



MONITORIZAÇÃO DA DISPONIBILIZAÇÃO DE COBERTURA CELULAR UBÍQUA EM AMBIENTE HOSPITALAR: MEDIÇÕES DO ESPECTRO RADIOELÉTRICO NO CHUCB

SILVA, OSCAR (1); TEIXEIRA, EMANUEL (2); CORCEIRO, ANA (3); REIS,
ANTONIO D. (4); VELEZ, FERNANDO J. (5)

- (1) Instituto de Telecomunicações e DEM – UBI, E-mail: oscar.silva@ubi.pt
(2) Instituto de Telecomunicações e DEM – UBI, E-mail: emanuelt@ubi.pt
(3) DEM – Universidade da Beira Interior, E-mail: anacorceiro@hotmail.com
(4) Universidade da Beira Interior, E-mail: adreis@ubi.pt
(5) Instituto de Telecomunicações e DEM – UBI, E-mail: fjv@ubi.pt

RESUMO

Nos últimos anos, as comunicações móveis celulares e sem fios têm evoluído de forma significativa, possibilitando o surgimento de várias tecnologias que transformaram a forma como nos comunicamos. No contexto da saúde, as Redes Sem Fios de Área Corporal (WBAN) possibilitam a monitorização remota de pacientes, recolhendo e transmitindo dados vitais através de dispositivos localizados ao redor ou dentro do corpo humano. Apesar dos avanços nas tecnologias de comunicação, estudos anteriores indicam que muitos hospitais enfrentam desafios de garantia de uma cobertura adequada, devido à complexidade das suas infraestruturas e às interferências que podem comprometer o sinal. O objetivo deste estudo é avaliar a cobertura celular no Centro Hospitalar Universitário Cova da Beira (CHUCB), identificando áreas onde a melhoria é necessária. Foram realizadas medições do espectro radioelétrico em mais de 20 pontos no CHUCB, utilizando dois equipamentos principais: o analisador de espectro NARDA SRM-3006 e o Scanner R&S@TSM6. As medições abrangeram diversas áreas do hospital, avaliando a potência do sinal recebido e a qualidade da ligação em diferentes horários, ao longo do dia. Os resultados indicam que as operadoras MEO e NOS dominam a cobertura celular no CHUCB, embora áreas como os pontos 17, 19 e 21 de medição, necessitem de melhorias significativas. Para a tecnologia 5G NR, a cobertura predominante em quase todos os pontos de medição pertence à operadora MEO, enquanto para a tecnologia LTE, a operadora NOS apresentou a melhor qualidade de sinal. Com base nos dados obtidos, propõe-se a instalação de femtocélulas nas áreas identificadas como deficientes para melhorar a cobertura celular no CHUCB.

Palavras-chave: WBAN, Comunicações sem Fios, Redes móveis, Cobertura celular ubíqua, Medições de espectro radioelétrico.

ABSTRACT

In recent years, cellular and wireless mobile communications have evolved significantly, enabling the emergence of various technologies that have transformed the way we communicate. In the context of healthcare, Wireless Body Area Networks (WBAN) facilitate the remote monitoring of patients, collecting and transmitting vital data through devices located around or within the human body. Despite advancements in communication technologies, previous studies indicate that many hospitals face challenges in ensuring adequate coverage due to the complexity of their infrastructures and the interferences that can compromise the signal. The objective of this study is to evaluate cellular coverage at the Centro Hospitalar Universitário Cova da Beira (CHUCB), identifying areas where improvement is needed. Measurements of the radio spectrum were conducted at over 20 points in the CHUCB, using two main pieces of equipment: the NARDA SRM-3006 spectrum analyzer and the R&S@TSME6 scanner. The measurements covered various areas of the hospital, assessing signal strength and connection quality at different times throughout the day. The results indicate that the operators MEO and NOS dominate cellular coverage at CHUCB, although areas such as measurement points 17, 19, and 21 require significant improvements. For the 5G NR technology, the predominant coverage at almost all measurement points belongs to the operator MEO, while for LTE technology, the operator NOS demonstrated the best signal quality. Based on the data obtained, the installation of femtocells is proposed in the identified deficient areas to improve cellular coverage at CHUCB.

Keywords: WBAN, Wireless Communications, Mobile Networks, Ubiquitous Cellular Coverage, Radio Spectrum Measurements.

1 INTRODUÇÃO

Vivemos uma época na qual se testemunha um avanço tecnológico ímpar na área das telecomunicações, nomeadamente no desenvolvimento das tecnologias de comunicações sem fios, levando ao surgimento de soluções que transformam a interação social e profissional (SILVA, 2022). No setor da saúde, as Redes Sem Fios de Área Corporal (WBAN) emergiram como uma solução inovadora para a monitorização remota de pacientes (MAJEED e AISH, 2021). Estas redes utilizam dispositivos de baixo consumo energético que têm capacidade para comunicar sem fios (TALEB, NASSER, et al., 2021). Em geral, esses dispositivos incluem sensores, atuadores e microcontroladores, posicionados ao redor ou dentro do corpo humano, para monitorizar, recolher e transmitir dados específicos, como batimentos cardíacos, níveis de oxigénio no sangue e temperatura corporal (HAJAR, AL-KADRI e KALUTARAGE, 2021) (TALEB, NASSER, et al., 2021). Estes dados são, então, processados e diagnosticados por profissionais de saúde. Esta evolução tecnológica é importante, pois permite que os profissionais de saúde acompanhem em tempo real o estado de saúde dos pacientes,

melhorando, assim, a qualidade do cuidado prestado (FRIEND, JENNINGS, et al., 2017).

Apesar dos avanços nas tecnologias de comunicação e das suas aplicações na saúde, muitos hospitais ainda enfrentam desafios significativos na garantia de uma cobertura adequada (VYAS e GUPTA, 2023). Estudos anteriores indicam que a complexidade das estruturas hospitalares e as interferências ambientais podem comprometer a qualidade do sinal, levando a falhas de comunicação. Estas lacunas na cobertura não apenas dificultam o funcionamento eficaz das WBANs, mas também podem afetar diretamente a segurança e o bem-estar dos pacientes, especialmente em áreas críticas, como unidades de cuidados intensivos e salas de emergência, uma vez que, na área da saúde, os dados precisam ser o mais completos possível.

Dada a importância dessa comunicação, a eficácia das redes em ambientes hospitalares depende, fundamentalmente, da qualidade e da disponibilidade da cobertura celular (ANBARASAN e NATARAJAN, 2022), já que os hospitais são ambientes muito complexos, com diversas fontes de interferência e obstruções no sinal. Assim, é essencial identificar as áreas que necessitam de melhorias na cobertura celular para garantir a continuidade e a qualidade dos serviços prestados (MANZO, BRITO e ALVES, 2013). Pesquisas recentes sublinham a importância das tecnologias sem fios, como ZigBee, Wi-Fi e Bluetooth/BLE, em conjunto com redes móveis, assim como a utilização de pequenas células, como femtocélulas, para melhorar a cobertura em ambientes interiores (HAJAR, AL-KADRI e KALUTARAGE, 2021; TALEB et al., 2021).

O objetivo deste trabalho é avaliar a cobertura celular no Centro Hospitalar Universitário Cova da Beira (CHUCB), identificando áreas onde melhorias são necessárias. Com essa finalidade, foram realizadas medições do espectro radioelétrico em mais de 20 pontos do hospital, utilizando equipamentos avançados como o analisador de espectro NARDA SRM-3006 e o scanner R&S@TSME6 incluindo frequências até 2.6 GHz (VELEZ, 2023). Os dados obtidos permitirão uma análise detalhada da qualidade da cobertura, possibilitando a proposta de soluções, como a instalação de femtocélulas em áreas críticas, para assegurar uma comunicação eficiente e contínua. A realização deste estudo é essencial para garantir que todos os setores do hospital disponham da cobertura necessária para operar com segurança e eficácia, contribuindo assim para a melhoria dos cuidados de saúde prestados aos pacientes.

As restantes seções do artigo estão organizadas da seguinte forma. A Seção 2 aborda a metodologia aplicada, elencando a contexto e objetivos das medições, os equipamentos utilizados e os procedimentos de medição. Na Seção 3, analisam-se as medições realizadas com o Narda SRM-3006 e o scanner R&S@TSME6 nos pontos de medição identificados. Na Seção 4 analisam-se os resultados e discute-se a importância da cobertura celular ubíqua em ambientes hospitalares, a

proposta de desenvolvimento de femtocélulas e propostas de expansão futuras. Finalmente, apresentam-se as conclusões na Seção 6.

2 METODOLOGIA

2.1 Contexto e Objetivos das Medições

Foram realizadas medições do espectro radioelétrico no Centro Hospitalar Universitário Cova da Beira (CHUCB), com o intuito de avaliar a qualidade do sinal disponível em diferentes áreas do hospital e nos arredores, bem como identificar zonas que apresentam deficiências de cobertura que possam comprometer a eficácia das WBANs e outros sistemas dependentes de comunicação sem fios (SILVA, 2022). Este estudo foi motivado pela necessidade de explorar possibilidades de disponibilização de cobertura celular ubíqua no contexto hospitalar e circundante, garantindo assim, que todos os setores do hospital, especialmente aqueles de maior criticidade, possuam uma cobertura ubíqua que assegure a continuidade das operações e a segurança dos pacientes (VELEZ, 2023).

2.2 Equipamentos Utilizados

Para a realização das medições, foram utilizados dois equipamentos principais:

- O NARDA SRM-3006 é um analisador de espectro que permite medições seletivas de frequência para análise de segurança e medições ambientais em campos eletromagnéticos de alta frequência, com faixas que vão de 9 kHz a 6 GHz (SILVA, 2022). O sistema de medição SRM-3006 completo é composto por uma Unidade Básica SRM-3006 e uma antena de três eixos, que possibilita medições isotrópicas rápidas e simples, com determinação automática dos três componentes espaciais do campo a ser medido (VELEZ, 2023). O NARDA SRM-3006 é amplamente utilizado para monitorizar a cobertura de redes móveis celulares e redes sem fios locais (SILVA, 2022). Este equipamento combina processamento de sinal analógico e digital para poder garantir valores absolutos e limites de campos eletromagnéticos de elevada frequência. O SRM-3006 utiliza esta técnica de combinação, porque os sinais nesta gama de frequências dessa magnitude são muito difíceis de amostrar digitalmente (VELEZ, 2023).
- O R&S@TSME6 é um scanner que serve para análise e otimização das redes móveis. Este scanner, combinado com o software de teste de unidade R&S@ROMES4, consegue detetar todas as tecnologias de redes móveis disponíveis numa gama de frequências que varia de 9 KHz a 6 GHz, como 5G NR, LTE, NB-IoT, GSM, entre outras (SILVA, 2022). Além de identificar as tecnologias das redes móveis disponíveis, o R&S@TSME6 consegue executar tarefas essenciais envolvidas em medições de cobertura como, identificar interferências, medir o

desempenho, e fazer uma análise de qualidade em redes móveis (SILVA, 2022), (VELEZ, 2021).

2.3 Procedimentos de Medição

As medições foram realizadas tanto no interior como nos arredores do hospital, abrangendo áreas críticas como enfermarias, setor de urgência, imagiologia, heliporto e parques de estacionamento. De acordo com (PUNJ e KUMAR, 2019), o Hospital deve disponibilizar acesso ubíquo de comunicações móveis e sem fios para utilização de aplicações relevantes e bases de dados dos pacientes. Recomenda-se que as estações rádio-base devam ficar mais próximas aos utilizadores, assim diminuindo o nível de campos eletromagnéticos. Quanto mais longe estiver a estação de base em relação aos seus utilizadores, mais elevado será a potência necessária para transmitir, conseqüentemente mais elevado será o campo eletromagnético na sua proximidade.

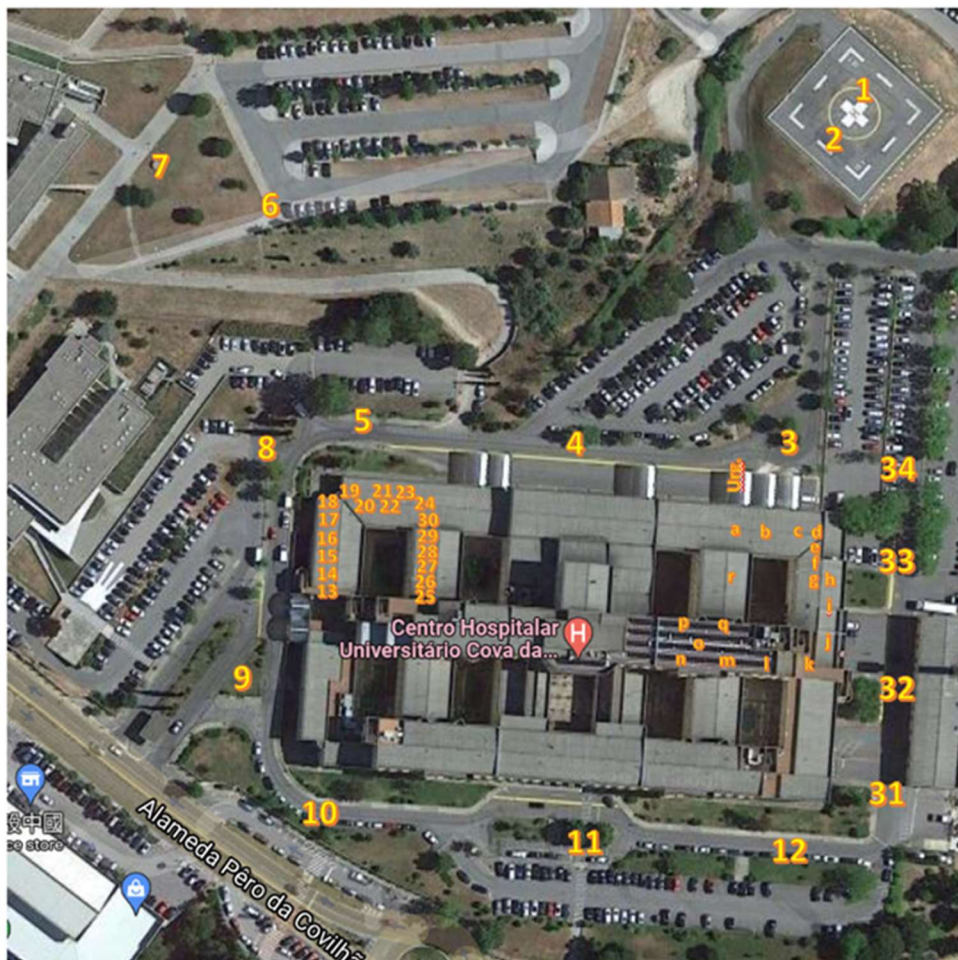


Figura 1 - Mapa dos pontos de medição.
Fonte: Os autores.

Cada ponto de medição foi analisado em termos de intensidade de sinal e qualidade da ligação, representadas por RSSI, RSRP, SINR e RSRQ (SILVA, 2022). As medições foram realizadas em diferentes horários do dia para

capturar variações temporais na qualidade do sinal. Os dados recolhidos foram posteriormente analisados para identificar a qualidade da cobertura em cada área, abrangendo os seguintes setores do Hospital: i) Enfermarias MEDICINA 1; ii) Enfermarias CIRURGIA 1; iii) Urgência Geral; iv) Imagiologia; v) Exames complementares.

Os dados recolhidos foram processados e comparados para identificar tendências e padrões na qualidade da cobertura celular. Os resultados foram apresentados em gráficos que ilustram a intensidade do sinal para diferentes tecnologias em cada ponto de medição, permitindo uma visualização clara das áreas onde a cobertura é insuficiente. Com base nesses resultados, foram feitas recomendações específicas para a melhoria da cobertura, incluindo a proposta de instalação de femtocélulas em zonas críticas.

3 RESULTADOS

Embora todos os resultados tenham sido obtidos e analisados, para manter a concisão do manuscrito, apenas os dados mais relevantes estão apresentados no corpo do texto. Os resultados completos e detalhados das medições podem ser consultados em (VELEZ, 2023).

Foram realizadas medições em várias zonas dentro e fora do CHUCB. Para as medições realizadas com o NARDA SRM-3006, apresentaremos os resultados de seis pontos selecionados para análise. Por outro lado, nas medições feitas com o scanner R&S@TSMÉ6, analisaremos o pior ponto de medição para as quatro (4) tecnologias (LTE, UMTS, 5G NR, e NB-IoT), o ponto 17. Além disso, o resumo com todos os seis pontos de medições será apresentado em um quadro. Esses pontos foram selecionados cuidadosamente para o análise, tendo em vista uma correspondência com as possíveis localizações do sistema de rastreamento de ativos que está a ser concebido para operar no contexto do CHUCB.

Os pontos selecionados são os mesmos tanto para as medições com o Narda quanto para as medições com o scanner. O software de teste de unidade R&S@ROMES4, combinado com o scanner, permitiu-nos registar o tempo em cada ponto de medição, o que facilitou muito análise dos resultados. Através do software, em cada ponto de medição, foi possível selecionar um determinado tempo específico para analisar os resultados. Por outro lado, nas medições feitas com Narda, cada ponto tem o seu número de medição correspondente, conforme apresentado na Tabela 1, facilitando assim a extração dos dados recolhidos em cada um dos pontos de medição. A Tabela 2 apresenta uma listagem das faixas de frequências atribuídas às diversas operadoras, para cada tecnologia disponível, o que permitiu correlacionar os resultados das medições com as tecnologias específicas e suas respectivas operadoras (VELEZ, 2023). Esta tabela é essencial para compreender a distribuição das frequências utilizadas pelas principais operadoras, nomeadamente MEO, NOS e Vodafone.

Tabela 1 - Tabela com a designação dos pontos de medição

Ponto	Narda SRM-3006	Scanner R&S@TSME6
Porta de entrada	325	45 s
13	328	1:18 min
17	332	2:10 min
19	333	2:32 min
21	334	2:47 min
23	337	3:05 min

Fonte: Os autores.

Tabela 2 - Faixas de frequências das operadoras, com base na informação disponibilizada pela ANACOM

Operador	Intervalo de frequências - downlink [MHz]		Faixa de frequência [MHz]	Tecnologia
	https://www.anacom.pt/render.jsp?categoriaId=382989			
MEO	791,0	801,0	800	Neutralidade Tecnológica
MEO	950,9	958,9	900	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
MEO	1845,0	1865,0	1800	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
MEO	2149,9	2169,7	2100	UMTS
MEO	2670,0	2690,0	2600	Neutralidade Tecnológica
NOS	811,0	821,0	800	Neutralidade Tecnológica
NOS	943,1	950,9	900	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
NOS	1825,0	1845,0	1800	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
NOS	2130,1	2144,9	2100	UMTS
NOS	2650,0	2670,0	2600	Neutralidade Tecnológica
Vodafone	801,0	811,0	800	Neutralidade Tecnológica
Vodafone	930,0	935,0	900	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
Vodafone	935,1	943,1	900	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
Vodafone	1805,0	1825,0	1800	GSM / UMTS / WIMAX / LTE
Vodafone	2110,3	2130,1	2100	UMTS
Vodafone	2570,0	2595,0	2600	Neutralidade Tecnológica
Vodafone	2630,0	2650,0	2600	Neutralidade Tecnológica

Fonte: (VELEZ, 2023).

3.1 Resultados de medição com o Narda SRM-3006

Os gráficos das Figuras 2 a 7 apresentam os resultados das medições realizadas com o NARDA SRM-3006 nos seis pontos seleccionados mencionados na Tabela 1. Esses gráficos fornecem detalhes importantes sobre a cobertura celular no CHUCB.

A análise das frequências detectadas na Figura 2 foi possível graças à informação apresentada na Tabela 2. Esta tabela disponibiliza uma listagem das faixas de frequências atribuídas às diversas operadoras de telecomunicações móveis, assim como os detalhes do intervalo concreto de frequências considerado.

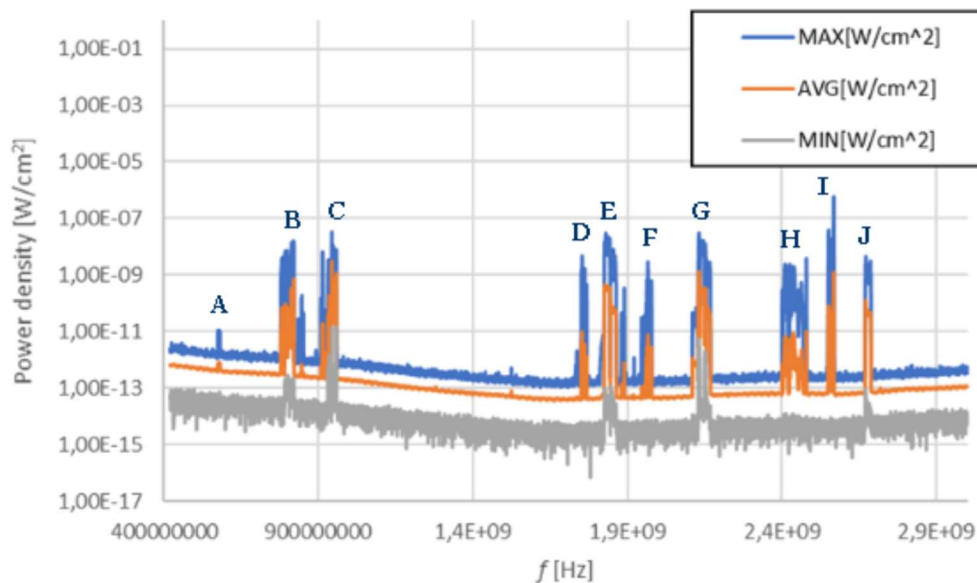


Figura 2 - Gráfico da medição feita no ponto 13.
Fonte: Os autores.

Com base nos dados da Tabela 2, foram identificadas as seguintes frequências e suas tecnologias associadas no ponto 13.

- ❖ A - 760 MHz 5G NR
- ❖ B - 819 MHz Neutralidade Tecnológica
- ❖ C - 945 MHz GSM / UMTS / LTE
- ❖ D - 1754 MHz GSM / UMTS / LTE
- ❖ E - 1837 MHz GSM / UMTS / LTE
- ❖ F - 1977 MHz UMTS
- ❖ G - 2132 MHz UMTS
- ❖ H - 2415 MHz Neutralidade Tecnológica
- ❖ I - 2568 MHz Neutralidade Tecnológica
- ❖ J - 2687 MHz Neutralidade Tecnológica

Podem-se extrair lições semelhantes na porta de entrada das consultas externas, que não está muito longe do ponto 13. No entanto, existem calramente outras tecnologias relevantes identificadas, dado que, devido à existência de uma superfície envidraçada de largas dimensões junto à porta, recoheram-se medições de tecnologias que estão presentes apenas no exterior.

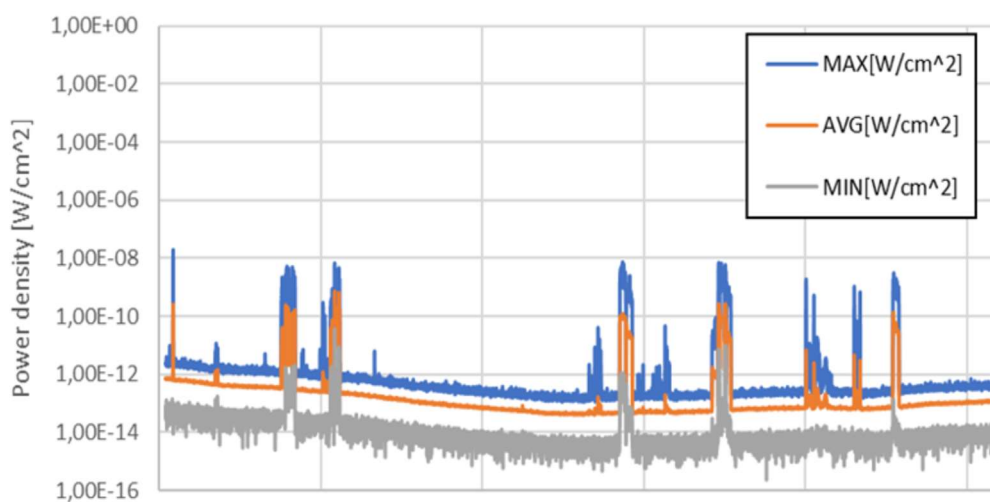


Figura 3 - Gráfico das medições na porta de entrada das consultas.
Fonte: Os autores.

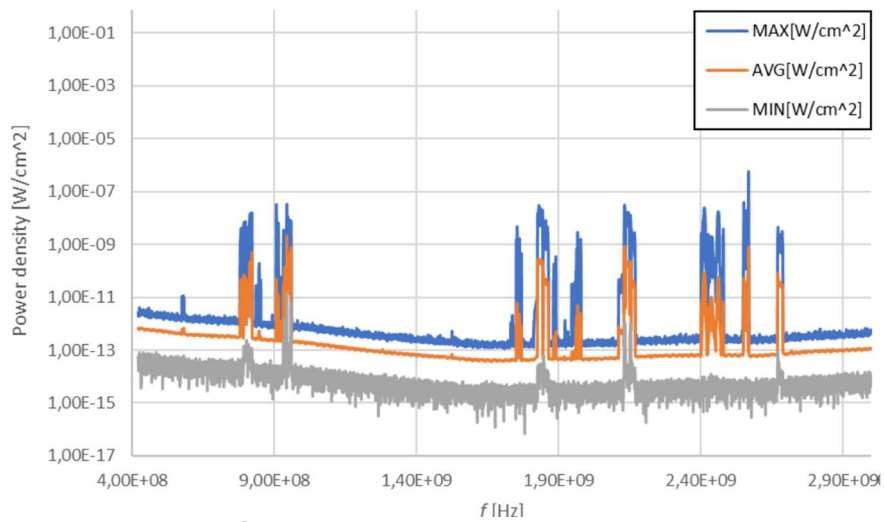


Figura 4 - Gráfico das medições realizadas no ponto 17.
Fonte: Os autores.

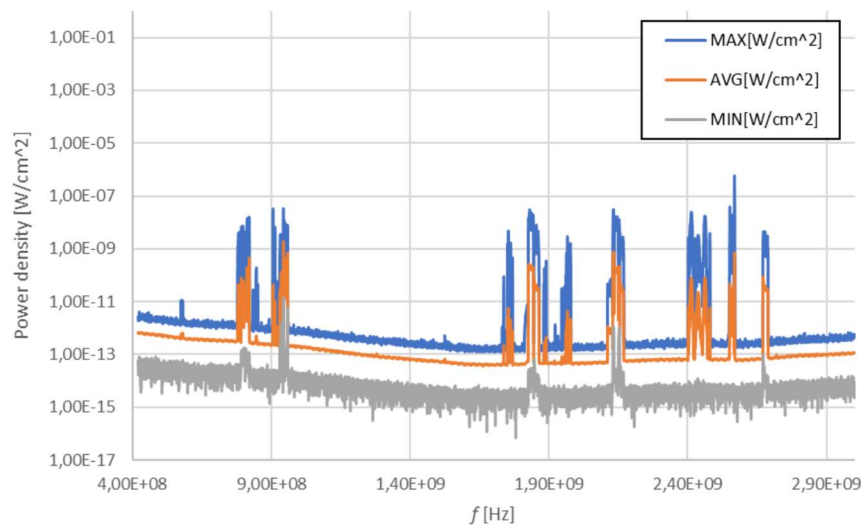


Figura 5 - Gráfico das medições realizadas no ponto 19.
Fonte: Os autores.

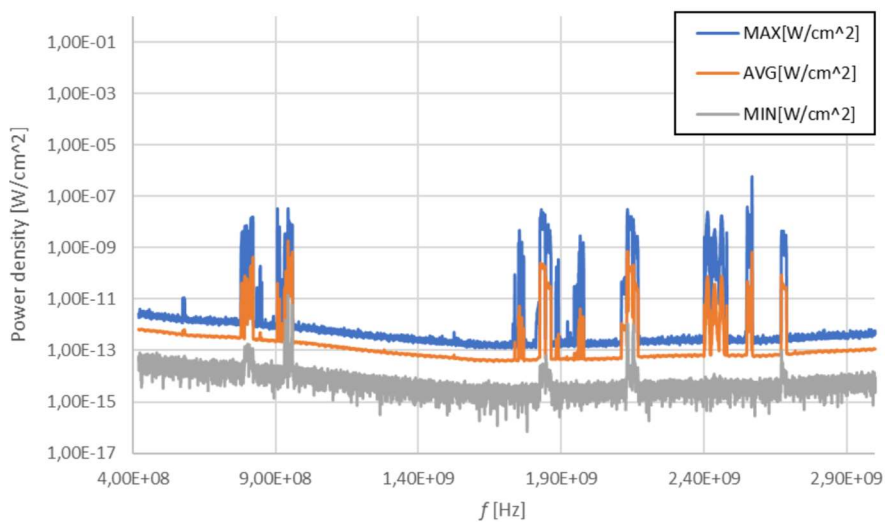


Figura 6 - Gráfico das medições realizadas no ponto 21.
Fonte: Os autores.

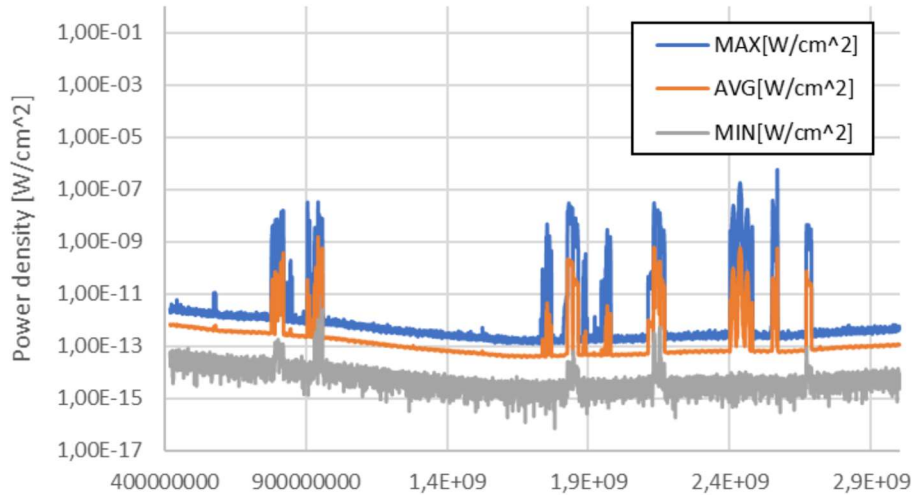


Figura 7 - Gráfico das medições realizadas no ponto 23.
Fonte: Os autores.

3.2 Resultados de medição com o Scanner R&S@TSME6

As medições para este estudo foram realizadas em janeiro de 2022. O scanner R&S@TSME6, em combinação com o software R&S@ROMES4, forneceu uma análise detalhada e em tempo real das tecnologias disponíveis em cada ponto de medição. As medições registaram o momento exato em que cada ponto foi avaliado, permitindo uma análise temporal que complementa a avaliação espacial da cobertura.

As Figuras 8 a 11 apresentam os gráficos da cobertura, representando a potência recebida disponível para as quatro tecnologias detetadas nas medições feitas com o scanner R&S@TSME6 no ponto 17 de medição (mencionado na Tabela 1). É importante notar que, embora o objetivo seja apresentar resultados multi-tecnologia, em alguns casos apenas uma tecnologia estava presente ou, em outros, nenhuma tecnologia foi detetada. Assim, em certos gráficos, a representação pode consistir numa única barra ou, noutros casos sem deteção de qualquer das tecnologias, não existem barras, tendo cada gráfico esse significado. Na Tabela 3 apresenta-se o resumo desses melhores valores de cobertura de sinal para cada operadora e diferentes pontos de medição/tecnologias.

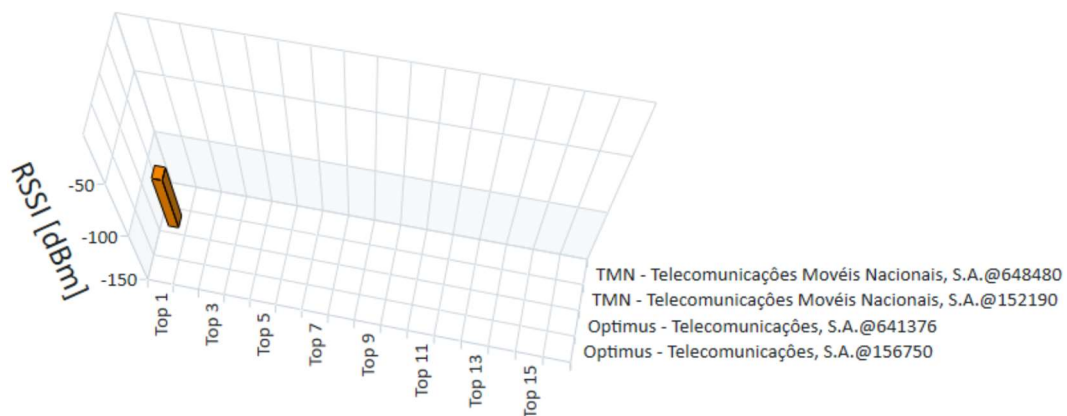


Figura 8 - Gráfico do RRSI medido para o 5G NR no ponto 17.
Fonte: Os autores.

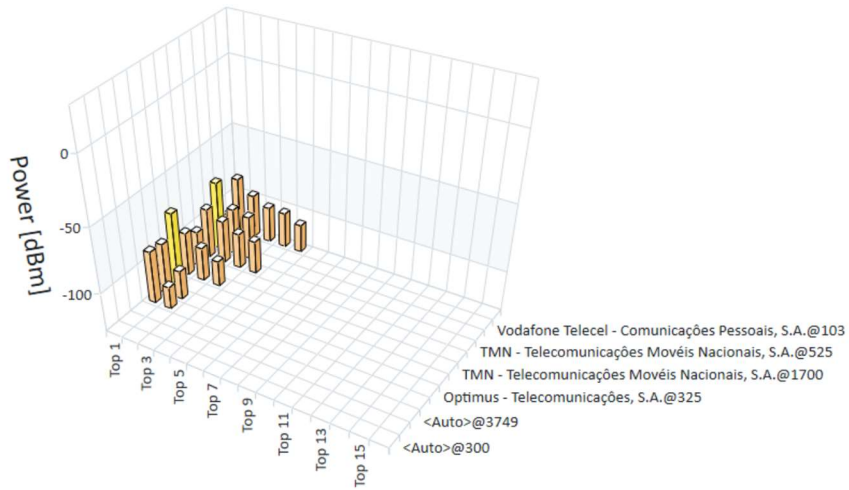


Figura 9 - Gráfico da potência recebida para o LTE no ponto 17.
Fonte: Os autores.

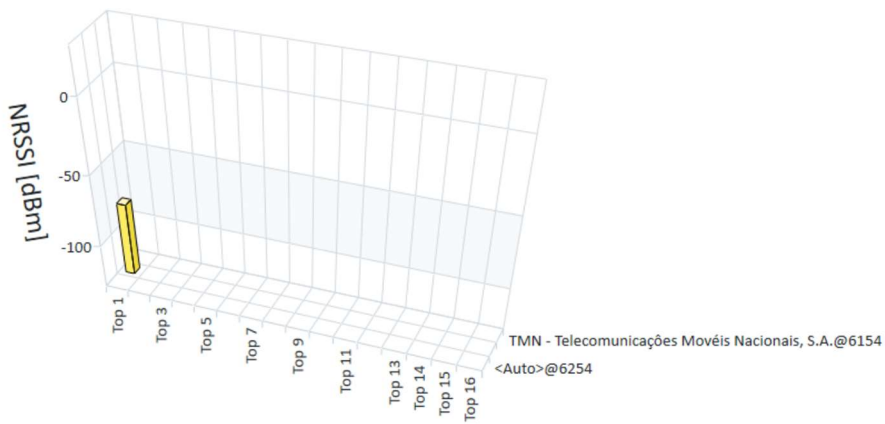


Figura 10 - Gráfico do NRSSI para o NB-IoT no ponto 17.
Fonte: Os autores.

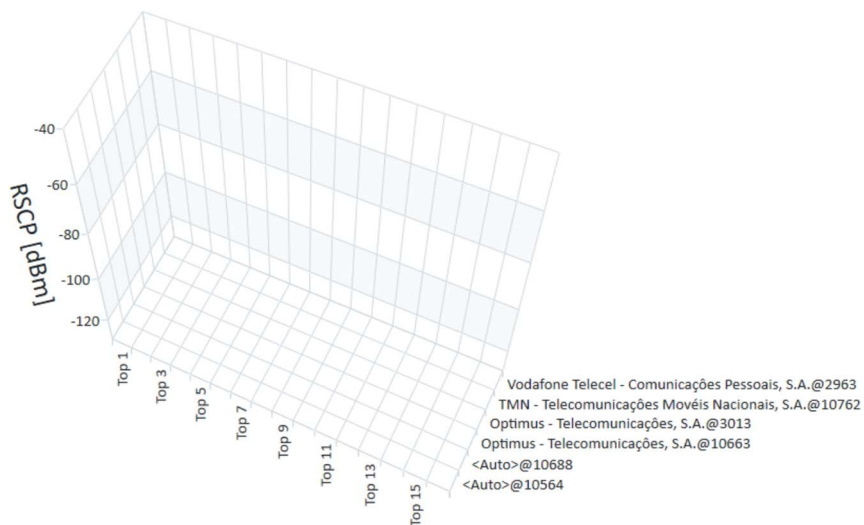


Figura 11 - Gráfico do RSCP para a tecnologia UMTS no ponto 17
Fonte: Os autores.

Tabela 3 - Resumo dos melhores valores de potência recebida para cada operadora para diferentes pontos de medição e tecnologias. A tabela apresenta os valores de sinal (RSSI, Power, NRSSI, RSCP) para as tecnologias 5G NR, LTE, NB-IoT e UMTS, respectivamente destacando-se a operadora com a melhor cobertura em cada ponto de medição.

Pontos de medição	Tecnologias	Operadora		
		MEO	NOS	Vodafone
13	5G NR (RSSI)	-100.22		
	LTE (Power)		-78.23	
	NB-IoT (NRSSI)	-104.34		
	UMTS (RSCP)		-89.2	
17	5G NR (RSSI)	-100.21		
	LTE (Power)		-74.02	
	NB-IoT (NRSSI)			
	UMTS (RSCP)			
19	5G NR (RSSI)		-100.52	
	LTE (Power)	-78.43		
	NB-IoT (NRSSI)	-92.15		
	UMTS (RSCP)		-95.4	
21	5G NR (RSSI)	-97.70		
	LTE (Power)	-83.11		
	NB-IoT (NRSSI)	-98.22		
	UMTS (RSCP)			
23	5G NR (RSSI)	-97.70		
	LTE (Power)	-80.88		
	NB-IoT (NRSSI)	-98.74		
	UMTS (RSCP)	-102.1		
Porta de entrada	5G NR (RSSI)		-94.5	
	LTE (Power)	- 98		
	NB-IoT (NRSSI)	-100.31		
	UMTS (RSCP)	-98.6		

Fonte: Os autores.

A Tabela 3 fornece uma visão clara da cobertura de cada uma das quatro tecnologias (5G NR, LTE, NB-IoT e UMTS) em diferentes pontos de medição, destacando-se qual operadora (MEO, NOS ou Vodafone) que apresentou a melhor cobertura para cada tecnologia. Para cada ponto de medição, foram registados os valores de sinal (RSSI, Power, NRSSI, RSCP), para as tecnologias 5G NR, LTE, NB-IoT e UMTS, possibilitando a identificação imediata da operadora que oferece a melhor qualidade de sinal em cada tecnologia. O significado das grandezas é o seguinte:

RSSI (Received Signal Strength Indicator) - Indica a potência do sinal recebido, em dBm, com intervalos de -120 dBm (sinal muito fraco) a 0 dBm (sinal muito forte).

Power - Refere-se à potência do sinal, medido em dBm, geralmente entre -30 dBm (muito forte) e -110 dBm (fraca).

NRSSI (NR Signal Strength Indicator) - Indica a potência do sinal, variando entre -140 dBm (sinal muito fraco) e -40 dBm (sinal forte).

RSCP (Received Signal Codes Power) - Mede a potência média do sinal recebido, no intervalo de -120 dBm (sinal fraco) a -40 dBm (sinal forte).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados das medições realizadas com o NARDA SRM-3006 revelaram detalhes importantes sobre a distribuição da cobertura celular no CHUCB. Foram identificados vários picos de potência em diferentes frequências, indicando a presença de algumas tecnologias, como 5G NR e LTE, em diversas áreas do hospital. Por exemplo, a frequência de 760 MHz, associada à tecnologia 5G NR, apresentou um pico significativo, sugerindo uma cobertura adequada dessa tecnologia em alguns dos pontos considerados. No entanto, em frequências mais elevadas, como 2568 MHz, a cobertura mostrou-se irregular.

Embora os dados obtidos com o NARDA SRM-3006 tenham permitido mapear algumas áreas do hospital que apresentam desafios significativos em termos de cobertura, o nível de detalhe não foi suficiente. Tornou-se necessário realizar medições adicionais, com maior abrangência, para determinar com maior precisão as potências recebidas, as frequências e as operadoras disponíveis no CHUCB. Assim, foram efetuadas novas medições utilizando o scanner R&S® TSME6, permitindo identificar de forma mais expedita as frequências de operação e as respectivas operadoras.

Ao realizar uma análise mais detalhada dos pontos de medição, com base nos novos resultados, verificou-se que, nos pontos 21, 23 e na Porta de Entrada das Consultas Externas, a tecnologia 5G NR apresentou a melhor cobertura de sinal. Em contraste, nos pontos 13, 17 e 19, foi a tecnologia LTE que demonstrou uma melhor cobertura. Em termos globais, a tecnologia LTE apresentou a melhor performance no que diz respeito aos valores de potência (power) e aos índices de sinal (RSSI, NRSSI, RSCP). Além disso, tanto as tecnologias LTE como 5G NR estiveram presentes em todos os seis pontos de medição analisados, sendo que a tecnologia LTE obteve a melhor cobertura, exceto na Porta de Entrada das Consultas Externas, onde a 5G NR apresentou uma cobertura superior.

Relativamente às operadoras, os resultados indicam que a MEO e a NOS estiveram presentes em todos os seis pontos de medição analisados, enquanto se registou a ausência da operadora Vodafone em alguns desses pontos. Numa análise comparativa entre as duas operadoras mais frequentemente presentes (MEO e NOS), constatou-se que a MEO apresentou a melhor cobertura de sinal em mais pontos para as quatro tecnologias testadas (5G NR, LTE, NB-IoT e UMTS).

Com base nestes resultados, para as tecnologias analisadas (LTE, UMTS, 5G NR e NB-IoT), as zonas que necessitam de melhoria da cobertura são

os pontos 13, 17 e 21. Estes pontos registaram valores mais elevados de sinal fraco, sendo que nos pontos 17 e 21 se verificou a ausência de algumas tecnologias, nomeadamente NB-IoT e UMTS no ponto 17 e UMTS no ponto 21.

5 DISCUSSÃO

5.1 Importância da Cobertura Celular em Ambientes Hospitalares

A análise dos resultados reforça a importância de uma cobertura celular robusta em ambientes hospitalares e circundantes. Uma cobertura celular adequada é essencial não apenas para o funcionamento das Redes Sem Fios de Área Corporal (WBANs), mas também para as operações de sistemas críticos, como a telemedicina e os registos médicos eletrónicos (EHRs), além de facilitar a coordenação entre diferentes departamentos médicos. A ausência de uma cobertura adequada em áreas críticas pode levar a falhas na comunicação, resultando em atrasos no atendimento e até em erros médicos.

5.2 Soluções Propostas: Implementação de Femtocélulas

Com base nos resultados obtidos, propõe-se a instalação de femtocélulas nas áreas identificadas como tendo fraca cobertura celular. As femtocélulas são pequenas estações base que podem ser instaladas em ambientes internos para amplificar o sinal de redes móveis, proporcionando assim, uma solução eficaz para áreas com cobertura insuficiente. A instalação dessas unidades no CHUCB pode aprimorar significativamente a qualidade do sinal em áreas que necessitam de melhorias na cobertura celular, como o ponto 17, onde a cobertura atual é fraca.

Ademais, as femtocélulas apresentam a vantagem de reduzir a exposição a campos eletromagnéticos, pois possibilitam a transmissão de sinais de potência inferior, dado que as estações de base estão mais próximas dos utilizadores (XENAKIS, PASSAS, *et al.*, 2014). Essa característica é particularmente relevante em ambientes hospitalares, onde a saúde dos pacientes é um dos principais objetivos.

5.3 Expansão Futura do Estudo

Embora o estudo tenha focado em áreas críticas identificadas durante as medições, é essencial expandir a análise para outras partes do hospital, onde a precisão e a continuidade do sinal são cruciais. Essas áreas podem apresentar desafios únicos que precisam ser abordados de forma específica. Estudos futuros devem incluir uma avaliação mais abrangente de todo o complexo hospitalar, considerando a instalação de soluções complementares, como repetidores de sinal e sistemas de antenas distribuídas.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi avaliada a cobertura celular no Centro Hospitalar Universitário Cova da Beira (CHUCB). Com base nos resultados obtidos a partir das medições realizadas, utilizando o scanner R&S® TSME6 em combinação com o software R&S® ROMES4, e comparando com as medições prévias efetuadas com o NARDA SRM-3006, foi possível alcançar um maior nível de detalhe sobre a distribuição das diferentes tecnologias no hospital. A análise dos resultados permitiu identificar áreas específicas que requerem melhorias da cobertura.

Verificou-se que, nos pontos de medição 21, 23 e na Porta de Entrada das Consultas Externas, a tecnologia 5G NR apresentou a melhor cobertura de sinal. Ao passo que, nos pontos 13, 17 e 19, foi a tecnologia LTE que demonstrou uma melhor cobertura. As tecnologias LTE e 5G NR estiveram presentes em todos os seis pontos de medição analisados, sendo que a LTE apresentou a melhor cobertura de sinal, exceto na Porta de Entrada das Consultas Externas, onde a 5G NR apresentou uma cobertura superior. Em geral, a tecnologia LTE apresentou o melhor desempenho no que diz respeito aos valores de potência (power) e aos índices de sinal (RSSI, NRSSI, RSCP). Constatou-se que, relativamente às operadoras, os resultados indicaram que a MEO e a NOS estiveram presentes em todos os seis pontos de medição analisados, enquanto se registou a ausência da operadora Vodafone em alguns desses pontos. A MEO apresentou a melhor cobertura de sinal em mais pontos e para as quatro tecnologias analisadas (5G NR, LTE, NB-IoT e UMTS).

As áreas identificadas que requerem melhorias de cobertura incluem os pontos 13, 17 e 21. Para resolver estas deficiências, propõe-se a implementação de femtocélulas nas zonas com sinal insuficiente. Esta solução permitirá otimizar a qualidade da comunicação no CHUCB, garantindo uma cobertura robusta e ininterrupta, essencial para o bom funcionamento dos sistemas hospitalares, especialmente em áreas críticas.

A implementação destas melhorias terá um impacto significativo na eficiência dos serviços hospitalares, particularmente no suporte a sistemas de monitorização de saúde e redes de comunicação sem fios, assegurando que as tecnologias móveis possam ser plenamente utilizadas para proporcionar cuidados de saúde de elevada qualidade e segurança.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi suportada financeiramente pelo projeto de Telemonitorização de Doentes em Risco (TERI) do SISTEMA DE APOIO À MODERNIZAÇÃO E CAPACITAÇÃO DA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA (SAMA 2020), cofinanciado pelo COMPETE 2020, através do FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional - Operações de Capacitação (PI 11.1) da Administração Pública. Os autores agradecem ao Instituto de Telecomunicações, e à FCT/MCTES que financiou este trabalho através de fundos nacionais e quando aplicável cofinanciado por fundos

comunitários no âmbito do projeto com referência UIDB/EEA/50008/2020 e identificador DOI <https://doi.org/10.54499/UIDB/50008/2020>. Óscar da Silva também agradece à FCT/MCTES o apoio concedido recentemente, através da bolsa de doutoramento (PALOP e Timor Leste).

REFERÊNCIAS

ANBARASAN, H. S.; NATARAJAN, J. Blockchain Based Delay and Energy Harvest Aware Healthcare Monitoring System in WBAN Environment. *Sensors*, v. 22, n. 15, p. 5763, Aug. 2022.

FRIEND, T. H. et al. Implementation of the Vocera Communication System in a Quaternary Perioperative Environment. *Journal of Medical Systems*, v. 41, n. 1, p. 6, Jan. 2017.

FTOUNI, R. et al. Challenges of Telemedicine during the COVID-19 pandemic: a systematic review. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, v. 22, n. 1, p. 207, 3 13 2022.

HAJAR, M. S.; AL-KADRI, M. O.; KALUTARAGE, H. K. A survey on wireless body area networks: architecture, security challenges and research opportunities. *Computers & Security*, v. 104, p. 102211, May 2021.

MAJEED, J. H.; AISH, Q. A remote patient monitoring based on WBAN implementation with internet of thing and cloud server. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, v. 10, n. 3, p. 1640, June 2021.

MANZO, B. F.; BRITO, M. J. M.; ALVES, M. Influência da comunicação no processo de acreditação hospitalar. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 66, p. 46 - 51, Feb. 2013.

PUNJ, R.; KUMAR, R. Technological aspects of WBANs for health monitoring: a comprehensive review. *Wireless Networks*, v. 25, n. 3, p. 1125, Apr. 2019.

TALEB, H. et al. Wireless technologies, medical applications and future challenges in WBAN: a survey. *Wireless Networks*, v. 27, n. 8, p. 5271, Nov. 2021.

VYAS, S.; GUPTA, S. WBAN-based remote monitoring system utilising machine learning for healthcare services. *International Journal of System of Systems Engineering*, v. 13, n. 1, p. 100, Feb. 2023.

XENAKIS, D. et al. Mobility Management for Femtocells in LTE-Advanced: Key Aspects and Survey of Handover Decision Algorithms. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 16, p. 64 - 91, Mar. 2014.

SILVA, Óscar da. Comunicações Móveis Celulares e Sem Fios Aplicadas a e-Saúde em Ambientes Hospitalares. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2022.

VELEZ, Fernando J. Velez, Emanuel B. Teixeira, Ana Corceiro And Óscar da Silva Radiofrequency Spectrum Measurement Campaign at Pero da Covilhã Hospital. 2023. TERI Report UBI.3.1, Universidade da Beira Interior. Covilhã. 2023.