As evoluções em componentes eletrônicos beneficiaram várias áreas. Ao considerar que estes avanços permitiram que dispositivos de rádio fossem menores, as Wireless Body Area Networks (WBANs) emergiram como uma nova tecnologia [Denis et al. 2014]. Tratam-se de redes corporais que transmitem e coletam informações que auxiliam e contribuem em contextos como saúde, esportes, entretenimento e segurança. Estas redes são compostas por dispositivos com rádio que trabalham como nós sensores, para extrair informações de interesse a respeito do corpo humano. Há uma gama muito grande de informações que podem ser coletadas por estes nós, como temperatura, batimentos cardíacos, explosão muscular, ou até mesmo para estatísticas como número de passos dados, velocidade, aceleração. Em posse destes valores, profissionais distintos podem explorar meios de melhorar a qualidade de vida de uma pessoa ou até melhorar o desempenho de um atleta em um determinado esporte.

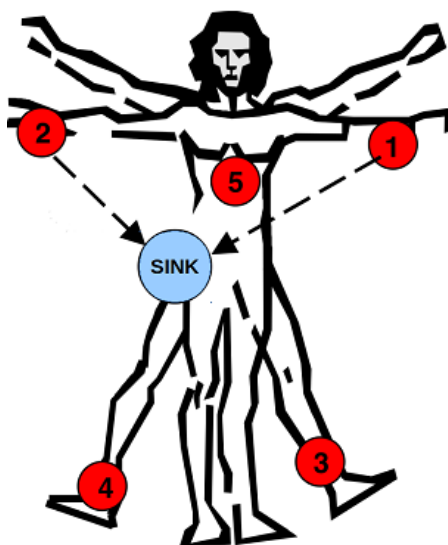
As possibilidades são muito vastas, e isto faz com que WBANs sejam muito versáteis. Várias abordagens de uso deste tipo de rede podem ser encontradas sem a necessidade de despendar muito esforço em pesquisas. Grande parte destes estudos busca melhorias em aplicações médicas. Alguns outros procuram realizar testes a fim de melhorar a forma como os nós operam, para que a transmissão de dados entre eles seja otimizada e o consumo de energia diminuído, o que faria que o tempo de vida da rede aumentasse.

Este tipo de rede corporal, pode ser instalada no corpo de uma pessoa de diferentes maneiras. Pode-se contar com o auxílio de tecnologia vestível (wearable technology), que é um novo conceito de utilização da tecnologia que busca facilitar o uso de dispositivos ao torná-los adaptáveis ao corpo humano, seja através de um óculos, ou através de luvas e até mesmo de roupas. O princípio deste conceito está na ideia de vestir a tecnologia. Além desta abordagem, é possível utilizar WBANs em locais onde elas podem ser portáteis, como em bolsos de roupas e nas mãos.

Em geral, estas redes necessitam de uma central, geralmente chamada de sink (ou hub), que é um nó como qualquer outro. Entretanto, sua função é receber as informações coletadas pelos outros nós. O sink não realiza transmissão de informações, porém, faz envio de pacotes de dados especiais para os nós da rede com o intuito de informá-los que as informações devem ser enviadas para ele. Estes pacotes são enviados periodicamente,

o que permite monitorar o funcionamento da rede, uma vez que se o sink não obter sucesso em sucessivas tentativas de envio de pacotes para um determinado nó, pode-se concluir que há um problema de comunicação que possivelmente comprometa o propósito de implementação da WBAN em questão.

Bem como em [Boulis et al. 2012], neste trabalho, os nós sensores e o sink são simulados com o auxílio do software Castalia (apresentado na próxima seção) e se encontram distribuídos no corpo humano com a disposição que pode ser observada na Figura 1.



**Figura 1. Distribuição dos sensores no corpo humano.**

Um grande problema derivado da disposição dos nós (Figura 1) em conjunto com o contexto a ser estudado, onde pode-se imaginar que estes nós estarão em constante movimentação, é a perda de sinal. A movimentação destes sensores faz com que eles fiquem constantemente se afastando e se aproximando do sink, e sabe-se que a distância é um fator que interfere diretamente na transmissão de dados entre dispositivos com rádio. Esta interferência no sinal é considerada pelo software de simulação utilizado neste trabalho através de um modelo de pathLoss (perda de sinal no espaço) implementado que o Castalia oferece. Para compreender melhor a utilidade deste modelo, pode-se imaginar a seguinte situação: a pessoa que está usando a WBAN está caminhando em um dia onde o vento está forte. Certamente os sinais transmitidos por cada nó sensor não se comportarão da mesma forma se comparados ao momento em que esta mesma pessoa está dormindo (situação onde não há movimentação dos nós sensores e não há tanta interferência climática). O Castalia traz implementações de dois modelos de perda de sinal, que é o pathLoss e o temporalModel (perda de sinal por variações temporais) para que as simulações considerem tais interferências e os resultados obtidos sejam mais confiáveis e condizentes com a realidade a qual os nós são expostos.

Maiores detalhes sobre a simulação representada pela Figura 1 serão explanados na seção a seguir.

### 3. Simulador Castalia

O site oficial classifica o Castalia como um simulador para WSN (Wireless Sensors Networks), BAN (Body Area Network) e redes de dispositivos de baixa potência. Conforme supracitado, o Castalia foi utilizado neste trabalho com o intuito de estudar o comportamento de uma rede corporal, ou seja, uma BAN a fim de encontrar maneiras de melhorá-la, no que diz respeito a recebimento de dados e tempo de vida útil da rede.

Os desenvolvedores do Castalia destacam algumas características que definem superficialmente o software:

- Modelo de canal baseado em dados empiricamente testados;
- Modelo de perda de sinal no espaço implementado;
- Modelo de perda de variação temporal implementado;
- Permite movimentação dos nós;
- Modelo de rádio baseado em rádios reais de comunicação de baixa potência;
- Múltiplas potências de transmissão de sinal com suporte para configurações individuais dos nós;
- Estados com diferentes consumos de energia;
- Protocolos de roteamento e MAC disponíveis;

O simulador foi utilizado neste trabalho através de uma máquina virtual no VirtualBox, onde foi instalado o sistema operacional Linux Ubuntu. Maiores informações sobre o uso do Castalia, no que envolve definição de parâmetros e configurações da simulação podem ser encontradas nos próximos tópicos.

A versão instalada para o desenvolvimento do trabalho foi a 3.3.

### 4. Proposta

A proposta deste trabalho é avaliar a influência de interferências e da localização de cada sensor no desempenho da rede corporal. O desempenho foi avaliado em termos de taxa de entrega de pacotes, número absoluto de pacotes recebidos, consumo de energia e a variação do RSSI (Received Signal Strength Indication, a potência do sinal recebido) no tempo. Esta avaliação foi realizada com o auxílio do simulador de redes sem-fio Castalia, na versão 3.3.

Para realizar os experimentos, foram feitas algumas simulações, variando alguns parâmetros do módulo de rádio do Castalia. Exemplos desses parâmetros são: presença ou não de interferência (collisionModel) e modo de operação do rádio, que pode ser high, que é mais utilizado para situações onde o sinal da rede é mais forte (sensibilidade menor), e aceita uma taxa de pacotes maior, ou pode também ser o low, que é mais voltado para casos onde o sinal da rede é mais fraco (maior sensibilidade), mas aceita uma taxa de pacotes menor. Os resultados obtidos serão apresentados nas seções seguintes, bem como a análise dos mesmos.

Baseando-se em referenciais teóricos, como em [Dong and Smith 2013] e [Liu et al. 2015], espera-se que a rede tenha uma queda de desempenho na presença de interferências, muito devido ao fato de que haverão colisões de pacotes sendo transmitidos ao mesmo tempo, e que a localização dos sensores também influencie na performance, devido à falta de visada entre um nó e outro, como o mostrado em [Denis et al. 2014] e em [See et al. 2011] e [Ge et al. 2011], onde o fato de o sink estar de um lado do corpo influenciou no desempenho dos nós localizados do lado oposto.

#### 4.1. Descrição do cenário

O cenário simulado é uma WBAN composta de 6 nós, sendo 1 hub e 5 sensores, colocados nos pulsos, tornozelos e no peito, como demonstra a figura 1. O hub está localizado na altura da cintura, no lado direito do corpo. A aplicação utilizada para os testes é o ThroughputTest, em código implementado na linguagem C++.

Neste trabalho, foram simulados quatro cenários diferentes, apresentados na tabela 1. Cada um destes foi simulado dez vezes, e os resultados finais utilizados foram os valores médios encontrados em cada um dos cenários. Além disso, em todas as configurações foi utilizada a opção collectTraceInfo do Castalia, com o objetivo de coletar os valores de RSSI para cada pacote recebido. Para que essa informação fosse apresentada no arquivo gerado pelo collectTraceInfo, foram feitas algumas pequenas alterações no código da aplicação ThroughputTest. A terminologia utilizada na tabela 1 encontra-se logo abaixo.

- **sim-time-limit:** Duração da simulação. Nesse caso são 110s de simulação, e 1s de setup time da rede.
- **TxOutputPower:** potência de transmissão em dBm
- **packet\_rate:** potência de transmissão em dBm
- **symbolsForRSSI:** Número de símbolos usados no cálculo do RSSI.
- **collisionModel:** Modelo de colisão de pacotes na transmissão. Basicamente representa as interferências no meio físico. A opção 0 corresponde a um meio ideal, sem interferências, e o 2 representa uma situação mais próxima do real, com a presença destas. de transmissão em dBm
- **phyDataRate:** Taxa de dados do módulo de rádio em Kbps.
- **Radio.mode:** Modo de operação do rádio. O modo high tem foco em receber uma taxa de dados maior, e de sinais que são mais fortes (sensibilidade mais baixa), enquanto que o low muda o enfoque para taxas de dados menores, mas consegue receber pacotes de sinais mais fracos (sensibilidade mais alta).

**Tabela 1. Cenários de teste**

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
sim-time-limit (s)	111	111	111	111
TxOutputPower(dBm)	-25	-25	-25	-25
packet_rate	5	5	5	5
symbolsForRSSI	8	8	8	8
CollisionModel	0	2	0	2
phyDataRate(Kbps)	1024	1024	512	512
Radio.mode	high	high	low	low

Os resultados obtidos ao fim das simulações foram: total de pacotes transmitidos, total e porcentagem de pacotes recebidos, porcentagem de pacotes perdidos e energia consumida em nJ/bit. Além disso, foram coletadas informações sobre o RSSI de cada pacote recebido utilizando um código awk para retirá-las do arquivo gerado pela opção collectTraceInfo. A apresentação e análise destes resultados serão mostradas na seção 4.2.

## 4.2. Resultados

Aqui serão apresentados os resultados obtidos nas simulações realizadas com o Castalia. Abaixo estão descritas algumas abreviações utilizadas nas tabelas 2 a 3, que demonstram o número de pacotes recebidos pelo sink, com influência da interferência. Os gráficos 2, 3, 4 representam o desempenho de todos os cenários, com relação a número e porcentagem de pacotes recebidos assim como consumo de energia.

- **T. Pct. Tx:** total de pacotes transmitidos.
- **R. sem int.:** pacotes recebidos sem interferência.
- **R. com int.:** pacotes recebidos, mas com interferência.
- **NR (abaixo sens.):** não recebidos, sinal abaixo da sensibilidade mínima.
- **NR (int.):** não recebidos devido à interferência.

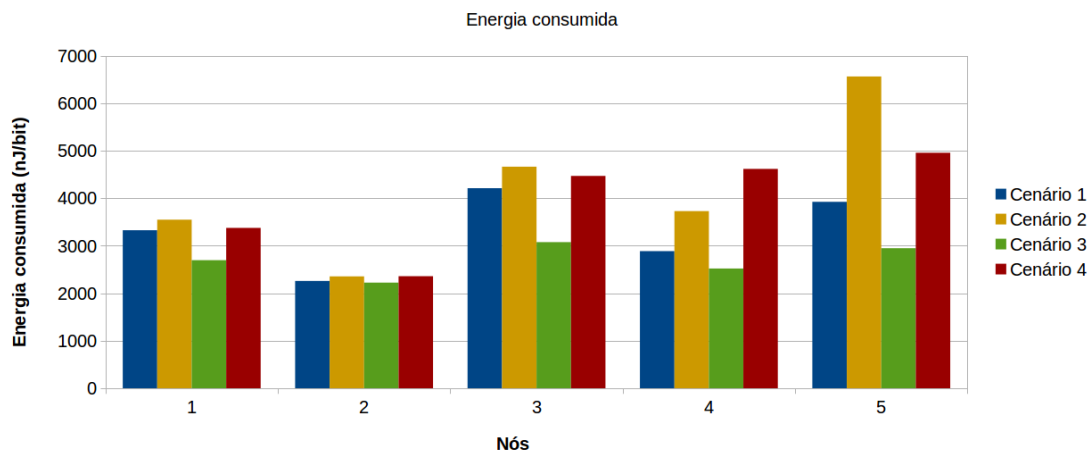


Figura 2. Consumo de Energia (nJ/bit)

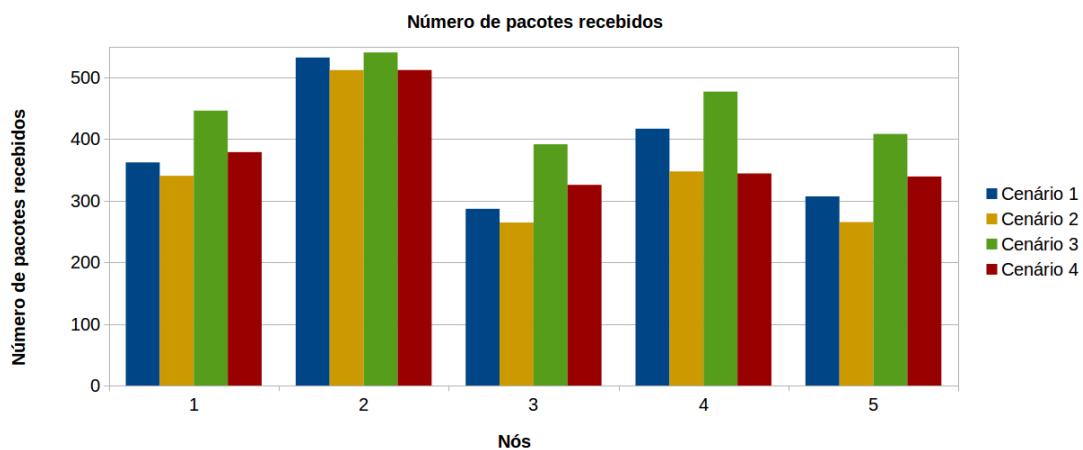
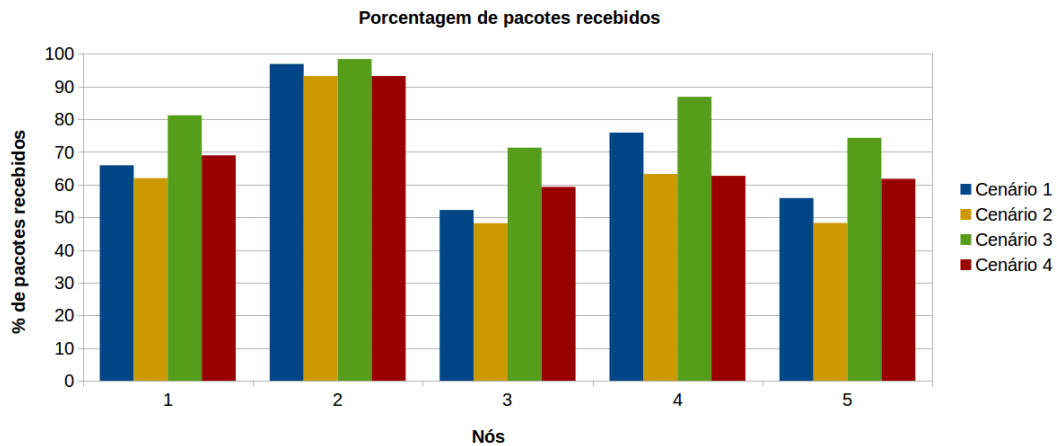


Figura 3. Pacotes recebidos

Como pode ser observado na figura 2, houve um aumento significativo no consumo de energia quando comparados os cenários sem interferência e com. Ou seja, caso o consumo de energia seja fundamental para o desempenho de uma dada rede corporal,



**Figura 4. Porcentagem de pacotes recebidos**

**Tabela 2. Cenário 2 - Pacotes recebidos com interferência**

Nó	T. Pct. Tx	R. sem int	R. com int.	NR (abaixo sens.)	NR (int.)
0	2745	1643,6	86,1	716,8	175,3

a presença de interferência o prejudicará. Além disso, é notável a diferença de consumo entre os modos high e low. A razão para isso é que o high aceita uma taxa de pacotes bem maior. Também é possível perceber que cada nó da rede possui um consumo diferente. Em [Denis et al. 2014], [See et al. 2011] e [Ge et al. 2011] os autores discorrem sobre a influência da localização dos nós na potência do sinal ou nas perdas, mas neste caso também foi possível observar que os nós mais distantes ( tornozelos, 3 e 4), e sem linha de visada direta (1, 3, 4 e 5) consumiram mais energia.

As figuras 3 e 4 mostram a quantidade absoluta e em porcentagem do total de pacotes recebidos. Com relação isso, nota-se que os experimentos realizados considerando um meio ideal apresentaram valores superiores em comparação com aqueles onde a interferência foi usada, quando comparados os mesmos modos de operação do rádio (Cenário 1 x Cenário 2 e Cenário 3 x Cenário 4). Observa-se também que o modo low obteve um melhores resultados, devido à sua maior sensibilidade na recepção. Finalmente, como o dito em [Dong and Smith 2013] e em [Liu et al. 2015], nota-se que a interferência comprometeu a confiabilidade da rede, já que fez com que mais pacotes falhassem na entrega, pois a colisão no envio dos mesmos afeta diretamente a taxa de pacotes perdidos.

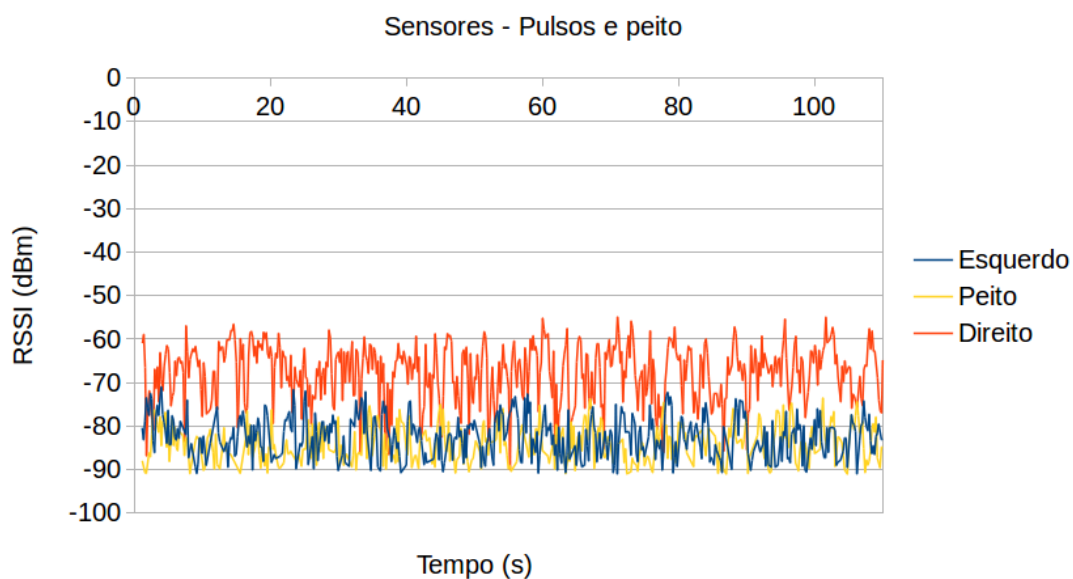
A atuação do collisionMode pode ser diretamente percebido nas tabelas 2 e 3. No cenário 2, o número de pacotes perdidos devido à interferência foi de 175,3 dos 2745 transmitidos, enquanto que no 4, este número salta para 363,3 de 2745. No entanto, é preciso ressaltar que no cenário 2 houveram mais perdas relacionadas à sensibilidade baixa do que no 4. Isto se deve ao fato que o cenário 2 opera com sensibilidade de -87 dBm e o 4 com -91 dBm.

Os gráficos das figuras 2, 3 e 4, demonstram que a localização dos sensores também influenciou no desempenho da rede. Da mesma forma que em [Denis et al. 2014], [See et al. 2011] e [Ge et al. 2011], os nós mais distantes e sem vi-

**Tabela 3. Cenário 4 - Pacotes recebidos com interferência**

Nó	T. Pct. Tx	R. sem int	R. com int.	NR (abaixo sens.)	NR (int.)
0	2745	1641,5	258,6	358,4	363,3

sada direta para o sink (1,3,4 e 5) tiveram uma taxa de entrega menor do que o 2, que é o mais próximo do hub. Mais constatações sobre a performance da rede devido à localização dos sensores serão feitas usando os gráficos seguintes, de RSSI x tempo de simulação.

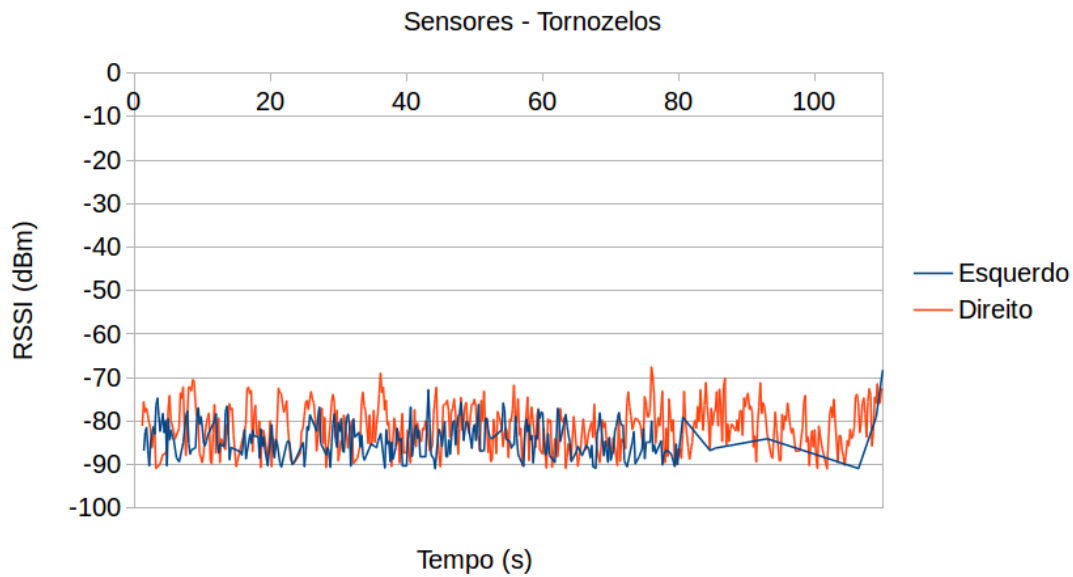
**Figura 5. Pacotes recebidos**

Nas figuras 5 e 6, apenas resultado para o cenário 2 foi avaliado. Eles mostram o RSSI dos pacotes recebidos pelo sink ao longo da simulação de 110s. Nota-se a visível diferença na intensidade do sinal recebido quando comparados os sensores localizados no lado esquerdo e direito do corpo. Isto acontece pelo fato de o hub para onde todas as informações vão estar localizado na altura da cintura, do lado direito do corpo. Além disso, percebe-se que o sensor instalado no peito também teve maiores dificuldades em enviar um sinal forte para o hub, e isso se deve ao fato de que há o corpo do paciente entre os dois. Por tudo isso, é possível concluir que a localização dos sensores influenciou negativamente no desempenho da rede, devido à falta de visada direta e a presença de obstáculos entre os sensores e o sink.

## 5. Conclusão

Ao avaliar os resultados obtidos nas simulações, foi possível claramente perceber a influência da interferência e da localização dos sensores no desempenho da rede com relação à taxa de entrega de pacotes e à potência do sinal recebido. Nos experimentos feitos com a presença de interferência, ao usar o `collisionMode = 2` do simulador Castalia, percebeu-se uma queda significativa na porcentagem de pacotes entregues, assim como um consumo maior de energia.





**Figura 6. Pacotes recebidos**

Como redes corporais lidam com sinais de importância em aplicações médicas, onde informações não podem ser imprecisas ou perdidas, é necessário que medidas sejam tomadas com relação ao efeito destrutivo que a interferência pode ter nestes sinais sem-fio. Para isso, é necessário investigar a fonte da mesma, que pode ter origem em objetos do ambiente ou ainda em outras redes corporais co-localizadas, causando colisões nas transmissões de pacotes.

Por fim, pode-se considerar ainda que a localização dos sensores em relação ao sink também influenciou negativamente no desempenho da rede, já que os nós mais distantes ou com falta de visada direta para o hub, ou seja, com a presença de um obstáculo entre as duas partes comunicantes, obtiveram uma taxa de recepção de pacotes inferior aos que estavam mais próximos e sem obstáculos no caminho para o sink.

## Referências

- Boulis, A., Tselishchev, Y., Libman, L., Smith, D., and Hanlen, L. (2012). Impact of wireless channel temporal variation on mac design for body area networks. *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.* 11, S2, Article 51 (August 2012).
- Denis, B., Amiot, N., B.Uguen, Guizar, A., Goursaud, C., Ouni, A., and Chaudet, C. (2014). Qualitative analysis of rssi behavior in cooperative wireless body area networks for mobility detection and navigation applications. *2014 21st IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*.
- Dong, J. and Smith, D. (2013). Coexistence and interference mitigation for wireless body area networks: Improvements using on-body opportunistic relaying. *Submitted for possible publication on IEEE Transactions on Wireless Communications*.
- Ge, Y., Kwan, J. W., Pathmasuntharam, J. S., Di, Z., See, T. S. P., Ni, W., Kim, C. W., Chiam, T. M., and Ma, M. (2011). Performance benchmarking for wireless body area

networks at 2.4 ghz. *2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*.

Liu, B., Zhao, X., Zou, L., and Chen, C. W. (2015). Inter-wban coexistence and interference mitigation. *ZTE Communications, June 2015, Vol 13 No.2*.

See, T. S., Ge, Y., Chiam, T. M., Kwan, J. W., and Kim, C. W. (2011). Experimental correlation of path loss with system performance in wban for healthcare applications. *2011 IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*.