



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

ROBERTO REVOREDO DE ALMEIDA FILHO

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE DISPOSITIVO BEACON NA
SUPERVISÃO DE ATIVIDADES EM ALTURA: UM ESTUDO DE
VIABILIDADE**

Recife, PE
2024



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

ROBERTO REVOREDO DE ALMEIDA FILHO

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE DISPOSITIVO BEACON NA
SUPERVISÃO DE ATIVIDADES EM ALTURA: UM ESTUDO DE
VIABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia de Segurança do Trabalho

Orientador: Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz

Recife, PE
2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

A447a Almeida Filho, Roberto Revoredo de
Avaliação da eficácia de dispositivo Beacon na supervisão de atividades em altura: Um estudo de viabilidade. / Roberto Revoredo de Almeida Filho. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2024.

143 f. il.
Inclui apêndices.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

1. Quedas de Altura. 2. Construção Civil. 3. Supervisão de Trabalho em Altura. 4. Tecnologias Habilitadoras.
I. Construção Civil – Dissertação. II. Cruz, Felipe Mendes da (orient.). III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

CDD: 690.028

ROBERTO REVOREDO DE ALMEIDA FILHO

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE DISPOSITIVO BEACON NA
SUPERVISÃO DE ATIVIDADES EM ALTURA: UM ESTUDO DE
VIABILIDADE**

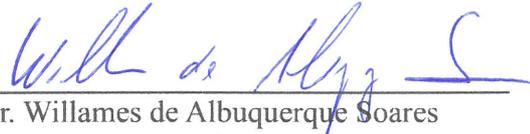
BANCA EXAMINADORA:

Orientador

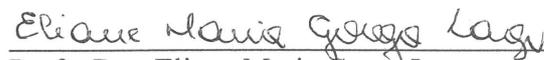


Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz
Universidade de Pernambuco

Examinadores



Prof. Dr. Willames de Albuquerque Soares
Universidade de Pernambuco



Profa. Dra. Eliane Maria Gorga Lago
Universidade de Pernambuco

Recife-PE
2024

DEDICATÓRIA

Ao Prof. Dr. Béda Barkokebas Junior (*In Memoriam*)
por acreditar e sempre me incentivar a buscar
melhorar como profissional e ser humano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida, e por ter me dado forças para chegar até aqui superando as dificuldades.

Por todo amor, carinho e suporte, aos meus pais e meu irmão que acompanharam de perto toda a minha trajetória.

Ao meu eterno professor Doutor Béda Barkokébas Junior (*in memoriam*), por me trazer ao mundo da Segurança do Trabalho e sempre me incentivar a ser uma pessoa melhor.

À minha noiva Jéssica, por ter chegado na minha vida em momento difícil e fazer parte da minha melhora me incentivando e apoiando todos os dias. Nossa jornada está ainda começando, teremos muito ainda a conquistar e crescermos juntos.

Ao meu professor e orientador Doutor Felipe Mendes da Cruz, pela orientação, não apenas deste trabalho, mas da vida. Por ser peça fundamental na formação do homem que sou hoje e por estar sempre me ajudando a evoluir em todos os aspectos da vida.

À Professora Doutora Eliane Maria da Gorga Lago, por ter sido a pessoa que me trouxe ao Laboratório de Segurança e Higiene do Trabalho e estar sempre me ajudando desde então.

À Assessoria do Grupo Jovem Cristo Forte e a Equipe de Jovens de Nossa Senhora Aparecida, por serem minha base durante a minha caminhada no mestrado e pelos ensinamentos passados que levarei para o resto da minha vida.

E por fim, agradeço a todos os professores e amigos do Laboratório de Segurança e Higiene do trabalho, que me auxiliaram a chegar até aqui.

EPIGRAFE

“A verdadeira felicidade não está em fazer o que se deseja, mas em amar o que realizou.”

Sir Winston Churchill

RESUMO

A construção civil é um dos setores econômicos que mais contribuem para acidentes de trabalho, sendo responsável por 21% das mortes nos Estados Unidos e 28% na Grã-Bretanha. Estudos apontam que as quedas de altura são a principal causa de pelo menos um terço dos acidentes neste setor, sendo grande parte deles fatais. O objetivo do trabalho é avaliar a aplicabilidade de dispositivo de monitoramento humano para identificar limitações e a melhor forma de utilizar na supervisão de pessoas realizando atividades em altura na construção civil. A metodologia foi dividida em três etapas: Revisão Sistemática da Literatura, Procedimento Experimental, Organização e Tratamento Estatístico dos Dados. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL) entre julho de 2022 e fevereiro de 2023, baseada do método PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis. A revisão sistemática foi dividida em três etapas: protocolo de revisão, exclusão de trabalhos e análise de dados. A partir do protocolo de revisão, chegou-se a 10.328 trabalhos para serem filtrados. Após o processo de exclusão, chegou-se aos 7 artigos que foram analisados para desenvolver o Procedimento Experimental. Os resultados mostram que a localização em que o portador do beacon se encontra bem como a presença de dispositivos que se comunicam com frequência de 2,4GHz foram os parâmetros que se encontraram no topo pois 100% das hipóteses nulas foram rejeitadas. Em seguida, há de se destacar as questões das posições do beacon e do rádio interferiram pouco, havendo rejeição das hipóteses nulas nas questões de força do sinal e nível de oscilação. Além disso, o biotipo do portador do beacon pouco interferiu, alcançando apenas metade das hipóteses nulas foram rejeitadas. Já em relação ao rádio de comunicação, praticamente não houve interferência. Na questão da identificação e alarme de situações de perda de equilíbrio, o W6 Smart Beacon teve desempenho satisfatório. Todas as situações de perda de equilíbrio foram identificadas, sendo que somente houve o alarme em 21,67% das vezes que o indivíduo estava apenas se abaixando. Além disso, sempre que se identificou uma perda de equilíbrio, a notificação era feita de forma instantânea. Dentre os resultados, posicionar o dispositivo na cintura se configurou como mais vantajoso. Pois o mesmo consegue se comunicar de forma eficaz e os dados de monitoramento de equilíbrio são melhores devido à proximidade com o centro gravitacional do corpo. Além disso, utilizando dispositivo gateway que se comunique via rede LoRaWAN, a capacidade de comunicação irá aumentar e o W6 Smart Beacon se torna um equipamento com possibilidade de ser utilizado na gestão de risco de altura na construção civil.

Palavras-chave: Quedas de altura; Construção civil; Supervisão de trabalho em altura; Tecnologias habilitadoras.

ABSTRACT

Construction is one of the economic sectors that contributes most to accidents at work, accounting for 21% of deaths in the United States and 28% in Great Britain. Studies show that falls from height are the main cause of at least a third of accidents in this sector, most of which are fatal. The aim of this work is to evaluate the applicability of a human monitoring device to identify limitations and the best way to use it to supervise people carrying out activities at height in the construction industry. The methodology was divided into three stages: Systematic Literature Review, Experimental Procedure, Data Organization and Statistical Treatment. A systematic literature review (SRL) was carried out between July 2022 and February 2023, based on the PRISMA method - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis. The systematic review was divided into three stages: review protocol, exclusion of studies and data analysis. From the review protocol, 10,328 papers were filtered. After the exclusion process, 7 articles were analyzed to develop the Experimental Procedure. The results show that the location of the beacon carrier and the presence of devices communicating on the 2.4GHz frequency were the top parameters, as 100% of the null hypotheses were rejected. Next, it should be noted that the positions of the beacon and radio interfered little, with the null hypotheses being rejected for signal strength and oscillation level. In addition, the biotype of the beacon carrier interfered little, with only half of the null hypotheses being rejected. As for the communication radio, there was practically no interference. In terms of identifying and alarming situations of loss of balance, the W6 Smart Beacon performed satisfactorily. All situations of loss of balance were identified, and there was an alarm only 21.67% of the time when the individual was only stooping. Furthermore, whenever a loss of balance was identified, the notification was made instantly. Among the results, positioning the device on the waist was advantageous. Because it can communicate effectively and the balance monitoring data is better due to the proximity to the body's gravitational center. In addition, by using a gateway device that communicates via the LoRaWAN network, the communication capacity will increase and the W6 Smart Beacon becomes a piece of equipment that can be used in height risk management in civil construction.

Keywords: *Falls from height; Civil construction; Supervision of work at height; Enabling technologies.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Variação do PIB construção civil x PIB Brasil (acumulado no ano)	13
Figura 2 – População ativa empregada na construção civil	14
Figura 3 – Acidentabilidade do Brasil em segurança do trabalho entre 2012 e 2022	15
Figura 4 – Modelo de AR aplicada em obra	27
Figura 5 – Comparativo de tecnologias IoT sem fio	30
Figura 6 – LPS8 LoRaWAN (a) e W6 Smart Multiuse Beacon (b)	31
Figura 7 – LPS8 LoRaWAN	31
Figura 8 – W6 Smart Multiuse Beacon	32
Figura 9 – Processo de exclusão dos trabalhos	39
Figura 10 – Fluxograma de informações do Beacon que se comunica via tecnologia BLE	43
Figura 11 – Percurso de informações do Beacon que se comunica via BLE	44
Figura 12 – Dados emitidos pelo W6 Smart Beacon	44
Figura 13 – Chegada de mensagens ao gateway	45
Figura 14 – Broker mqtt	45
Figura 15 – Percurso de informações do medidor de gás que se comunica via LoRaWAN	46
Figura 16 – Trajeto do procedimento experimental	49
Figura 17 – Posições do rádio de comunicação	52
Figura 18 – Situações do experimento	55
Figura 19 – Almofada de fisioterapia para exercícios de equilíbrio	56
Figura 20 – Dashboard experimento de monitoramento de perda de equilíbrio	57
Figura 21 – Dashboard com valores dos eixos vetoriais do acelerômetro	57
Figura 22 – Banco de dados do experimento	57
Figura 23 – Sistemática de avaliação e tratamento dos sinais no broker Node-RED	58
Figura 24 – Forma de aparecimento da mensagem de alarme em situação de perda de equilíbrio no dashboard	58
Figura 25 – Planilha de dados	59
Figura 26 – Quadro gerado no teste de normalidade no IBM SPSS	60
Figura 27 – Gráfico comparando as relações entre as variáveis	62
Figura 28 – Resultados do teste de normalidade	64
Figura 29 – Resultados do teste de normalidade com uso de rádio	64
Figura 30 – Frequência de valores em relação ao receptor sem rádio (a) x com rádio (b)	68
Figura 31 – Frequência de valores em relação à força do sinal sem rádio (a) x com rádio (b)	69
Figura 32 – Frequência de valores em relação ao nível de oscilação sem rádio (a) x com rádio (b)	68
Figura 33 – Comparações de Pairwise em relação à trajetória da comunicação no receptor sem rádio (a) x com rádio (b)	71
Figura 34 – Comparação de resultados referentes à trajetória no receptor	72
Figura 35 – Comparações de Pairwise em relação à força do sinal sem rádio (a) x com rádio (b)	73
Figura 36 – Comparação de resultados referentes à força do sinal	74
Figura 37 – Comparações de Pairwise em relação à oscilação sem rádio (a) x com rádio (b)	75
Figura 38 – Comparação de resultados referentes ao nível de oscilação	76
Figura 39 – Comparações de Pairwise em relação ao receptor sem rádio (a) x com rádio (b)	78
Figura 40 – Comparação de resultados referentes ao receptor	80
Figura 41 – Comparações de Pairwise em relação ao sinal sem rádio (a) x com rádio (b)	81
Figura 42 – Comparação de resultados referentes à força do sinal	83
Figura 43 – Comparações de Pairwise em relação à oscilação sem rádio (a) x com rádio (b)	84
Figura 44 – Comparação de resultados referentes ao nível de oscilação	86

Figura 45 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do rádio em relação ao receptor	88
Figura 46 – Comparações de Pairwise em relação à trajetória no receptor	88
Figura 47 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do rádio em relação ao sinal	89
Figura 48 – Comparações de Pairwise em relação à força do sinal	89
Figura 49 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do rádio em relação à oscilação	90
Figura 50 – Comparações de Pairwise em relação à oscilação	90
Figura 51 - Resultados dos testes de normalidade	91
Figura 52 – Comparação de resultados referentes à trajetória no receptor	92
Figura 53 – Comparação de resultados referentes à força do sinal	93
Figura 54 – Comparação de resultados referentes ao nível de oscilação	94
Figura 55 – Distribuição de frequência dos dados de receptor entre as situações sem rádio (a) e com rádio (b)	95
Figura 56 – Distribuição de frequência dos dados de força de sinal entre as situações sem rádio (a) e com rádio (b)	95
Figura 57 – Distribuição de frequência dos dados de força de sinal entre as situações sem rádio (a) e com rádio (b)	96
Figura 58 – Resultados dos testes de normalidade dos dados do experimento do monitoramento de equilíbrio	97
Figura 59 – Direção dos eixos cartesianos do acelerômetro	99
Figura 60 – Comparações de Pairwise em relação ao Eixo X (a), Eixo Y (b) e Eixo Z (c)	101
Figura 61 – Mensagem de alarme em situação de perda de equilíbrio	102
Figura 62 – Gráfico de Pareto da distribuição de ocorrências em cada uma das posições do beacon	103

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos	19
<i>1.2.1 Objetivo geral</i>	<i>19</i>
<i>1.2.2 Objetivos específicos</i>	<i>20</i>
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Acidentes de Trabalho na Construção Civil	21
2.2 Acidentes de Queda em Altura	23
2.3 Fatores Humanos nos Acidentes de Queda em Altura	24
2.4 Supervisão para Trabalho em Altura	25
2.5 Sensoriamento e Monitoramento de Pessoas	28
<i>2.5.1 Internet das Coisas (IoT)</i>	<i>29</i>
<i>2.5.2 Tecnologia LoRaWan</i>	<i>33</i>
<i>2.5.3 Dispositivos Beacon</i>	<i>33</i>
2.6 Testes de Normalidade	34
2.7 Testes de Hipótese	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 Revisão Sistemática da Literatura	36
<i>3.1.1 Protocolo de revisão</i>	<i>36</i>
<i>3.1.2 Exclusão de trabalhos</i>	<i>38</i>
<i>3.1.3 Análise de dados</i>	<i>39</i>
3.2 Procedimento Experimental	42
<i>3.2.1 Análise da Capacidade de Comunicação</i>	<i>46</i>
<i>3.2.1.1 Posicionamento do transmissor</i>	<i>47</i>
<i>3.2.1.2 Posicionamento do Receptor</i>	<i>47</i>
<i>3.2.1.3 Percurso dos testes</i>	<i>48</i>
<i>3.2.1.4 Coleta e organização dos dados</i>	<i>50</i>
<i>3.2.1.5 Análise de Interferência devido a Ondas de Rádio</i>	<i>51</i>
<i>3.2.1.6 Análise de Interferência devido a Aparelhos conectados via Wi-fi</i>	<i>53</i>
<i>3.2.2 Análise de Monitoramento de Equilíbrio</i>	<i>54</i>
<i>3.2.2.1 Posicionamento do transmissor</i>	<i>54</i>

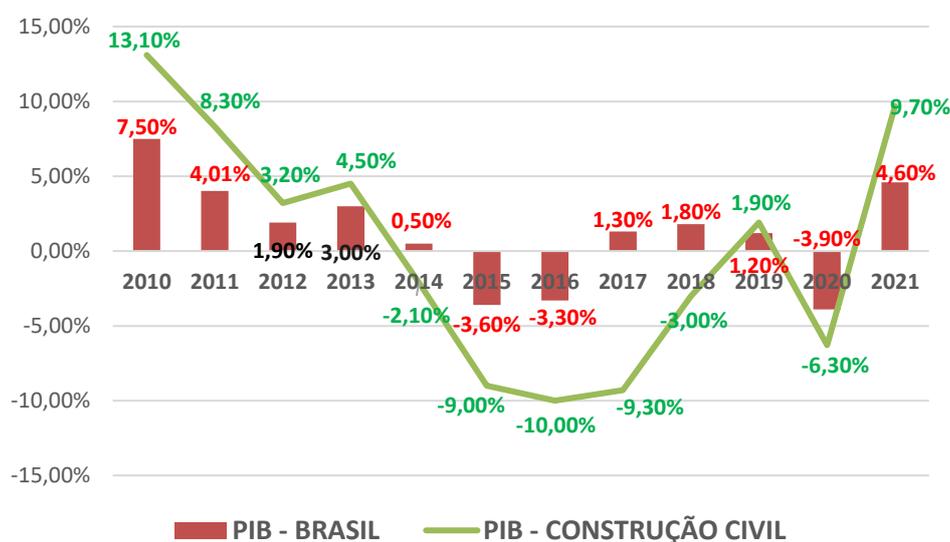
3.2.2.2 <i>Posicionamento do Receptor</i>	54
3.2.2.3 <i>Percurso dos testes</i>	55
3.2.2.4 <i>Coleta e organização dos dados</i>	56
3.3 Tratamento Estatístico	59
3.3.1 <i>Testes de Normalidade</i>	60
3.3.2 <i>Testes de Hipótese</i>	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1 Capacidade de Comunicação	63
4.1.1 <i>Análise de Gênero e Biotipo</i>	65
4.1.2 <i>Análise de Posição do Beacon</i>	69
4.1.3 <i>Análise da Localização</i>	77
4.1.4 <i>Análise da Posição do Rádio</i>	87
4.1.5 <i>Análise da Interferência de Aparelhos conectados a redes wi-fi</i>	91
4.2 Análise de Monitoramento de Equilíbrio	97
4.2.1 <i>Análise de Gênero e Biotipo</i>	98
4.2.2 <i>Análise de Posição do Beacon</i>	98
4.2.3 <i>Análise da Postura Corporal</i>	100
4.2.4 <i>Análise da Notificação de Situação de Perda de Equilíbrio</i>	102
4.3 Resumo e Limitações dos Resultados	104
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
5.1 Conclusões	107
5.2 Propostas de Trabalhos Futuros	109
REFERÊNCIAS	111
APÊNDICES	123

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da sua história, a construção civil tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento econômico dos países. Seu impacto supera o simples erguimento de edificações, de modo que o setor influencia diretamente na economia de diversas maneiras. Por ser um setor intensivo em mão de obra e insumos, a construção civil atua como um catalisador de empregos, promovendo a geração de renda e o aquecimento do mercado de trabalho (IBGE, 2023).

Atualmente, a economia dos EUA está avaliada em 20 trilhões de dólares, dos quais 2,35 trilhões estão relacionados à construção civil (US CENSUS BUREAU, 2023). O próprio senso descreve que a proporção de 11,75% se deve ao fato de a economia norte-americana depender de vasta rede de infraestrutura, estradas, pontes, ferrovias, portos de carga e redes elétricas. Essa influência também acontece em países como Canadá, Portugal, Alemanha e Reino Unido (US CENSUS BUREAU, 2023; IMPIC, 2021; AICCOPN, 2022). No contexto brasileiro, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE fez um levantamento de como a construção civil influencia a economia do Brasil e os resultados estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Variação do PIB construção civil x PIB Brasil (acumulado no ano)

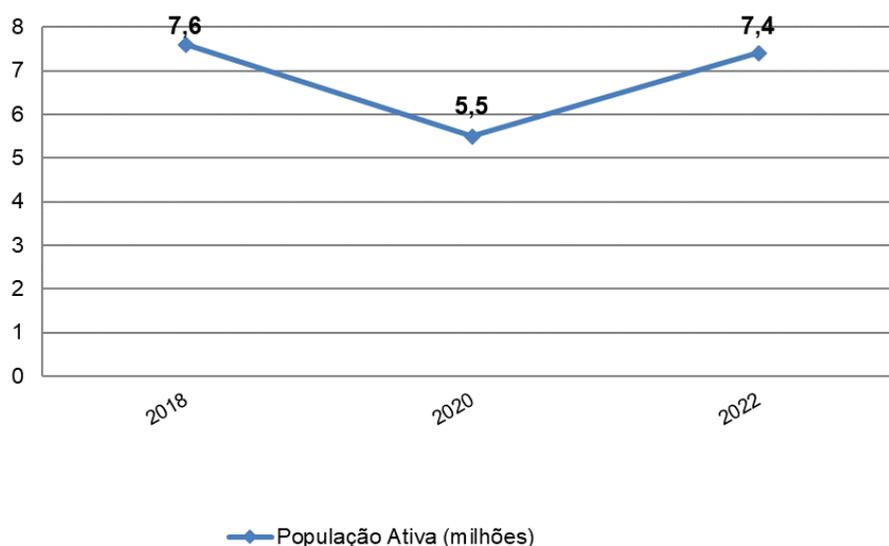


Fonte: IBGE (2023).

Analisando a Figura 1, nota-se como o PIB da construção civil (linha verde) influencia o PIB do Brasil (barras em vermelho) a se comportar de forma similar. Tal indicador comprova que o

setor está intrinsecamente ligado ao crescimento econômico de um país. O aumento na construção de infraestrutura, como estradas, pontes e sistemas de transporte, impulsiona outros setores da economia, estimulando o comércio e facilitando o acesso a novos mercados. Dessa forma, a construção civil não apenas contribui para o desenvolvimento urbano, mas também cria um ambiente propício para a geração de empregos e novas vagas de trabalho (FERREIA et al., 2012). Segundo dados da CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil (2021), o setor possuía cerca de 200 mil estabelecimentos (empresas e filiais) competindo na cadeia da construção civil. A evolução da população ativa empregada no setor está apresentada na Figura 2.

Figura 2 – População ativa empregada na construção civil



Fonte: CBIC (2023).

Conforme a Figura 2, em 2018 o setor empregava 7,6 milhões de pessoas, o que representava 7,3% de toda a população ativa do Brasil na época (CBIC, 2023). Com a pandemia da COVID-19, houve uma diminuição esperada na quantidade de pessoas empregadas. Ainda assim, analisando o gráfico, em 2022 o setor conseguiu se recuperar e voltar a ficar próximo do patamar de 2018 chegando a 7,4 milhões de pessoas empregadas. Com isso, a cadeia produtiva da construção civil é competitiva e possui papel importante na geração de emprego e renda, bem como, no desenvolvimento da economia brasileira (ALMEIDA FILHO e CRUZ, 2022).

Contudo, mesmo sendo um setor importante para a economia, existem diversas situações na construção civil que oferecem riscos de perdas aos trabalhadores. Segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT), cerca de 60 mil acidentes mortais acontecem em canteiros de obra todos os anos (ILOSTAT, 2019). Ainda que os números de acidentes do trabalho tenham diminuído significativamente ao longo dos anos, devido a avanços em regulamentações e tecnologias (OIT, 2015), o setor ainda é responsável por boa parte dos acidentes de trabalho (FERREIRA et al., 2012; TAKALA et al., 2014; OSHA, 2017 e HSE, 2018). A indústria da construção é considerada um dos setores mais perigosos em países como EUA, Reino Unido, Portugal e Brasil (YANG et al., 2016). Quanto ao Brasil, A Figura 3 mostra informações que o IBGE levantou entre os anos de 2012 e 2022.

Figura 3 – Acidentabilidade do Brasil em segurança do trabalho entre 2012 e 2022



Fonte: IBGE (2023).

Analisando a Figura 3, verifica-se que entre os anos de 2012 e 2022 a indústria da construção civil foi responsável por cerca de 2,35% de todos os acidentes. Porém, dentre os acidentes, quase 6% deles resultaram em mortes. Tais dados fazem da indústria da construção civil o quinto setor que mais causa acidentes no Brasil.

Em meio aos desafios enfrentados pela construção civil, as atividades em altura se destacam como uma das de maior risco quando comparadas a outras realizadas no setor. Tal fato deve-se que na maioria das vezes que ocorrem acidentes, as consequências são fatais para os trabalhadores (UMER et al., 2018). Em 2018, 1008 trabalhadores da construção civil morreram em obras nos EUA. Destes, 338 mortes foram provocadas por queda de um posto de trabalho

elevado, de acordo com o Bureau of Labor Statistics (US CENSUS BUREAU, 2018). No Reino Unido, no início do século XXI quase metade de todos os acidentes que geravam mortes nos setores industriais eram relacionados a quedas na construção civil (CAMERON, GILLAN e DUFF, 2007). Da mesma maneira, as quedas de altura representam uma grande parcela dos acidentes na indústria da construção civil na China, Hong Kong, Coreia do Sul, Japão e Singapura (YUNG, 2009; CHAN et al., 2008; POON, TANG e WONG, 2008).

O trabalho em alturas acima de 2 metros do nível do solo envolve desafios únicos que exigem precauções especiais aos trabalhadores envolvidos na atividade, tendo em vista que quando ocorrem acidentes as chances de haver mortes é maior (LI et al., 2020). Quedas, colapsos de estruturas e acidentes relacionados a equipamentos são ameaças que demandam abordagens proativas para mitigar os riscos (ROBSON et al., 2020). Considerando os riscos inerentes às atividades em altura, há, no Brasil uma norma específica para este tipo de serviço desde 2012, a Norma Regulamentadora NR-35 (BRASIL, 2022), que oferece diretrizes claras e requisitos que visam à proteção da integridade física dos profissionais que realizam atividades em altura.

Dentre os requisitos presentes na referida norma, esta pesquisa se concentrou na questão da supervisão do trabalho em altura. O estudo desse aspecto abrange tanto a grande influência dos fatores humanos como causa principal da ocorrência dos acidentes (ZERMANE et al., 2020; KOUABENAN et al., 2015), quanto a capacidade de uma supervisão adequada prevenir acidentes do trabalho em situações de trabalho em altura (OLIVEIRA, SOARES e VASCONCELOS, 2023).

O monitoramento de pessoas em atividades em altura pode ser um componente crucial para garantir a segurança e a eficiência dessas operações. Em primeiro lugar, a supervisão por meio de dispositivos de monitoramento, como câmeras de vídeo ou sensores de movimento, permite uma visão abrangente e contínua das atividades em altura (UMER et al., 2018; YANG et al., 2016), o que possibilita uma resposta rápida a qualquer situação de emergência que possa surgir. Isso é especialmente importante em ambientes industriais ou de construção, onde acidentes podem ocorrer devido a uma série de fatores, como falhas mecânicas, erros humanos ou condições climáticas adversas.

Além disso, o monitoramento em tempo real das pessoas envolvidas em atividades em altura também pode ajudar na identificação e na prevenção de comportamentos de risco. Ao observar padrões de movimento ou ações imprudentes, os supervisores podem intervir imediatamente, fornecendo orientação adicional ou instruções de segurança para garantir que os procedimentos corretos sejam seguidos. Isso não apenas reduz o risco de acidentes, mas também promove uma cultura de segurança no local de trabalho, onde os trabalhadores se sentem valorizados e protegidos.

Para alcançar os objetivos estabelecidos nesta pesquisa, o caminho metodológico envolveu estudos estatísticos envolvendo aplicação de testes de normalidade e testes de hipótese. O tratamento estatístico é fundamental em pesquisas científicas por sua capacidade de analisar dados de forma precisa e confiável. Ao detectar padrões, quantificar incertezas e generalizar resultados, essas técnicas garantem a validade e a relevância dos achados. Além disso, o tratamento estatístico auxilia na identificação de incorrências e erros, assegurando a integridade dos resultados e contribuindo para o avanço do conhecimento científico em diversas áreas.

No cenário de prevenção de acidentes, constata-se que o uso de tecnologias tem se mostrado um forte aliado na segurança do trabalho (UMER et al., 2018; LEE et al., 2022). A presente dissertação apresenta dados relevantes sobre o dispositivo W6 Smart Beacon, com o intuito de identificar a capacidade de tais recursos para auxiliar na prevenção de acidentes envolvendo atividades em altura e melhorando a supervisão dos trabalhadores envolvidos.

1.1 Justificativa

A Organização Internacional do Trabalho (2018) aponta que cerca de 7600 pessoas morrem diariamente em todo o mundo devido a acidentes ou doenças ocupacionais. Cumpre registrar que os custos associados a acidentes na construção civil não se limitam apenas às vidas perdidas e feridas. Eles também têm implicações financeiras significativas para as empresas do setor e para a economia como um todo. A própria OIT explica que 4% do PIB mundial é gasto com custos de acidentes do trabalho, sendo esse um valor próximo a 2,8 trilhões de dólares (OIT, 2015). Segundo dados da Previdência Social (IBGE, 2021), o Brasil gasta cerca de 70 bilhões

de reais por ano com despesas no Sistema Único de Saúde (SUS), situando-se atrás apenas da China, EUA e Rússia no impacto financeiro com acidentes do trabalho (OIT, 2015).

A construção civil é um dos setores econômicos que mais contribuem para acidentes de trabalho, sendo responsável por 21% das mortes nos Estados Unidos (OSHA, 2017) e 28% na Grã-Bretanha (HSE, 2018). Além disso, o número de acidentes fatais no setor da construção civil no Japão, na Coreia, nos EUA, em Hong Kong e no Reino Unido subiu mais de 20% do total de acidentes industriais até 2017 (BUREAU OF LABOR STATISTICS, 2017; HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2021; JEON et al., 2020; JISHA, 2017; DEPARTAMENTO DO TRABALHO DE HONG KONG, 2021).

Segundo Khan et al. (2022), dentre quedas de altura, impactos contra materiais em queda ou que foram arremessados, choques elétricos e ficar preso em máquinas, as quedas de altura são a principal causa de acidentes na indústria da construção civil. Corroborando esse entendimento, Zermane et al. (2020) apontam que as quedas de altura são a principal causa de pelo menos um terço dos acidentes neste setor, sendo grande parte deles fatais (JAHANGIR et al., 2019; TANVI NEWAZ et al., 2022; WONG et al., 2016; HABIBNEZHAD et al., 2021). Na Austrália, quedas em altura também representaram um terço de todas as ocorrências de acidentes do trabalho na indústria da construção civil entre os anos de 2003 e 2015 (SAFE WORK AUSTRALIA, 2018). Em relação ao Brasil, 40% dos acidentes que ocorrem na construção civil são devidos a quedas de altura (IBGE, 2023).

De acordo com Zhou et al. (2015), a dinâmica produtiva da construção civil demanda soluções de rápida implementação para o controle efetivo dos riscos. Segundo dados do Relatório Global da Competitividade de 2020 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2020), as empresas competitivas presentes em países de alta renda tendem a aplicar mais recursos no gerenciamento dos riscos relacionados aos processos industriais e do trabalho. Sendo assim, investimentos em treinamento, desenvolvimento de pessoal e ajustes de segurança podem resultar em impactos positivos nas organizações (LI et al., 2015).

Investir na prevenção de acidentes pode reduzir perdas e aumentar a competitividade da empresa (ALMEIDA FILHO e CRUZ, 2022). Neste contexto, muitas empresas têm buscado

aprimorar a gestão dos riscos, desenvolvendo e treinando líderes, encarregados e supervisores (LI et al., 2015). Uma supervisão deficiente é uma das principais causas para a ocorrência de acidentes envolvendo quedas no setor da construção civil (OLIVEIRA, SOARES e VASCONCELOS, 2023). Há também um crescente investimento em tecnologias inovadoras que possam contribuir para um ambiente de trabalho mais seguro na construção civil (NGUYEN et al., 2016; PIAO et al., 2021).

As tecnologias habilitadoras têm revolucionado a supervisão de atividades em altura, trazendo benefícios significativos para a gestão de riscos e para a proteção dos trabalhadores. Elas garantem um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo (KHAN et al., 2022). Além do mais, a supervisão remota possibilita a revisão e a análise posterior das imagens e dos dados coletados, permitindo uma avaliação mais completa e detalhada das atividades em altura (UMER et al., 2018; YANG et al., 2016). Este processo pode favorecer a melhoria contínua dos procedimentos de segurança e o aprimoramento da capacitação dos trabalhadores.

Diante da quantidade de ocorrências e da gravidade dos acidentes envolvendo quedas de altura na construção civil, esta pesquisa se justifica pela necessidade de investigar e desenvolver mecanismos que contribuam para a melhor gestão do fator de risco altura.

1.2 Objetivos

Os objetivos da dissertação foram divididos entre objetivo geral e objetivos específicos, que estão apresentados nos itens a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicabilidade do dispositivo W6 Smart Beacon na supervisão de pessoas realizando atividades em altura na construção civil.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Investigar a precisão e confiabilidade do dispositivo W6 Smart Beacon na detecção e monitoramento em tempo real de trabalhadores em atividades em altura na construção civil;
- 2) Avaliar a interferência de barreiras físicas e a distância na capacidade de comunicação do W6 Smart Beacon;
- 3) Avaliar a eficácia do dispositivo W6 Smart Beacon na identificação de situações de perda de equilíbrio;
- 4) Identificar as limitações do dispositivo estudado e trazer alternativas para melhorar o desempenho da tecnologia no monitoramento de pessoas trabalhando em altura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, buscou-se realizar uma revisão abrangente sobre temas pertinentes à dissertação: acidentes de trabalho na construção civil, acidentes decorrentes de queda em altura, a influência dos fatores humanos nestes acidentes, as práticas de supervisão para trabalho em altura, e a aplicação do sensoriamento. Essa revisão tem o intuito de fornecer um entendimento mais profundo e integrado sobre essas temáticas.

2.1 Acidentes de Trabalho na Construção Civil

A indústria da construção é um campo industrial com alta capacidade de geração de empregos e fornecimento de serviços (OIT, 2015). Com uma contribuição de 3,3% para o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, o setor da construção civil é significativo na economia nacional e mostrou uma tendência de crescimento de 4% em 2021, mesmo durante a pandemia, de acordo com dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil (CBIC, 2021). Com aproximadamente 200 mil estabelecimentos atuantes na cadeia de construção e empregando cerca de 7,6 milhões de pessoas, o equivalente a 7,3% da população ativa do país em 2018 (CBIC, 2021), o setor tem um papel importante na geração de emprego e renda, bem como no desenvolvimento econômico do Brasil.

Embora seja um setor vital para o desenvolvimento econômico de um país, a construção civil é uma indústria diferente das demais, pois seus trabalhadores estão expostos a constantes mudanças como o tipo de trabalho, sua localização e a composição dos trabalhadores (HOLA e SZÓSTAK, 2014). Em um mesmo empreendimento, carpinteiros, ferreiros, pedreiros, serventes, operadores de máquinas e equipamentos, eletricitas, técnicos e engenheiros trabalham juntos e de forma simultânea. Além do grande conjunto de profissionais envolvidos, os trabalhos de construção são organizados em projetos com duração limitada, que passam por diferentes fases, desde o estabelecimento e escavação do local até a instalação e conclusão, e as condições no local e as atividades mudam de acordo com as fases (KJELLÉN, 2018). O dinamismo dessa indústria junto com a atuação em locais geograficamente diferentes e condições climáticas desfavoráveis como ventos fortes e chuva, faz com que os trabalhadores fiquem expostos a condições inseguras de trabalho e tenham que lidar com vários tipos de

perigos (HOLA e SZÓSTAK, 2014; OSHA, 2017; SHI et al., 2019 e UMER et al., 2018). Sendo assim, a falta de padrões consistentes de segurança pode levar a um ambiente de trabalho propício a acidentes.

A pressão por prazos apertados e a intensa competição de mercado, muitas vezes, levam a negligências em relação às normas de segurança, comprometendo a segurança dos trabalhadores. Isso, por sua vez, tem impactos negativos na indústria da construção civil, afetando a confiança dos investidores e clientes (AMINBAKHSK, GUNDUZ e SONMEZ, 2013). Projetos atrasados devido a acidentes resultam em penalidades contratuais, aumento nos custos de mão de obra devido à rotatividade e, em última instância, na perda de oportunidades de negócios (WILLIAMS; HAMID e MISNAN, 2019). Os custos com a segurança do processo são parte do projeto no intuito de proteção das perdas relacionadas aos acidentes de trabalho (GURCANLI, BILIR e SEVIM, 2015).

Conforme a legislação brasileira (BRASIL, 1991), um acidente de trabalho é aquele que ocorre em função da atividade laboral na empresa, podendo causar lesões, perturbações funcionais, morte ou perda, seja temporária ou permanente, da capacidade de trabalho. Os custos econômicos associados a acidentes na construção civil vão além dos gastos imediatos com tratamento médico e compensações (BARKOKÉBAS et al., 2020). Conforme Aminbakhsh, Gunduz e Sonmez (2013), os custos dos acidentes na construção civil têm impacto no sucesso financeiro das organizações de construção e afetam os custos gerais da obra. No competitivo mercado da construção civil, reduzir perdas relacionadas aos processos de trabalho é uma necessidade. Barkokébas et al. (2020) afirmam que as perdas podem diminuir a competitividade das empresas. Devido à alta incidência de acidentes de trabalho, é crucial na construção civil discutir e buscar soluções para prevenir tais ocorrências (OIT, 2015 e OSHA, 2017), adotando medidas eficazes de prevenção para proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores (LI et al., 2015 e ZHOU et al., 2015).

Os acidentes na construção civil podem ser graves e até mesmo fatais, devido à presença de vários riscos no ambiente de trabalho, incluindo quedas de altura, choques elétricos, soterramentos, entre outros. Dentre eles, as quedas em altura são as principais causas de acidentes no setor (OLCAY et al., 2021). Nesse sentido, estudos internacionais postulam que

quedas de altura são as principais causas de acidentes fatais na indústria da construção (SAFEWORK, 2019; NAVEEN KUMAR; JAGANNATHA; VENKATESHA, 2019; CAMERON; HARE; DAVIES, 2008 e AYOB et al., 2018).

2.2 Acidentes de Queda em Altura

Conforme a Norma Regulamentadora 35 – Trabalho em Altura, atividade em altura é toda atividade com diferença de nível acima de 2,0 metros do nível inferior, onde haja risco de queda (BRASIL, 2022). De acordo com o relatório do Centro de Pesquisa e Treinamento em Construção - CPWR (2018), a maioria das tarefas de construção é executada em grandes altitudes nos locais de trabalho, como coberturas, montagem de aço e instalação de linhas de energia.

As quedas de altura são particularmente preocupantes para os setores produtivos, pois se destacam pelo alto número de lesões fatais (JAHANGIR et al., 2019; TANVI NEWAZ et al., 2022; WONG et al., 2016; HABIBNEZHAD et al., 2021). Zermane et al. (2020) ressaltam que o risco de queda de altura é um desafio global enfrentado pela indústria da construção, e representa, pelo menos um terço de todos os acidentes neste setor.

Os acidentes graves resultantes desses riscos têm aumentado anualmente, já que muitas tarefas exigem trabalho em alturas significativas (DONG et al., 2017; SALLEH; HASMORI; SAMAD, 2022; e NEWAZ et al., 2022). Segundo dados do *Bureau of Labor Statistics* (2019), os índices de acidentes ocasionados por quedas em altura na construção civil aumentaram desde 2011 em todos os locais do mundo. Além disso, as quedas de altura causaram 40% dos acidentes na indústria da construção, evidenciando um aumento de 7% nos acidentes de quedas de altura em comparação com o ano de 2018. No mesmo período, quedas de altura causaram 376 mortes, representando um terço do total de mortes no setor (BUREAU of LABOR STATISTICS, 2019).

Na construção civil, atividades acima de 2 metros são comuns em quase todas as fases das obras, especialmente durante a elevação da estrutura. Diariamente, os profissionais do setor enfrentam o risco de quedas, mesmo quando utilizam os equipamentos de segurança (GELMINI et al., 2020).

Várias estratégias de segurança estão disponíveis para reduzir o risco de acidentes de queda em altura. Essas estratégias incluem medidas de prevenção na fase de projeto, uso de proteção coletiva (como barreiras de segurança, andaimes, redes e guarda-corpos) e equipamentos de proteção individual, como cintos de segurança (LÓPEZ-ARQUILLOS et al., 2014; REY-MERCHÁN et al., 2020). No entanto, apesar dos regulamentos e normas existentes, alguns trabalhadores negligenciam o uso adequado dessas medidas de segurança, seja por desconforto, restrição de movimento ou subestimação do risco (REY-MERCHÁN et al., 2020). Isso contribui para o aumento do número de acidentes, destacando a necessidade de aumentar a conscientização sobre a segurança e a saúde ocupacional, através de treinamentos adequados (BARRIUSO et al., 2018).

Assim, diante dos pontos levantados, observa-se que é crucial um gerenciamento adequado de atividades com exposição a esse tipo de risco, a fim de prevenir lesões e mortes (NEWAZ et al., 2022).

2.3 Fatores Humanos nos Acidentes de Queda em Altura

Haslam et al. (2005) sublinham que os fatores humanos são responsáveis por cerca de 70% dos acidentes de trabalho, com a maior parte desses incidentes decorrendo de comportamentos inseguros. Mesmo com o uso de cintos de segurança, os trabalhadores da construção civil enfrentam diariamente a ameaça de quedas. O mapeamento de riscos associados a diversas atividades é, portanto, crucial para fomentar comportamentos seguros (KOUABENAN et al., 2015; SEO, 2005; XIA et al., 2017), e, por consequência, diminuir a incidência de acidentes.

O comportamento humano assume um papel fundamental nos acidentes de trabalho, particularmente nos incidentes de quedas em altura. Trabalhar em alturas elevadas pode causar respostas fisiológicas e físicas não esperadas devido à ansiedade induzida pela elevação e instigar a incompatibilidade visual (SIMEONOV et al., 2005; HSIAO e SIMEONOV, 2001). Essas reações corporais não só podem afetar a postura durante a realização do trabalho, como também podem influenciar significativamente o desempenho da tarefa (BOFFINO et al., 2009). Embora as condições de trabalho, o treinamento e as medidas de segurança sejam elementos

essenciais para a prevenção de acidentes, é a conduta dos trabalhadores que frequentemente faz a diferença entre prevenir ou ocasionar uma queda (KOUABENAN et al., 2015).

Comportamentos negligentes ou imprudentes podem culminar em situações de risco, aumentando a probabilidade de quedas (ZERMANE et al., 2020). Por exemplo, desconsiderar a utilização de equipamentos de proteção individual, como capacetes, óculos de segurança e dispositivos de ancoragem, coloca o trabalhador em maior risco de queda e consequentes lesões graves (LÓPEZ-ARQUILLOS et al., 2014; REY-MERCHÁN et al., 2020). Ademais, comportamentos como a pressa, distração, excesso de confiança, negligência dos procedimentos de segurança e violação de normas estabelecidas podem ser fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes (BARKOKÉBAS et al., 2020).

Contudo, vale enfatizar que o comportamento seguro pode ser cultivado e promovido nos ambientes de trabalho da construção civil (ALMEIDA FILHO e CRUZ, 2022; e XIA et al., 2017). É imperativo que os profissionais estejam plenamente cientes dos riscos associados ao trabalho em altura e se comprometam a adotar as medidas de proteção apropriadas. Uma comunicação clara e eficaz sobre riscos e procedimentos de segurança é fundamental na orientação do comportamento humano (SEO, 2005).

Seguir as normas de segurança é também um passo importante para instaurar uma cultura de segurança (FERREIRA et al., 2012). Os gestores e líderes precisam se comprometer com a aderência estrita à legislação de segurança e demonstrar dedicação à proteção dos trabalhadores (ZHOU et al., 2015). De acordo com Li et al. (2015), o investimento em treinamento, desenvolvimento de pessoas e ações pontuais de segurança gera impactos positivos para a organização.

2.4 Supervisão para Trabalho em Altura

Inúmeras causas de acidentes de trabalho resultam do desconhecimento e violação das normas de saúde e segurança do trabalho (HOLA A; HOLA B; SZÓSTAK, 2017).

O setor de construção civil é caracterizado pela constante mudança nos cenários de trabalho (HALE et al., 2012). Conforme Rosa Filho (2019), a construção civil é composta por múltiplos serviços de curta duração com rotação frequente de mão de obra de acordo com o estágio da obra. Nesse cenário, a ausência de fiscalização e supervisão adequadas é um fator crítico (ZERMANE et al., 2020). Quando os supervisores não estão presentes ou não cumprem adequadamente suas funções, os trabalhadores ficam vulneráveis e os riscos de acidentes aumentam (SHAPPELL e WIEGMANN, 2003). A supervisão ativa e competente é essencial para identificar condições inseguras, corrigir comportamentos inadequados e intervir a tempo de evitar acidentes.

Realizar uma supervisão adequada constitui uma prática fundamental para prevenir acidentes de trabalho, principalmente em situações de trabalho em altura (SANTIAGO OLIVEIRA, DE ALBUQUERQUE SOARES e VASCONCELOS, 2023). Quando essa supervisão é negligenciada ou se mostra insuficiente, os trabalhadores podem ficar expostos a riscos significativos, o que pode acarretar um aumento nas ocorrências de acidentes (SHAPPELL E WIEGMANN, 2003).

Conforme a Norma Regulamentadora 35, supervisão para trabalho em altura é descrita como o ato de fornecer orientações - seja de forma presencial, semipresencial ou remota - para a realização segura de atividades em altura (BRASIL, 2022). Quando os colaboradores estão envolvidos em atividades que ocorrem em alturas consideráveis, como trabalhos em andaimes, plataformas ou telhados, a presença de um supervisor qualificado e atento se faz indispensável. A norma prossegue ao afirmar que:

“35.5.3 Todo trabalho em altura deve ser realizado sob supervisão, cuja forma deve ser definida pela AR de acordo com as peculiaridades da atividade” (BRASIL, 2022).

Conforme o item mencionado acima, durante a elaboração da Análise de Risco (AR), é necessário documentar explicitamente como a supervisão das atividades será conduzida. Isso é corroborado pelo item 35.5.5.1, que detalha minuciosamente os elementos que devem compor a AR. Especificamente, a alínea "m" desse item destaca que a AR (Figura 4) precisa incluir a metodologia de supervisão a ser adotada (BRASIL, 2022).

2.5 Sensoriamento e Monitoramento de Pessoas

Tradicionalmente, o comportamento e as atividades dos trabalhadores são registrados manualmente e monitorados de forma presencial com base nas observações dos gestores e supervisores no local. No entanto, essa abordagem é demorada e ineficaz para locais com construções mais complexas e com grande quantidade de pessoas envolvidas (AMMAD et al., 2021; HINZE et al., 2013; TEIZER e VELA, 2009).

O progresso tecnológico trouxe benefícios consideráveis para diversos setores da sociedade, inclusive para o ambiente de trabalho. No campo da prevenção de acidentes laborais e segurança dos trabalhadores, a aplicação de tecnologias como os sensores tem se mostrado essencial (HABIBNEZHAD et al., 2021; UMER et al., 2018; LEE et al., 2022; YANG et al., 2016; e CYMA-WEJCHENIG et al., 2020).

Sensores são dispositivos projetados para detectar e medir variáveis ambientais específicas, como movimento, temperatura e pressão (UMER et al., 2018). No monitoramento de trabalhadores, esses dispositivos podem ser empregados de várias maneiras para assegurar a segurança e o bem-estar dos colaboradores (HABIBNEZHAD et al., 2021).

No âmbito do monitoramento de atividades, esses sensores podem identificar movimentos e posturas inadequados dos trabalhadores. Por exemplo, sensores de movimento podem ser integrados a equipamentos de proteção individual, como capacetes e cintos de segurança, emitindo alertas aos trabalhadores caso detectem movimentos abruptos ou incorretos com potencial para provocar acidentes (LEE et al., 2022; YANG et al., 2016; e CYMA-WEJCHENIG et al., 2020).

Os sensores também são importantes para detectar quedas e acidentes. Para essas situações, destacam-se os sensores de impacto, que podem ser anexados a equipamentos de proteção individual ou até mesmo ao corpo do trabalhador (UMER et al., 2018). Em caso de queda, esses sensores podem emitir um alerta à equipe responsável, possibilitando uma intervenção rápida para prestar auxílio (LEE et al., 2022).

Vale ressaltar que a eficácia do uso dos sensores requer um sistema de monitoramento e análise de dados apropriado. Os dados recolhidos pelos sensores devem ser processados e interpretados por algoritmos avançados, com o objetivo de identificar situações de risco e tomar medidas preventivas contra acidentes (HABIBNEZHAD et al., 2021).

2.5.1 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia que permite a conexão e comunicação entre objetos físicos do nosso cotidiano, possibilitando que eles colem e compartilhem dados de forma automática, sem a necessidade de intervenção humana direta (KHAN et al., 2022; e HABIBNEZHAD et al., 2020). Essa interconexão de dispositivos, equipamentos e sensores cria uma rede inteligente, em que informações são coletadas, processadas e utilizadas para melhorar a eficiência, a segurança e a qualidade de vida das pessoas.

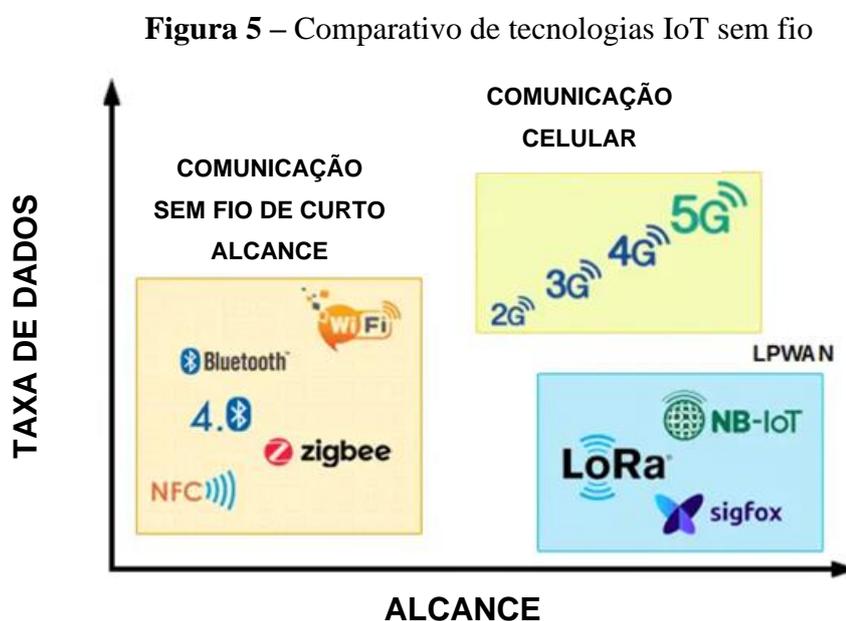
No contexto da segurança do trabalho, a IoT desempenha um papel crucial na prevenção de acidentes e na proteção dos trabalhadores (KHAN et al., 2022). Por meio da implementação de sensores e dispositivos conectados, é possível monitorar ambientes de trabalho, equipamentos e o próprio estado físico dos colaboradores, fornecendo informações e monitoramento em tempo real e permitindo ações preventivas.

A IoT também pode ser utilizada para monitorar o uso adequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como coletes refletivos e capacetes, garantindo o cumprimento das normas de segurança (GELMINI et al., 2020). Além disso, drones equipados com câmeras e sensores podem ser utilizados para inspeções de áreas de difícil acesso ou perigosas, reduzindo o risco de acidentes e agilizando o processo de identificação de possíveis problemas.

Com a coleta e análise contínua desses dados, é possível identificar padrões, investir em ações preventivas e realizar treinamentos específicos para mitigar riscos e aprimorar as práticas de segurança no ambiente de trabalho (HABIBNEZHAD et al., 2021; CYMA-WEJCHENIG et al., 2020; e KASKUTAS et al., 2013). Assim, observa-se que a IoT na segurança do trabalho promove um ambiente mais seguro, eficiente e produtivo, protegendo a integridade física dos trabalhadores e minimizando os riscos de acidentes (KHAN et al., 2022).

É importante ressaltar que a implementação da IoT na segurança do trabalho deve ser acompanhada de políticas e diretrizes claras, garantindo a privacidade e a proteção dos dados dos funcionários. Nesse sentido, os dispositivos e sistemas utilizados devem ser seguros e confiáveis, evitando vulnerabilidades e potenciais ameaças cibernéticas.

Existem diversos tipos de dispositivos e tecnologias no ramo da IoT, algumas com mais limitações do que outras. O que diferencia as tecnologias Iot é a quantidade de informações que podem ser enviadas e o alcance a que tais informações conseguem chegar. A Figura 5 mostra esse comparativo entre as tecnologias IoT sem fio.



Fonte: Adaptado de Moko Smart (2022).

Avaliando a Figura 5, nota-se que os dispositivos que se comunicam via Bluetooth Low Energy - BLE não conseguem percorrer grandes distâncias, quando comparado a dispositivos da tecnologia LoRaWAN. Enquanto os dispositivos BLE possuem um alcance médio de até 100 metros, os LoRa conseguem emitir sinal até 100 quilômetros de distância (CYA-WEJCHENIG et al., 2020).

Para a realização da pesquisa, foram utilizadas duas tecnologias para o monitoramento remoto dos trabalhadores, graças à parceria com uma empresa que trabalha com atividades de alto risco

na área da Segurança do Trabalho. Trata-se dos equipamentos: LPS8 LoRaWAN (Figura 6a) e W6 Smart Multiuse Beacon (Figura 6b).

Figura 6 – LPS8 LoRaWAN (a) e W6 Smart Multiuse Beacon (b)

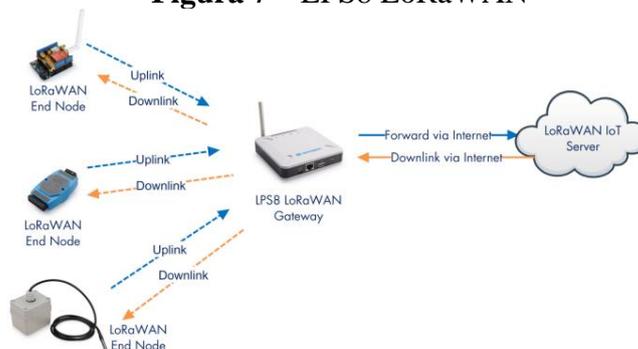


Fonte: Manual do Usuário LPS8 LoRaWAN (2021) e Especificação do Produto W6 Smart Multiuse Beacon (2021).

As tecnologias LPS8 LoRaWAN (Figura 6a) e W6 Smart Multiuse Beacon (Figura 6b) são duas soluções inovadoras amplamente utilizadas em diferentes setores, como a indústria, logística, agronegócio, segurança e monitoramento. Ambas possuem funcionalidades específicas que contribuem para melhorar a eficiência e a segurança dos processos.

A tecnologia LPS8 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) é uma rede de comunicação sem fio de longo alcance e baixo consumo de energia, desenvolvida especialmente para dispositivos IoT (Internet of Things) (MANUAL DO USUÁRIO, 2021). Ela permite a transmissão de dados de forma eficiente em longas distâncias, cobrindo amplas áreas geográficas, como cidades inteiras ou grandes áreas industriais (Figura 7).

Figura 7 – LPS8 LoRaWAN

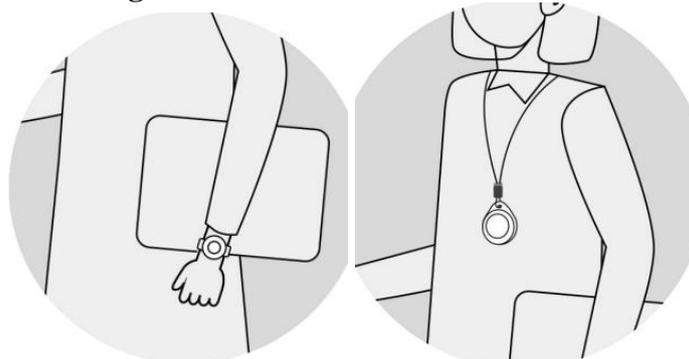


Fonte: Manual do Usuário LPS8 LoRaWAN (2021).

O LPS8 LoRaWAN é ideal para aplicações que requerem monitoramento, rastreamento e controle de ativos em tempo real (MANUAL DO USUÁRIO, 2021). Com essa tecnologia, é possível coletar dados de sensores espalhados pela área de cobertura e enviar essas informações para uma plataforma centralizada. Isso permite o gerenciamento remoto de dispositivos e a tomada de decisões baseadas em informações atualizadas e precisas.

Já o W6 Smart Multiuse Beacon é um dispositivo compacto e versátil que utiliza a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) para transmitir sinais que podem ser recebidos por smartphones e outros dispositivos compatíveis. Este beacon possui diversas aplicações, como a criação de zonas de proximidade em ambientes internos, permitindo interações personalizadas com os usuários (ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO, 2021). O dispositivo pode ser utilizado de diversas formas no trabalhador (Figura 8).

Figura 8 – W6 Smart Multiuse Beacon



Fonte: Especificação do Produto W6 Smart Multiuse Beacon (2021).

O W6 Smart Multiuse Beacon é comumente utilizado em estabelecimentos comerciais, museus, aeroportos e eventos, oferecendo aos usuários informações relevantes e direcionadas de acordo com sua localização (ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO, 2021). Além disso, o beacon pode ser utilizado para monitorar o movimento de pessoas e ativos dentro de um determinado espaço, possibilitando a análise de dados e a otimização de processos internos.

Ambas as tecnologias, LPS8 LoRaWAN e W6 Smart Multiuse Beacon, oferecem soluções eficazes para diferentes necessidades de comunicação e rastreamento. Seja em um ambiente externo ou interno, essas tecnologias podem ser integradas a sistemas existentes, proporcionando maior eficiência operacional, segurança e controle nos processos.

2.5.2 Tecnologia LoRaWan

A tecnologia LoRaWAN (Low Power Wide Area Network), uma norma de comunicação sem fio criada especificamente para a Internet das Coisas (IoT), é eficiente e de baixo consumo energético, sendo ideal para conectar dispositivos a grandes distâncias por meio de uma frequência de rádio não licenciada (HABIBNEZHAD et al., 2020; JOFFE, 2021).

Essa tecnologia possibilita a transmissão de dados pelos dispositivos IoT a longas distâncias, com economia de energia, tanto em áreas urbanas, quanto suburbanas ou rurais. Sua arquitetura de rede em estrela permite que os dispositivos finais transmitam dados para os gateways. Estes, por sua vez, redirecionam esses dados para a rede central (JOFFE, 2021). Tal arquitetura facilita uma cobertura geográfica mais ampla e uma implementação escalável, capaz de suportar uma grande quantidade de dispositivos IoT (KHAN et al., 2022).

2.5.3 Dispositivos Beacon

Os dispositivos beacon, pequenas ferramentas eletrônicas, emitem sinais de rádio de curto alcance. Estes sinais transmitem informações acerca de um local ou objeto específico para aparelhos móveis que estejam próximos (LEE et al., 2022). Estes dispositivos operam por meio de tecnologias como BLE ou LoRaWAN para o envio desses sinais.

Frequentemente, os beacons são utilizados para disponibilizar informações contextuais ou conteúdos pertinentes a usuários de aplicativos móveis que se encontram nas imediações de um beacon (YANG et al., 2016). Eles são comumente empregados em ambientes como lojas, museus, eventos ou espaços públicos, proporcionando notificações, guias e interações personalizadas de acordo com a proximidade do usuário.

Portanto, a IoT oferece um conjunto de ferramentas e tecnologias que podem revolucionar a segurança do trabalho, permitindo uma abordagem proativa, baseada em dados e orientada para a prevenção de acidentes.

2.6 Testes de Normalidade

A avaliação da normalidade dos dados analisados constitui uma etapa importante das pesquisas científicas e na análise de dados. A distribuição normal, também conhecida como distribuição gaussiana, é uma distribuição simétrica com uma forma específica, caracterizada por sua média e desvio padrão. Quando os dados seguem uma distribuição normal, alguns pressupostos estatísticos importantes são atendidos, o que simplifica a aplicação de várias técnicas estatísticas (DEVORE, 2006).

Na maioria dos casos, a decisão sobre qual teste estatístico aplicar depende da normalidade dos dados. Escolher um teste errado pode levar a interpretações equivocadas e conclusões imprecisas, o que afeta na qualidade da pesquisa (DEVORE, 2006). Sendo assim, a verificação da normalidade dos dados por meio de testes estatísticos apropriados é uma etapa essencial na condução de pesquisas científicas, como já foi ressaltado. Isso assegura que as análises subsequentes se baseiem em pressupostos válidos, fortalecendo a robustez e a confiabilidade dos resultados obtidos.

2.7 Testes de Hipótese

À princípio, existem dois tipos de testes de hipótese: testes paramétricos e testes não-paramétricos. Os testes paramétricos e não paramétricos são duas abordagens distintas na análise estatística, cada uma adequada para diferentes situações e características dos dados. A principal diferença entre eles reside na natureza das suposições feitas sobre a distribuição dos dados (DEVORE, 2006).

Os testes paramétricos pressupõem que os dados seguem uma distribuição específica. Eles são mais sensíveis a características como média e desvio padrão. Alguns exemplos de testes paramétricos incluem o teste t de Student e análise de variância (ANOVA). Esses testes são preferíveis quando os dados atendem às condições de normalidade e homocedasticidade (variâncias iguais).

Já os testes não-paramétricos não fazem suposições rigorosas sobre a distribuição dos dados. Eles são menos sensíveis à forma específica da distribuição e mais adequados para dados que não seguem uma distribuição normal. Exemplos de testes não paramétricos incluem o teste de Wilcoxon, o teste de Mann-Whitney e o teste de Kruskal-Wallis.

A escolha entre testes paramétricos e não paramétricos depende das características específicas dos dados e das condições da amostra. Em geral, se os dados atendem aos pressupostos dos testes paramétricos, esses testes oferecem maior poder estatístico. No entanto, se as condições não são atendidas, os testes não paramétricos proporcionam uma alternativa robusta e confiável para a análise estatística.

3 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em três etapas: Revisão Sistemática da Literatura, Procedimento Experimental, Organização e Tratamento Estatístico dos Dados.

3.1 Revisão Sistemática da Literatura

Esta parte do trabalho compreende um estudo analítico e descritivo que utiliza uma revisão sistemática da literatura que aconteceu entre julho de 2022 e fevereiro de 2023. O intuito desta etapa do trabalho foi mapear o que se é utilizado hoje, em diversos países, tendo como base as seguintes perguntas:

- a. Quais ferramentas de gestão têm sido estudadas para a prevenção do risco de queda em altura?
- b. O que já é utilizado no controle de riscos de queda em altura nas indústrias?
- c. Qual procedimento é mais vantajoso no controle de quedas em altura?

Foi feita revisão de literatura por meio do método PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis. O PRISMA consiste em uma metodologia de revisão sistemática e de meta-análise, ferramenta essencial para pesquisadores para resumir as evidências com precisão, confiabilidade e atualidade quanto a determinado tema estudado (LIBERATI et al., 2009). A partir deste método a revisão se dividiu em três etapas: 1) Protocolo de revisão; 2) Exclusão de trabalhos e 3) Análise de dados. Cada etapa é detalhada a seguir:

3.1.1 Protocolo de revisão

Foram consultadas 50 bases de dados para obter publicações científicas, com destaque para Engineering Village, Scopus e Web of Science, que são reconhecidas (HARZING e ALAKANGAS, 2016), e que forneceram cerca de 80% dos trabalhos encontrados. As palavras-chave usadas para selecionar os artigos foram “manutenção”, “torres eólicas”, “proteção contra queda”, “trabalho em altura”, “tecnologias habilitadoras”, “quedas de altura”, “segurança do trabalho”, “gestão de riscos” e “testes tecnológicos”. Essas combinações foram pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave das bases de dados. Para inclusão no estudo, os trabalhos

deveriam apresentar um método de gestão do risco de queda em altura em atividades de construção ou manutenção na área de engenharia. Com isso, foi desenvolvido o protocolo de pesquisa completo, apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Protocolo de pesquisa

ITEM	CONTEÚDO
Objetivos	Levantar informações quanto a estratégias de prevenir e controlar o risco de quedas de altura para contribuir em tomadas de decisão no controle do risco de quedas de altura.
Resultados	Encontrar informações levantadas na literatura sobre diferentes sistemas utilizados no controle do risco de quedas de altura; analisar o desempenho de novas tecnologias na área de segurança do trabalho; identificar os pontos principais que os gestores levam em consideração na escolha de sistemas de proteção contra queda de altura.
Palavras-chave	<i>Manutenção, torres eólicas, proteção contra queda, trabalho em altura, tecnologias habilitadoras, quedas de altura, segurança do trabalho, gestão de riscos e testes tecnológicos.</i>
Idioma	Inglês, Espanhol e Português.
Bases de dados	Academic Search Complete, ACM Digital Library, ACS Journals, AGRICOLA Articles, AHA Journals, American Society of Civil Engineers, Annual Reviews, ASME, Beilstein via SCIRUS (ChemWeb), BioMed Central Journals, Business Source Complete, Cambridge Journals Online, CiteSeerX, Current Contents, Directory of Open Access Journals, Emerald, Energy Citations Database, Engineering Village (Compendex), ERIC, Geological Society of America (GSA), HighWire Press, IEEE Xplore, Inspec, Ingenta, IOPscience, Library, Information Science & Technology Abstracts (LISTA), MEDLINE, MetaPress, Nature.com, Oxford Journals, Project Muse, PsycArticles, PsycCRITIQUES, PubMed, Royal Society of Chemistry, SAGE, SciELO, Science Magazine, Science Direct, Scopus, Scitation, SIAM, SourceOECD, SpringerLink, Taylor and Francis, The Chronicle of Higher Education, TRIS Online, Web of Science, Wiley Online Library e Zentralblatt MATH.
Critérios de inclusão	(I) 2012 – 2023; (I) Engenharia em atividades de manutenção ou construção; (I) Segurança do Trabalho; (I) Inglês, Espanhol e Português.
Critérios de exclusão	(E) Idiomas; (E) Não é relacionado a engenharia e atividades de manutenção ou construção; (E) Não trazem informações relevantes relacionadas a segurança do trabalho; (E) Estudos que não são peer-review nem possuem fator de impacto; (E) Análise de abrangência do Título; (E) Análise de abrangência do Resumo.
Questões de pesquisa	a. Que ferramentas de gestão têm sido estudadas para a prevenção do risco de queda em altura? b. O que já é utilizado no controle de riscos de queda em altura em manutenções industriais? c. Qual procedimento é mais vantajoso no controle de quedas em altura em atividades de manutenção?

Fonte: Autor.

O protocolo de pesquisa aplicou critérios de inclusão como:

1. Publicações entre 2012 e início de 2023;

2. Textos em inglês, espanhol ou português;
3. Texto completo disponível para leitura;
4. Estudos originais (HARZING e ALAKANGAS, 2016);
5. Trabalhos revisados por pares e com fator de impacto, garantindo qualidade (STOLL et al., 2019).

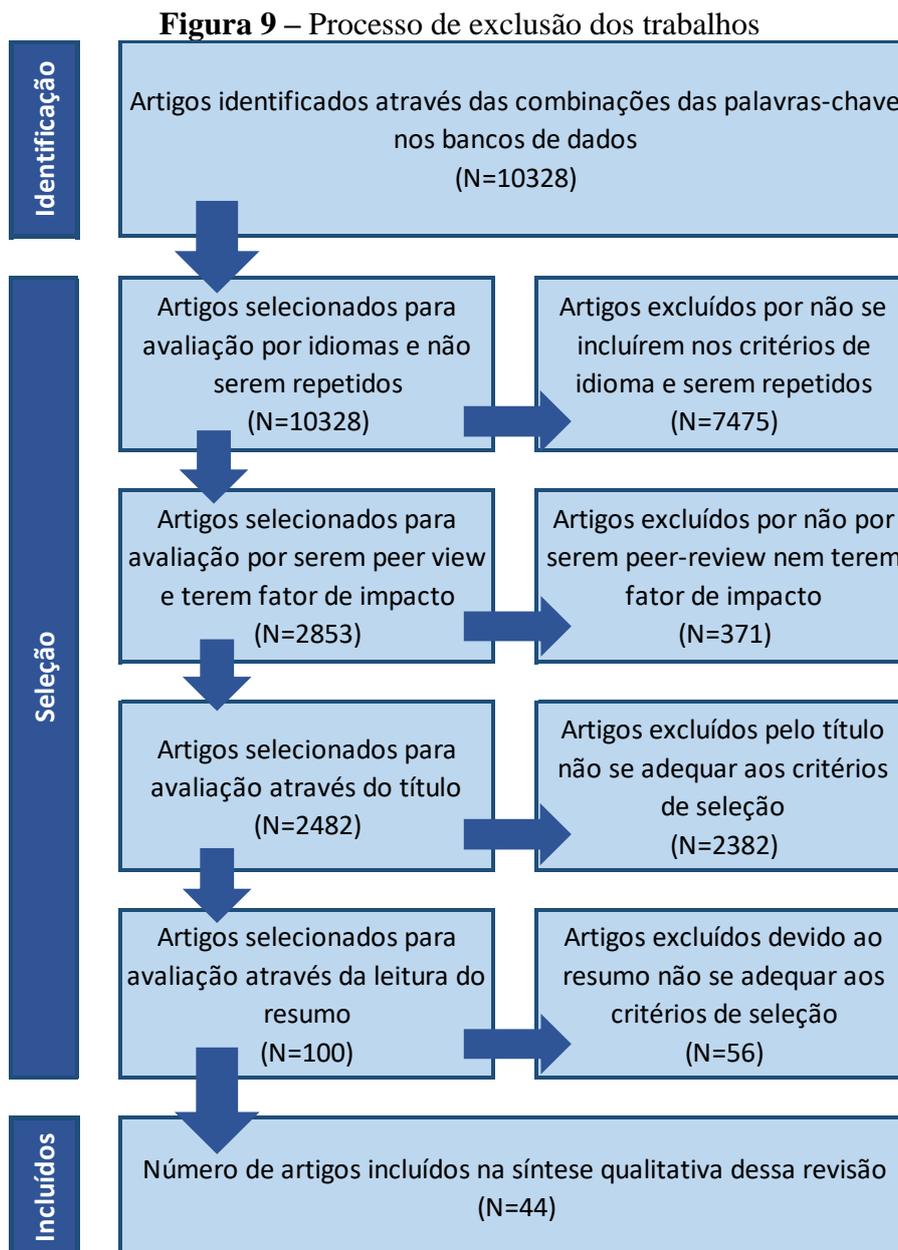
Os critérios foram aplicados em todas as combinações de palavras-chave nas bases de dados, filtrando produções acadêmicas relevantes. Em seguida, iniciou-se o processo de exclusão dos trabalhos que não atendiam aos objetivos e área de interesse deste estudo.

3.1.2 Exclusão de trabalhos

Após a revisão sistemática da literatura utilizando o método PRISMA, foram identificados 10.328 trabalhos, organizados em planilhas do Microsoft Excel. O processo de exclusão ocorreu em quatro etapas:

- i. Na primeira etapa, os trabalhos duplicados foram removidos e aqueles que não estavam em inglês, espanhol ou português foram excluídos, reduzindo o número para 2.853 estudos.
- ii. Na segunda etapa, foram excluídos 371 trabalhos que não atendiam aos critérios de qualidade (revisão por pares e fator de impacto), resultando em 2.482 trabalhos restantes.
- iii. Na terceira etapa, os títulos dos 2.482 trabalhos foram avaliados quanto à abordagem do tema de segurança do trabalho e controle do risco de queda em atividades de engenharia. Nessa etapa, foram excluídos 2.382 trabalhos, restando 100 estudos.
- iv. Na última etapa, os resumos dos 100 trabalhos restantes foram analisados quanto à adequação ao tema e organização. Foram excluídos 56 trabalhos, resultando em 44 trabalhos selecionados para análise na próxima etapa da metodologia.

As etapas do processo de exclusão estão resumidas na Figura 9.



Fonte: Autor.

3.1.3 Análise de dados

Os 44 artigos restantes após o processo de exclusão foram organizados em uma planilha do Microsoft Excel e analisados detalhadamente. Durante a análise, foram extraídas informações como objetivos, metodologia, mecanismos de controle de risco de queda, resultados alcançados, setor econômico e descobertas. As informações coletadas foram agrupadas em uma planilha.

Examinando os dados dos artigos, foram identificadas semelhanças entre os mecanismos utilizados na gestão do risco de queda de altura. Os trabalhos foram, assim, divididos em subgrupos:

- Tecnologia Habilitadora;
- Estatística/Probabilidade;
- Entrevista;
- Revisão Sistemática da Literatura (RSL);
- Método de Análise Causal;
- Treinamento;
- Estudo Normativo;
- Inspeção in loco;
- Simulação Numérica;
- Análise Documental;
- Ontologia;
- Acompanhamento Médico; e
- Método de Análise Comportamental.

Com essa divisão, as particularidades de cada artigo foram comparadas, considerando que um mesmo artigo poderia utilizar mais de um dos métodos listados. Como foram fornecidos dispositivos de sensoriamento e IoT, para o desenvolvimento do procedimento experimental desta pesquisa, optou-se pelo estudo forma mais detalhada dos artigos que utilizaram tecnologias habilitadoras semelhantes às que foram fornecidas para este trabalho e que foram aplicadas visando ao setor da construção civil. Logo, foram analisados os 7 artigos que tratavam de internet das coisas e sensores na construção civil, que estão relacionados no Quadro 2.

Quadro 2 – Artigos estudados

Nº	TÍTULO	FERRAMENTA	O QUE ESTUDOU	REFERÊNCIA
1	Comparison of ironworker's fall risk assessment systems using an immersive biofeedback simulator	Realidade Virtual + Sensores de Monitoramento Biomecânico	Influência da caminhada e equilíbrio nas quedas de altura	(Habibnezhad et al., 2021)
2	Semi-supervised near-miss fall detection for ironworkers with a wearable inertial measurement unit	Sensores no Monitoramento de Equilíbrio	Identificar possíveis perdas de equilíbrio capazes de gerar quedas	(Yang et al., 2016)
3	Development of a tool to monitor static balance of construction workers for proactive fall safety management	Sensores de monitoramento de equilíbrio	Equilíbrio	(Umer et al., 2018)
4	Fall-from-Height Detection Using Deep Learning Based on IMU Sensor Data for Accident Prevention at Construction Sites	Sensores no Monitoramento de Localização e Deslocamento	Localização e Deslocamento	(Lee et al., 2022)
5	The influence of proprioceptive training with the use of virtual reality on postural stability of workers working at height	Sensores no Monitoramento de Localização, Deslocamento e Equilíbrio	Localização e Deslocamento	(Cyma-Wejchenig et al., 2020)
6	Fall Prevention from Scaffolding Using Computer Vision and IoT-Based Monitoring	Visão Computacional + Internet das Coisas no Monitoramento de Localização	Uso de EPI + Localização e Deslocamento	(Khan et al., 2022)
7	Neurophysiological testing for assessing construction workers' task performance at virtual height	Visão Computacional + Internet das Coisas no Monitoramento de Equilíbrio + Realidade Virtual	Influência do equilíbrio e postura no desempenho das atividades realizadas em altura	(Habibnezhad et al., 2020)

Fonte: Autor.

Com base no que consta no Quadro 2, verifica-se que as principais variáveis analisadas pelos artigos foram a posição do trabalhador, se ele havia acessado os locais e a questão do equilíbrio dos colaboradores. De maneira geral, os artigos que estudaram o equilíbrio dos trabalhadores, posicionaram os dispositivos na cintura das pessoas envolvidas nos estudos. Já os artigos que concentraram seus estudos na posição dos trabalhadores optaram por deixar os dispositivos próximos à cabeça, presos na camisa ou como colar no pescoço do trabalhador.

Observando as variáveis que foram estudadas nos artigos, foram então coletadas informações referentes ao desenvolvimento dos estudos realizados nos artigos. Essas informações estão listadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Análise dos artigos

Nº	PESSOAS ENVOLVIDAS	AMOSTRAS	DURAÇÃO	AMBIENTE DO ESTUDO
1	1	30	5 a 30 minutos	Laboratório de treinamentos
2	2	20 (10 de cada pessoa envolvida)	5 minutos	Laboratório + campo
3	3	15 (5 de cada pessoa envolvida)	5 a 12 minutos	Laboratório
4	20	20	2 a 5 minutos	Laboratório
5	21	21	5 a 30 minutos	Laboratório de treinamentos
6	3	15 (5 de cada pessoa envolvida)	5 a 30 minutos	Laboratório de treinamentos
7	18	18	5 a 30 minutos	Laboratório + campo

Fonte: Autor.

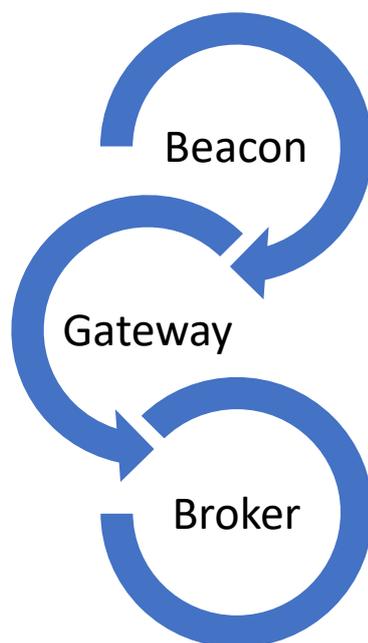
Analisando as informações presentes no Quadro 3, todos os estudos fizeram ao menos uma parte da análise em laboratório. Os trabalhos tiveram em média 20 amostras de testes realizados com os dispositivos. Já em relação ao tempo, praticamente todos os estudos tiveram medições de, no mínimo, 5 minutos.

3.2 Procedimento Experimental

Na pesquisa, foram envolvidas 2 pessoas de biotipos diferentes, ma do gênero masculino com 25 anos de idade, medindo 170cm e pesando 86kg e a outra do gênero feminino com 21 anos de idade, medindo 155cm e pesando 50kg. Ambos passaram pelos mesmos experimentos e foi coletada a mesma quantidade de dados.

O processo de comunicação entre as tecnologias envolvidas na pesquisa segue a sistemática MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que equivale a um protocolo de mensagens entre equipamentos, permitindo a comunicação entre sensores e satélites ou antenas. Neste trabalho, possuímos 3 elementos que estão apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Trajeto de informações provenientes do Beacon que se comunica via tecnologia BLE



Fonte: Autor.

O primeiro elemento é o dispositivo offline que envia as informações do usuário, isto é, os Beacons. Estes são pequenas ferramentas eletrônicas usadas como sensores que enviam informações via BLE ou LoRaWAN.

Já o segundo elemento apresentado na Figura 10 é o gateway. Ele é o um dispositivo ou software responsável por coletar e conectar as informações que são passadas pelos dispositivos IoT. Por fim o broker, que funciona como um mediador e transforma os dados provenientes do beacon. É no broker que são coletadas as informações para que sejam trabalhadas e fiquem o mais visual possível para a pessoa que esteja supervisionando os usuários do beacon.

Assim como nos 7 artigos analisados para o desenvolvimento do processo experimental, o beacon utiliza a tecnologia BLE para transmitir seus sinais. Para entender melhor como funcionou o fluxo de informações no presente trabalho, a Figura 11 mostra as etapas percorridas pelos dados que serão coletados.

Figura 11 – Percurso de informações do Beacon que se comunica via BLE



Fonte: Autor.

Sendo assim, o dispositivo beacon envia suas informações via BLE até o gateway representado pelo programa Node-RED instalado em notebook. Analisando a Figura 11, o dispositivo Beacon avaliado no trabalho é o W6 Smart Beacon. Antes de serem iniciados os testes, o dispositivo foi configurado em aplicativo próprio instalado no celular do autor, o BeaconX Pro.

Abrindo o aplicativo e pareando o mesmo com a W6 Smart Beacon, via o bluetooth do próprio smartphone, se configurava os dados que serão emitidos para o gateway. Os dados saem do Beacon em formato de comunicação Bluetooth (Figura 12) e são direcionados até o Gateway.

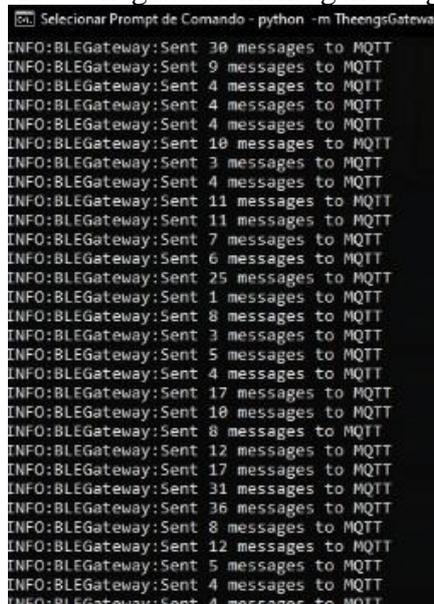
Figura 12 – Dados emitidos pelo W6 Smart Beacon

```
id: "C7:0E:EA:8E:15:35"
rssi: -44
brand: "Mokosmart"
model: "BeaconX Pro"
model_id: "MBXPRO"
type: "ACEL"
x_axis: 1.38077632
y_axis: 11.98764896
z_axis: 10.10477216
volt: 2.95
```

Fonte: Autor.

Na análise do W6 Smart Beacon, o gateway não vai ser um equipamento separado e sim um programa que é o Node-RED, instalado em computador como um software. Dentro do Node-RED, já constam tanto o gateway (Figura 13) como o broker (Figura 14).

Figura 13 – Chegada de mensagens ao gateway

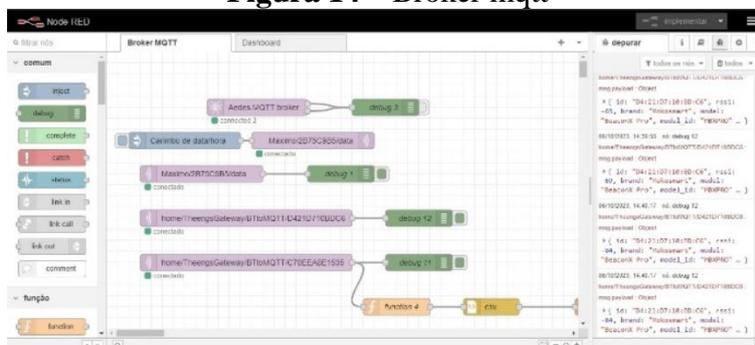


```

Selecionar Prompt de Comando - python -m TheengsGateway
INFO:BLEGateway:Sent 30 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 9 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 4 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 4 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 4 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 10 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 3 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 4 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 11 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 11 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 7 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 6 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 25 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 1 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 8 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 3 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 5 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 4 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 17 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 10 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 8 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 12 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 17 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 31 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 36 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 8 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 12 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 5 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 4 messages to MQTT
INFO:BLEGateway:Sent 4 messages to MQTT
  
```

Fonte: Autor.

Figura 14 – Broker mqtt

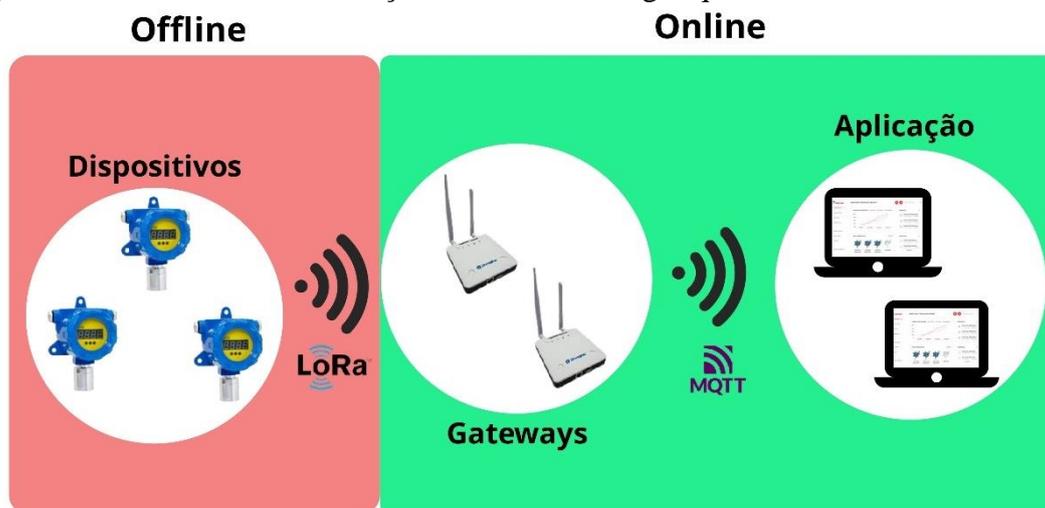


Fonte: Autor.

Conforme a Figura 13, o software do gateway coleta as informações do W6 Smart Beacon em forma de mensagens. Já o broker organiza as informações passadas pelo gateway para depois enviar o tópico mqtt do beacon (Figura 14). Por fim, os dados serão interpretados por um aplicativo que fará a pesquisa dentro do broker e ficará responsável pela apresentação das informações de forma visualmente melhor e capaz de interpretarmos de forma mais rápida e precisa.

Além disso, foi feito o mesmo teste, no entanto com utilização de dispositivo que se comunica via tecnologia LoRaWAN para verificar se os sinais vão chegar até o gateway instalado no notebook. Logo, o experimento foi realizado por 5 vezes com um dispositivo LoRaWAN pelo mesmo percurso e nas mesmas condições de trajeto do W6 Smart Beacon, para cada parâmetro onde se avaliou. O dispositivo disponibilizado foi medidor de atmosférica gasosa (medidor de gás) para espaços confinados. O fluxo dos dados do dispositivo está apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Percurso de informações do medidor de gás que se comunica via LoRaWAN



Fonte: Autor.

Avaliando a Figura 15, percebe-se que as únicas mudanças em relação ao fluxo do W6 são a comunicação via tecnologia LoRa entre o medidor de gás e o gateway e também que o gateway nessa condição é de fato um dispositivo separado que coleta os sinais e passa para o software que faz leitura dos dados em MQTT para transferir as informações para o aplicativo. Ao longo dos circuitos as informações foram inseridas em planilhas do Microsoft Excel.

Assim, para se analisar a viabilidade do dispositivo para auxiliar na supervisão de atividades em altura, foram desenvolvidos os seguintes testes e análises que estão comentadas a seguir.

3.2.1 Análise da Capacidade de Comunicação

O manual do W6 Smart Beacon explica que o dispositivo consegue se comunicar sem problemas em distâncias abertas de até 150 metros. No entanto, o documento não especifica até

qual distância com barreiras físicas (paredes e lajes) o dispositivo consegue se comunicar. Nos 7 artigos selecionados para desenvolver o processo experimental desta pesquisa (Quadro 03), não avaliada a capacidade de comunicação entre beacon e receptor em locais com barreiras físicas, dessa forma foi desenvolvido esse modelo de testes para avaliar a viabilidade do beacon em questão.

3.2.1.1 Posicionamento do transmissor

Para avaliar se a posição do W6 Smart Beacon iria afetar a comunicação com o gateway, foram realizados 10 circuitos experimentais em cada uma das 8 posições escolhidas para a pesquisa, sendo elas: no pescoço (em formato de colar), nos dois pulsos (direito e esquerdo), na cintura (frente, atrás, direita e esquerda) e no bolso da camisa, na altura do peito. Depois da leitura dos 7 artigos que serviram de base para desenvolver o processo experimental, foi visto que as posições na cintura e no pescoço foram as mais utilizadas. Isso justificou a escolha delas. Além disso, a opção pelas posições nos pulsos e no bolso da camisa se motivou pelo fato do W6 Smart Beacon ser utilizado como pulseira. As posições estão mostradas em detalhe no Apêndice 1. Conforme o Apêndice 1, foram 8 posições que se avaliou o desempenho do beacon na transmissão de informações.

3.2.1.2 Posicionamento do Receptor

No experimento, o computador com o programa Node-RED instalado foi colocado em uma das salas de um edifício presente no campus de engenharia da Universidade de Pernambuco. Esta sala é conhecida como a sala do LSHT e está localizada no primeiro andar do bloco K da Escola Politécnica de Pernambuco, conhecida como sala K8. Tal localização do equipamento se justificou pelo fato de a sala possuir acesso à internet, o que permitiu simular a situação de trabalho de um supervisor de atividades em altura instalado na sala de segurança do trabalho da empresa ou obra que trabalhe.

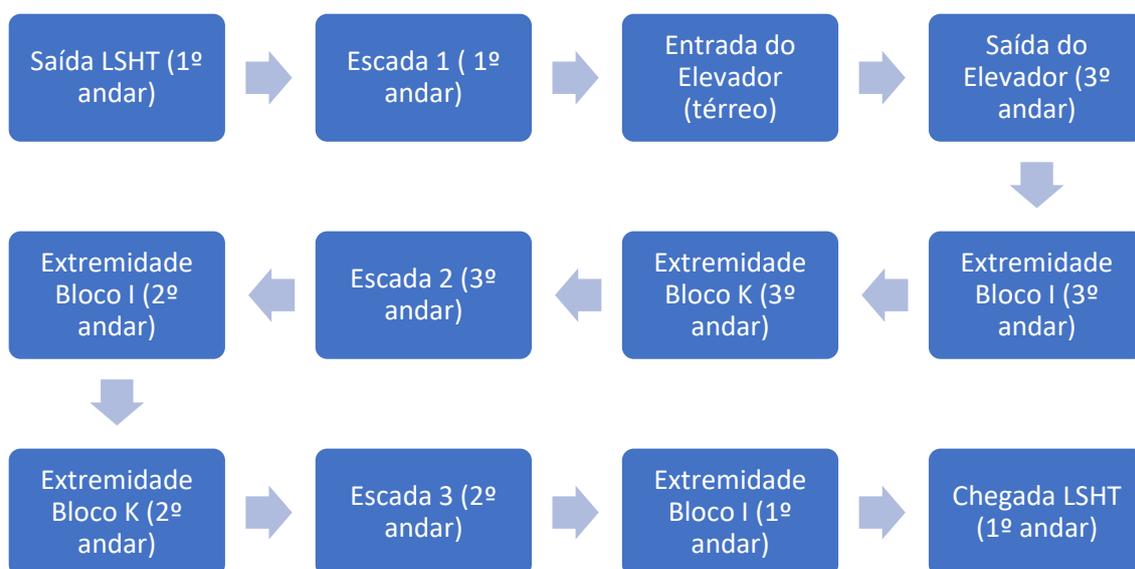
A comunicação entre a pessoa portadora do Beacon e a pessoa localizada na sala do LSHT foi feita via celular ou rádio de comunicação.

3.2.1.3 Percurso dos testes

Em relação ao monitoramento do local onde o trabalhador se encontra, assim como os trabalhos de YANG et al. (2016), CYMA-WEJCHENIG et al. (2020) e KHAN et al. (2022), para verificar a viabilidade do dispositivo, foi desenvolvida, nesta pesquisa, uma rota que fosse capaz de simular momentos presentes na rotina de um trabalhador envolvido em atividades em altura. Cada circuito de medição, deveria ter pelo menos 5 minutos de duração, conforme os métodos utilizados nos artigos utilizados como base para o processo experimental. Em todos os artigos analisados, foram avaliados dispositivos que se comunicavam via BLE, todavia nenhum deles verificou como seria o funcionamento de tais dispositivos no deslocamento para lugares mais distantes do computador ou gateway que receberia as informações. Além disso, não houve, em nenhum dos artigos selecionados, testes para saber se o sinal chegaria com o trabalhador estando em outros pavimentos ou se deslocando em escadas e elevadores.

Desta forma, foi desenvolvido o percurso no bloco I/K da Escola Politécnica de Pernambuco conforme se observa no Apêndice 2. A pessoa portando o W6 Smart Beacon saiu da sala do LSHT (K8) e se dirigiu até a escada para descer ao pavimento térreo do bloco, e em seguida, utilizar o elevador para subir até o último pavimento, ficando acima do andar onde se encontra o computador (gateway) que estivesse recebendo os dados do W6 Smart Beacon. Chegando ao terceiro pavimento do bloco, o pesquisador desce do elevador e foi até as extremidades dos dois blocos, sendo primeiramente, a do bloco I e, em seguida, a do bloco K. Feito isto, o pesquisador se dirigiu à escada e desceu para o próximo pavimento, repetindo o mesmo trajeto. Assim que desceu até o primeiro pavimento, onde se encontra a sala do LSHT, o pesquisador foi em direção à extremidade do Bloco I para, em seguida se dirigir de volta para a sala do LSHT e assim que chegou à porta, o circuito de medição era encerrado.

O Fluxograma do trajeto está resumido na Figura 16.

Figura 16 – Trajeto do procedimento experimental

Fonte: Autor.

Avaliando a Figura 16 e o Apêndice 2, nota-se que com o percurso foi verificar a capacidade de comunicação tanto em distâncias verticais quanto horizontais. No percurso foram simuladas situações envolvendo elevadores, escadas e as barreiras físicas representadas por lajes e paredes. O Quadro 4 representa em esquema as distâncias vertical e horizontal da posição em relação à sala do LSHT.

Quadro 4 – Descrição das distâncias nas 12 posições avaliadas na pesquisa

POSIÇÃO	PAVIMENTO	DISTÂNCIA	
		VERTICAL	HORIZONTAL
Saída LSHT	primeiro	0	0
Escada 1	primeiro	0	27
Entrada do Elevador	térreo	-3	32
Saída do Elevador	terceiro	6	32
Extremidade Bloco I	terceiro	6	50
Extremidade Bloco K	terceiro	6	6
Escada 2	terceiro	6	27
Extremidade Bloco I	segundo	3	50
Extremidade Bloco K	segundo	3	6
Escada 3	segundo	3	27
Extremidade Bloco I	primeiro	0	50
Chegada LSHT	primeiro	0	0

Fonte: Autor.

Avaliando o Quadro 4, a distância vertical no momento de entrada no elevador possui número negativo devido ao fato de estar em um pavimento abaixo da sala do LSHT. Desta forma, foi simulada uma atividade de rotina na qual um trabalhador da construção civil foi até a sala de segurança para estar apto para realizar a atividade e colocar o dispositivo de monitoramento. Esse trabalhador, em seguida, desceu ao encontro do elevador da obra para se deslocar até os andares mais altos. Na medida que foi realizando suas atividades, o trabalhador foi descendo os pavimentos, até retornar à sala onde pegou os equipamentos e os devolveu.

3.2.1.4 Coleta e organização dos dados

Tendo em vista que em cada posição, foram realizadas pelos menos 10 circuitos de testes por cada pessoa envolvida no experimento, de um total de 2 pessoas. Para cada pessoa houve 80 observações de dados, totalizando 160 circuitos de informações.

Na planilha da base dados, foram inseridos os dados de entrada (Nome, peso, altura, idade, gênero, duração do circuito, posição do beacon) e ao final, foi preenchido se naquela posição o sinal do beacon conseguia chegar até o gateway. No momento que a pessoa portadora do beacon chegou em cada posição, ela entrou em contato via celular com a pessoa no computador para verificar se o beacon estava conseguindo se comunicar com o gateway.

Quando a pessoa chegava na posição ela perguntava aquele que estava no computador como estava a comunicação. A partir daí, se avaliavam os seguintes parâmetros:

- Distância percorrida pelo sinal (gateway e broker, apenas gateway ou sem sinal);
- Força do sinal (forte ou fraca); e
- Nível de oscilação (sem oscilação, com oscilação ou com muita oscilação).

Todas essas informações foram preenchidas conforme modelo apresentado no Apêndice 3.

Em cada circuito era verificada a posição do beacon e a questão da comunicação entre o beacon e o receptor nas 12 localizações onde se posicionava a pessoa utilizando o W6 Smart Beacon. Desta forma foi possível verificar não só se a posição do beacon, mas também como a localização do portador do dispositivo afetou na capacidade de comunicação entre transmissor e receptor. Assim, foi possível constatar quais são as limitações em relação a barreiras físicas, tendo em vista que tanto no manual do equipamento quanto nos artigos analisados só foi feita a análise em áreas abertas.

3.2.1.5 Análise de Interferência devido a Ondas de Rádio

Conforme a NR-35 (BRASIL, 2022), o supervisor das atividades em altura deve passar orientações constantemente aos trabalhadores envolvidos nas atividades em altura. Sendo assim, a comunicação é um fator importante para uma supervisão eficiente. No entanto, muitas das vezes a comunicação precisa ser feita via rádio, devido às grandes distâncias (CYMA-WEJCHENIG et al., 2020).

Em obras e atividades envolvendo construção é comum encontrar os profissionais se comunicando via rádios. O rádio é utilizado como ferramenta para que as orientações e

demandas sejam passadas para todas as pessoas envolvidas. Por isso, surgiu a curiosidade de investigar se o rádio gera interferência na capacidade de comunicação entre o W6 Smart Beacon e o receptor.

Sendo assim, foi realizado o teste para verificar se pode haver interferência na emissão de sinais do beacon com o dispositivo de comunicação sem fio (rádio), no processo de ficar passando as informações e se comunicando com o gateway. Para verificar essa informação, foi realizado o mesmo trajeto do experimento com a comunicação via celular, contudo, dessa vez a comunicação entre a pessoa portando o beacon e quem estava em frente ao computador se deu via rádio de comunicação posicionado em 5 posições diferentes (Figura 17).

Figura 17 – Posições do rádio de comunicação



Fonte: Autor.

Como ilustrado na Figura 17, o modelo de rádio utilizado foi o Baofeng BF-777S e as 5 posições do rádio foram: mão direita, mão esquerda, na direita da cintura, na esquerda da cintura e no pescoço. Ao longo do circuito, a comunicação entre a pessoa realizando o trajeto e quem estivesse no computador foi realizada por meio de rádio. Foram mantidos os 10 circuitos para

cada posição do beacon, sendo assim, o rádio ficou em contato com cada uma das 8 posições do beacon por 2 vezes.

Nesse experimento foram coletadas as mesmas informações que no da análise da capacidade de comunicação, a única diferença foi a verificação da posição do rádio no circuito. Sendo assim, a planilha nessa situação está apresentada no Apêndice 4.

Nota-se que a única diferença em relação ao modelo anterior é a inserção da coluna com a informação sobre a posição do rádio durante aquele circuito. Os demais componentes da planilha são os mesmos que o ensaio da análise da capacidade de comunicação. Também nesse experimento, foi avaliada a comunicação com o dispositivo LoRaWAN junto com o rádio de comunicação.

3.2.1.6 Análise de Interferência devido a Aparelhos conectados via Wi-fi

O manual do W6 Smart Beacon explica que, estando o dispositivo receptor ou o beacon próximos de outros equipamentos que se comuniquem com frequência de 2,4GHz, pode haver interferências na comunicação. Isso se justifica pelo fato do valor da frequência ser o mesmo da que os dispositivos conectados via wi-fi utilizam para se comunicar, e o receptor precisa estar conectado a uma rede de internet para receber e processar as informações do beacon.

Com esta situação, tendo em vista que ondas de frequência de rádio são muito inferiores ao valor de 2,4 GHz, pois só chegam a ficar na escala de Hz. Assim, a tendência é que os rádios utilizados na pesquisa interfiram menos do que a presença de aparelhos conectados via wi-fi.

Dessa maneira, foram selecionados os 40 circuitos de testes ao longo do percurso onde o local do receptor estava com duas impressoras e dois celulares conectados com a rede wi-fi. Em seguida, foram escolhidos os 40 circuitos de testes onde foi possível manter desligadas todas as impressoras da sala do LSHT e sem a presença de celulares conectados via wi-fi.

Em relação aos dispositivos conectados a redes wi-fi ou outros dispositivos BLE como smartwatches, não foi sempre que se ficou afastado. Isso porque, o local onde foram feitos os

experimentos era uma faculdade, de modo que o fluxo de alunos, professores, funcionários do local e até mesmo prestadores de serviço era muito grande. Assim, não foram em todos os horários em que foi possível fazer essa análise.

3.2.2 Análise de Monitoramento de Equilíbrio

Como foi visto na RSL, muitos estudos se preocuparam em monitorar situações de perda de equilíbrio dos trabalhadores Habibnezhad et al. (2021), Yang et al. (2016), Umer et al. (2018), Lee et al. (2022) e Khan et al. (2022). Para isso os estudos simulavam situações em que o trabalhador sofresse uma quase queda, considerada uma perda de equilíbrio para qualquer direção (frente, atrás, direita ou esquerda). Nessa situação foi desenvolvido um processo de testes para identificar como o dispositivo de monitoramento iria reagir com essas circunstâncias. Nesses estudos, o trabalhador intercalava entre situações de estabilidade como caminhadas ou ficar parado, e situações sem estar com estabilidade garantida como andar em cima de superfícies estreitas ou então simular perdas de equilíbrio com exercícios de isometria.

Sendo assim, o objetivo desta parte do estudo foi verificar a viabilidade do equipamento avaliado a fim de identificar a ocorrência de uma perda de equilíbrio e emitir um alerta à pessoa responsável por supervisionar a atividade.

3.2.2.1 Posicionamento do transmissor

Assim como os ensaios para avaliar a capacidade de comunicação, foram feitos 10 circuitos para cada uma das 8 posições do Beacon. Dessa forma, avaliou-se se houve diferença na leitura e informações sobre perdas de equilíbrio devido ao posicionamento do Beacon.

3.2.2.2 Posicionamento do Receptor

Como um dos objetivos da dissertação foi verificar o monitoramento e identificação de perdas de equilíbrio, o computador responsável pela coleta e interpretação dos dados se situou no mesmo ambiente em que a pessoa usando o Beacon estava, isto é, na sala do LSHT. Isso facilitou a comunicação entre as duas pessoas envolvidas no experimento e também a avaliação

em relação ao comportamento e as mudanças que ocorreram nos valores a cada mudança de posição.

3.2.2.3 Percurso dos testes

Neste experimento, em vez de um deslocamento, a pessoa que estava utilizando o Beacon ficou parada simulando 7 situações, que estão indicadas na Figura 18.

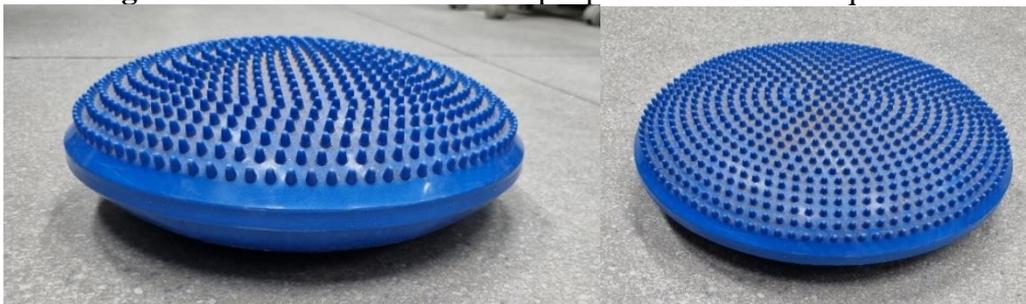
Figura 18 – Situações do experimento



Fonte: Autor.

Como pode ser visto na Figura 18, foi utilizada uma almofada de fisioterapia para exercícios de equilíbrio (Figura 19).

Figura 19 – Almofada de fisioterapia para exercícios de equilíbrio



Fonte: Autor.

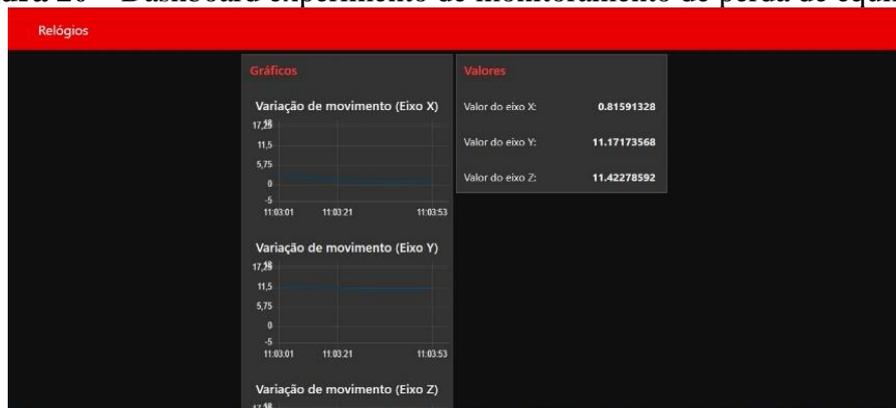
A almofada da Figura 19 foi utilizada com o intuito de tornar os dados o mais próximo possível de uma real situação de perda de equilíbrio.

A escolha das posições do usuário do Beacon se justificou pela necessidade de avaliar as situações que possam nos induzir a achar que a pessoa sendo avaliada teve uma perda de equilíbrio, mas, na verdade só se abaixou ou ficou agachado. Em cada uma das 7 posições, quem estava utilizando o Beacon teve que permanecer parado durante 10 segundos, pois foi o tempo programado no sistema operacional do dispositivo para a emissão de informações e para dar tempo para o equipamento se familiarizar com a nova posição.

3.2.2.4 Coleta e organização dos dados

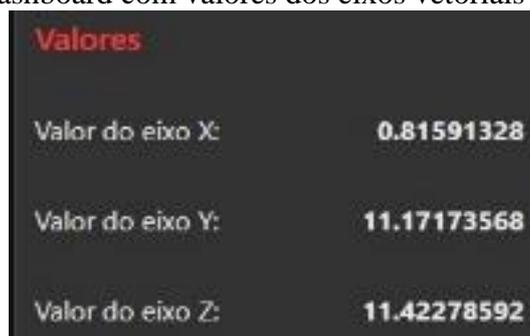
Esse experimento ocorreu em dois momentos. Primeiramente, foram feitas as coletas dos valores de cada eixo nas posições indicadas anteriormente. A partir das informações obtidas, foram estabelecidos quais são os valores que indicam uma perda de equilíbrio para que fossem definidas as condições de alerta para uma quase queda.

Para este experimento, foi projetado um dashboard (Figura 20) que carregou as informações dos valores dos eixos vetoriais do acelerômetro do W6 Smart Beacon.

Figura 20 – Dashboard experimento de monitoramento de perda de equilíbrio

Fonte: Autor.

A partir do dashboard apresentado na figura, os valores nos eixos X, Y e Z (Figura 21) eram coletados e inseridos na planilha de base de dados (Figura 22).

Figura 21 – Dashboard com valores dos eixos vetoriais do acelerômetro

Fonte: Autor.

Figura 22 – Banco de dados do experimento

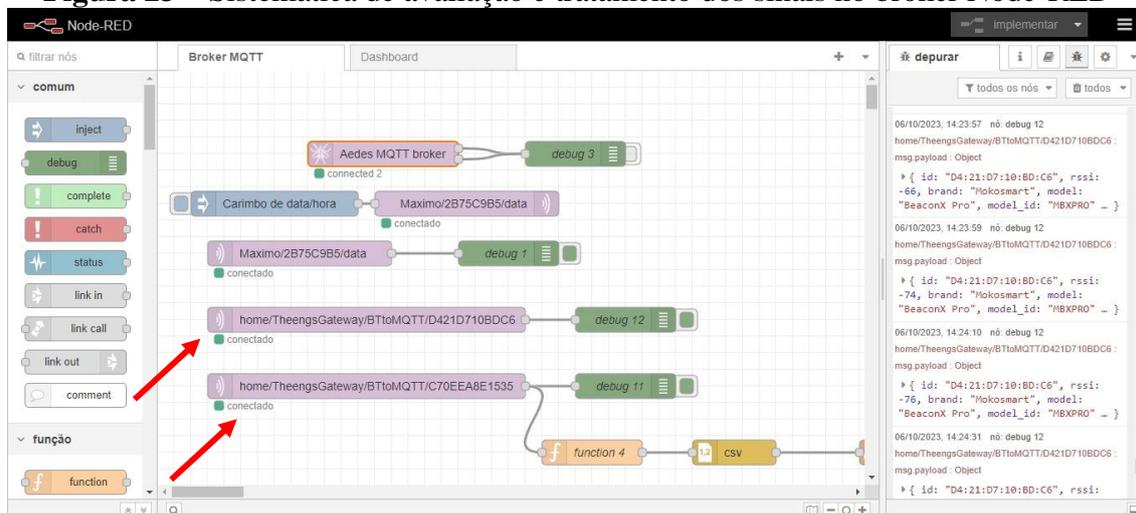
AMOSTRA	DATA	NOME	PESO	ALTURA	IDADE	GÊNERO	POSIÇÃO DO BEACON	RODADA	POSTURA CORPORAL	EIXOS		
										X	Y	Z
1	08/11/2023	Roberto	86	170	25	Masculino	Pulso direito	1	Estável	-1,63	15,25	1,75
								2	Para direita	-2,57	15,19	-1,44
								3	Para esquerda	-2,38	15,31	0
								4	Para frente	1,69	14,18	5,84
								5	Para trás	-3,39	15,06	-0,19
								6	Pegando algo do chão	-0,75	14,43	-4,71
								7	Agachado	-4,77	14,56	-0,56

Fonte: Autor.

Depois de finalizados todos os testes, foi analisado o valor médio de cada eixo no momento de uma perda de equilíbrio em cada uma das 8 posições onde ficou o beacon. Com isso, esses valores foram colocados no broker como valores de disparo. No momento de inserir os valores médios no sistema do broker (Figura 23), foi considerada uma margem de 10% tanto para mais

quanto para menos, com o objetivo de conseguir contemplar ao máximo as situações de perda de equilíbrio.

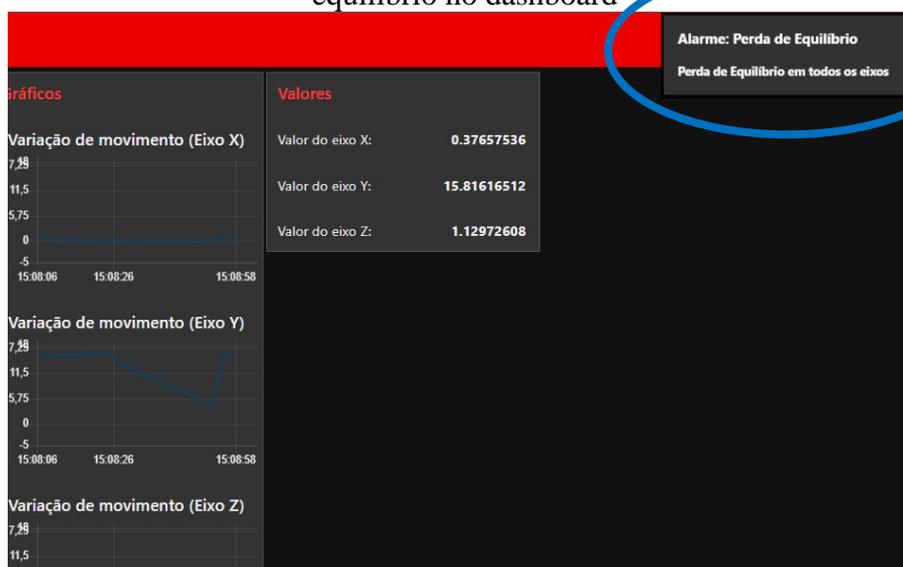
Figura 23 – Sistemática de avaliação e tratamento dos sinais no broker Node-RED



Fonte: Autor.

Os locais onde se inseriram as informações dos valores de disparo para avisar de situações de perda de equilíbrio (Figura 24) estão indicados pelas setas vermelhas.

Figura 24 – Forma de aparecimento da mensagem de alarme em situação de perda de equilíbrio no dashboard



Fonte: Autor.

Dessa forma, foi avaliado se tanto o dispositivo quanto o broker conseguiram emitir informação ao supervisor da atividade em tempo hábil de tomar contramedidas.

Portanto, na segunda parte, foi verificado nas mesmas 7 situações em cada um dos 10 circuitos experimentais nas 8 posições do beacon, se houve a emissão do alerta e se ela se deu de forma imediata, conforme a Figura 25.

Figura 25 – Planilha de dados

AMOSTRA	DATA	NOME	PESO	ALTURA	IDADE	GÊNERO	POSIÇÃO DO BEACON	RODADA	POSTURA CORPORAL	EIXOS			TEMPO DE RETORNO	DISPOSITIVO DISPAROU
										X	Y	Z		
1	08/11/2023	Roberto	86	170	25	Masculino	Pulso direito	1	Estável	-1,63	15,25	1,75	-	NÃO
								2	Para direita	-2,57	15,19	-1,44	IMEDIATO	SIM
								3	Para esquerda	-2,38	15,31	0	IMEDIATO	SIM
								4	Para frente	1,69	14,18	5,84	IMEDIATO	SIM
								5	Para trás	-3,39	15,06	-0,19	IMEDIATO	SIM
								6	Pegando algo do chão	-0,75	14,43	-4,71	-	NÃO
								7	Agachado	-4,77	14,56	-0,56	-	NÃO

Fonte: Autor.

Assim, foi avaliado se o beacon diferenciou uma situação de perda de equilíbrio de uma situação de pegar algo do chão ou se abaixar.

3.3 Tratamento Estatístico

Como foi visto, cada experimento contou com pelo menos 80 dados para cada pessoa que participou do experimento, comportando uma grande gama de amostras. Desse modo, foram utilizadas ferramentas estatísticas para analisar a influência de cada informação coletada, no funcionamento do Beacon.

Para realizar o tratamento estatístico, foi utilizado o software IBM SPSS Statistics. Trata-se de um software que permite extrair insights de dados de forma fácil e rápida, com recursos avançados de análise estatística e modelagem de dados. A escolha desse software nesta pesquisa se justificou pela velocidade rápida no tratamento dos dados. Sendo assim, todos os dados foram colocados no software para depois seguirem para a parte dos testes estatísticos propriamente ditos, momento no qual se avaliou a influência dos parâmetros estudados.

3.3.1 Testes de Normalidade

No próprio programa, existe a ferramenta de análise da normalidade dos dados de forma automática, em que o software faz a avaliação dos dados já indicando os testes com as melhores metodologias a serem aplicadas e gerando de modo automático os resultados em modelos de relatórios diretamente, conforme a Figura 26.

Figura 26 – Quadro gerado no teste de normalidade no IBM SPSS

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Receptor	,464	1920	<,001	,561	1920	<,001
Sinal	,306	1920	<,001	,784	1920	<,001
Oscilação	,266	1920	<,001	,814	1920	<,001

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Fonte: Autor.

Segundo a Figura 26, nos quadros gerados já é apresentado o tipo de teste que foi realizado e os valores estatísticos importantes na avaliação para saber se os dados são normais ou não. Para cada avaliação sobre a influência que seria realizada para cada parâmetro, era feito um teste de normalidade e gerado um quadro como o apresentado na Figura 26. Com os quadros, era avaliado os valores da coluna “Sig.”. A partir da análise do quadro, observa-se que se o valor fosse maior ou igual a 0,05 (indicando a confiabilidade de 95%), os dados deveriam ser considerados normais. Caso contrário, a situação abrangeria dados não normais. Caso os dados fossem normais, seriam utilizados testes paramétricos no momento de avaliação de influência dos critérios. Já se fossem não normais, seriam utilizados os testes não-paramétricos.

3.3.2 Testes de Hipótese

Após a realização dos testes de verificação de normalidade no software IBM SPSS Statistics, foi feita a análise dos dados de acordo com a seleção do tipo de teste (paramétrico ou não-paramétrico) de acordo com o resultado dos testes de normalidade dos dados em questão. No software, se colocou o tipo de testes e era solicitado para fazer uma análise da distribuição dos dados selecionados.

Assim como nos testes de normalidade, o programa identificou o melhor tipo de teste a ser feito pela leitura dos dados. O resultado obtido foram quadros conforme o Quadro 5.

Quadro 5 – Resultado dos testes de hipótese

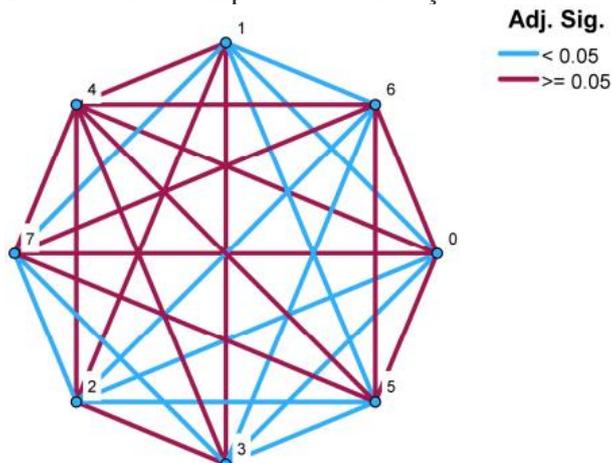
	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Receptor é diferente na categoria Biotipo	1.000	Aceitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Sinal é diferente na categoria Biotipo	<,001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Oscilação é diferente na categoria Biotipo	<,001	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

Conforme a Quadro 5, o programa avisava o tipo de teste de hipótese que se trata a análise. Além disso, o IBM SPSS já indica quais são as hipóteses a serem avaliadas pela leitura dos dados na coluna intitulada “Hipótese nula”. Assim como nos testes de normalidade, a coluna “Sig.” que indicou se a hipótese nula é válida ou não. Diferente do teste de normalidade, nos testes de hipótese do programa, já há a conclusão a ser tomada pelo valor de significância, indicada na coluna “Decisão”. Da mesma forma como acontece no teste de normalidade, o nível de significância corresponde a 0,050. Sendo assim, se o valor for igual ou superior a hipótese nula é aceita e o programa indica para “aceitar”. Caso contrário, a hipótese nula é rejeitada e a hipótese alternativa deve ser considerada.

Em cada experimento, os dados analisados primeiramente passaram por testes de normalidade para depois serem feitos os testes de hipóteses adequados para se concluir o poder de interferência dos parâmetros que foram estudados. Além dos testes de hipótese, o software utilizado também compara as variáveis dependentes de cada análise realizada.

Além dos gráficos com barras para situações com menos variáveis, o software IBM SPSS também gera gráficos que comparam as relações entre as variáveis utilizando o mesmo parâmetro que os testes de hipótese, o nível de significância. Um exemplo de gráfico está indicado na Figura 27.

Figura 27 – Gráfico comparando as relações entre as variáveis

Fonte: Autor.

Conforme a Figura 27, o software enumera as variáveis a partir do número 1, com a última da lista sendo designada como número 0. A partir de cada variável, estende-se uma linha conectando-a a todas as outras variáveis do parâmetro avaliado. Quando as variáveis comparadas exibem comportamento semelhante, o nível de significância entre elas é igual ou superior a 0,05, e a linha que as conecta é colorida de uma maneira. No entanto, se as variáveis demonstrarem comportamento divergente em relação ao parâmetro, com um valor de significância inferior a 0,05, a linha que as une será de uma cor diferente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor entendimento, os dados coletados foram divididos de acordo com os dois experimentos realizados: Análise de capacidade de Comunicação e Análise do Monitoramento de Equilíbrio.

Cada parâmetro teve suas particularidades ao longo de sua análise. Sendo assim, cada análise foi separada em seções para melhor interpretação das informações coletadas.

4.1 Capacidade de Comunicação

Segundo o manual do W6 Smart Beacon, o dispositivo consegue se comunicar em distâncias de até 150 metros em áreas livres, mas há lacunas em relação às situações com barreiras físicas. Portanto, o primeiro experimento visava à análise de como seria a capacidade de comunicação do beacon com o dispositivo no qual estavam instalados gateway e broker. Neste experimento, cada participante realizou 160 circuitos de testes. Metade delas foi feita com a comunicação com a pessoa por meio de acompanhamento pelo computador, sem utilizar rádio, e a outra metade se comunicando por meio do rádio. Além disso, cada participante realizou 5 circuitos com o dispositivo LoRAWAN, totalizando 10 circuitos de testes. Em todos os casos, foi feito o mesmo percurso de testes e os dados foram coletados para identificar possíveis interferências na comunicação entre o Beacon e o Receptor.

Em relação aos testes com os dispositivos LoRAWAN, representados pelo detector de gases e com um gateway próprio sem um programa instalado em computador (testes com o W6 Smart Beacon), em 100% dos casos foram obtidos os melhores resultados possíveis. Isso significa que as informações chegaram ao broker, com sinal forte e sem oscilação. Este resultado comprova a alta capacidade dos dispositivos LoRAWAN em relação ao alcance e à capacidade de superar interferências externas e barreiras físicas (LEE et al., 2022 e CYMA-WEJCHENIG et al., 2020).

Os demais dados consistentes em todas as situações referem-se aos momentos em que os usuários do beacon acessavam o terceiro pavimento através do elevador. Em todos esses

momentos, o beacon conseguiu estabelecer comunicação com o receptor. No entanto, as informações eram transmitidas apenas até o gateway com alguma oscilação.

Sendo assim, os demais resultados foram os que apresentaram comportamento diferente e foram alocados para passar pelos testes de hipótese. Seguindo a ordem das etapas do tratamento estatístico, primeiramente verificou-se se os dados coletados eram normais ou não.

Figura 28 – Resultados do teste de normalidade

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
Receptor	,464	1920	<,001	,561	1920	<,001
Sinal	,306	1920	<,001	,784	1920	<,001
Oscilação	,266	1920	<,001	,814	1920	<,001

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Fonte: Autor.

Analisando os valores das colunas do nível de significância, observa-se que todos os valores foram inferiores a 0,050. Isso significa que os dados não são normais. Já em relação aos resultados encontrados, ao realizar a comunicação via rádio, obteve-se o seguinte cenário (Figura 29).

Figura 29 – Resultados do teste de normalidade com uso de rádio

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
ReceptorRádio	,461	1920	<,001	,568	1920	<,001
SinalRádio	,314	1920	<,001	,774	1920	<,001
OscilaçãoRádio	,231	1920	<,001	,814	1920	<,001

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Fonte: Autor.

Assim como no teste de normalidade sem a presença da comunicação via rádio, a Figura 29 revela que os dados também não se configuram como normais. Desse modo, ambas as situações implicaram no uso de testes não-paramétricos para realizar os testes de hipótese.

Os resultados dos testes de hipótese para a avaliação da influência de cada parâmetro serão apresentados nos tópicos a seguir.

4.1.1 Análise de Gênero e Biotipo

Durante o experimento para verificar a capacidade de comunicação, um dos primeiros parâmetros que se considerou para avaliar se haveria interferência em relação aos diferentes biotipos das duas pessoas envolvidas na pesquisa.

Sendo assim, foram analisados os dados coletados referentes até onde o beacon conseguiu se comunicar com o receptor, a força do sinal e o nível de oscilação avaliando a influência do biotipo dos portadores do beacon. Os resultados encontrados quanto a comunicação sem rádio e com rádio estão apresentadas a seguir, respectivamente.

Quadro 6 – Resultados do teste de hipótese para análise de biotipo sem uso de rádio

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Receptor é diferente na categoria Biotipo	1.000	Aceitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Sinal é diferente na categoria Biotipo	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Oscilação é diferente na categoria Biotipo	<.001	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

Ao analisar o Quadro 6, as conclusões são:

1. O alcance dos sinais no receptor foi o mesmo para todos os biotipos, sem interferência;
2. A força do sinal variou, sugerindo que o biotipo pode ter interferido;
3. O nível de oscilação sofreu variação, mostrando que o biotipo interferiu.

Quadro 7 – Resultados do teste de hipótese para análise de biotipo com uso de rádio

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Receptor é diferente na categoria Biotipo	.825	Aceitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Sinal é diferente na categoria Biotipo	.044	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação é igual na categoria Biotipo	A distribuição de Oscilação é diferente na categoria Biotipo	.323	Aceitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

Ao analisar o Quadro 7, conclui-se que:

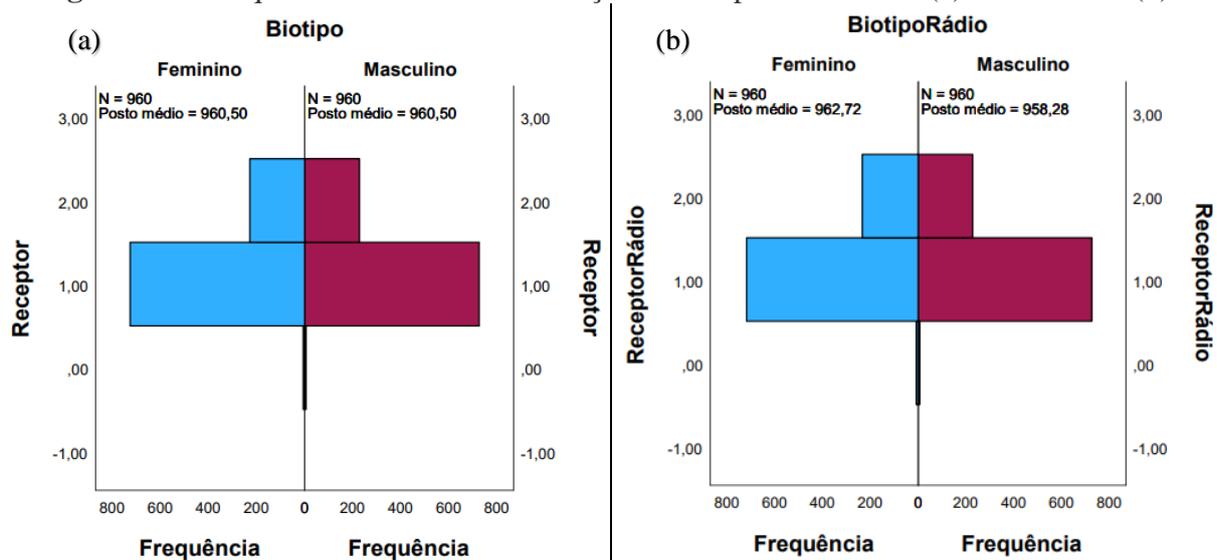
1. O alcance dos sinais no receptor foi igual para todos os biotipos, sem interferência.
2. A força do sinal variou, sugerindo possível interferência do biotipo.
3. O nível de oscilação foi constante, indicando que o biotipo não influenciou.

De acordo com as Figuras 39 e 40, nota-se que houve hipóteses nulas rejeitadas, indicando possível interferência do biotipo das pessoas envolvidas. Tal fato pode ser justificado pela quantidade de líquidos no corpo ou a circunferência de quadril dos pulsos nas respectivas posições de cintura e nos braços do beacon.

Analisando em conjunto as conclusões das Figuras 39 e 40, a única diferença que se observa diz respeito ao nível de oscilação. Portanto, o comportamento dos resultados não sofreu grande interferência devido ao uso do rádio, tendo apresentado apenas a diferença em relação ao nível de oscilação nas conclusões dos testes de hipótese.

Para melhorar a visão sobre a frequência dos valores que foram atingidos em relação à trajetória da comunicação no receptor, força do sinal e nível de oscilação estão apresentados nas Figuras 30, 31 e 32 (respectivamente). Nas mesmas, é mostrado o comparativo dos gráficos de barra comparando o cenário sem rádio e com o rádio.

Figura 30 – Frequência de valores em relação ao receptor sem rádio (a) x com rádio (b)

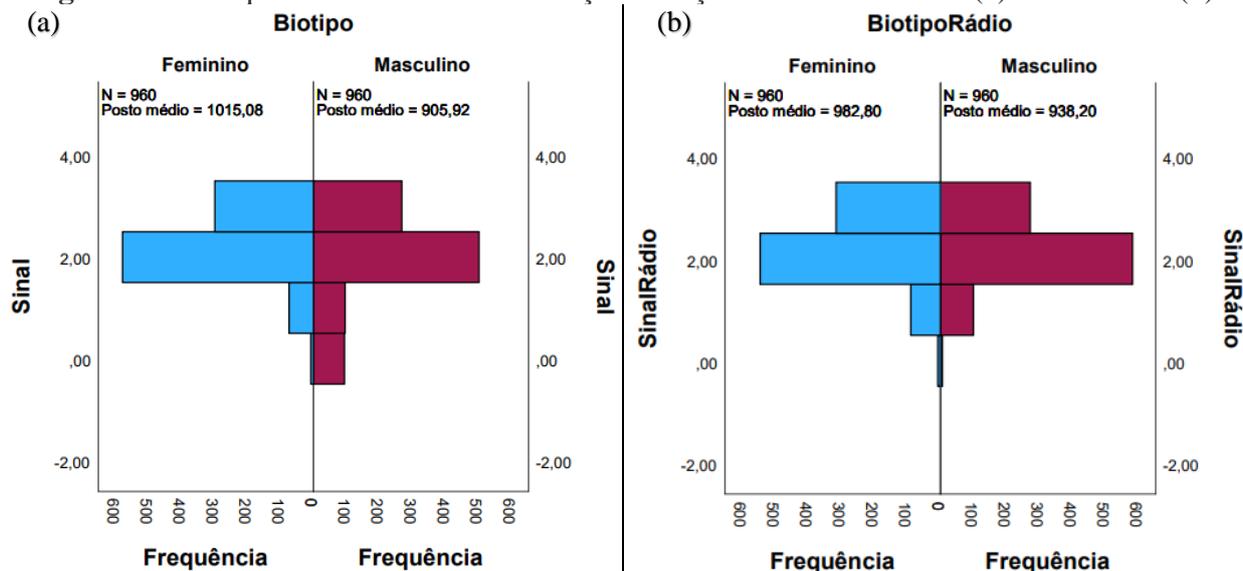


Fonte: Autor.

Avaliando os gráficos da figura 41, nota-se a semelhança na distribuição dos dados do receptor tanto no cenário sem rádio (a) quanto com rádio (b). Tal fato justifica o motivo da hipótese nula ter sido considerada e indicando que o biotipo não gerou influência quanto à trajetória da informação no receptor.

Já no que se refere à força do sinal, tem-se o seguinte cenário.

Figura 31 – Frequência de valores em relação à força do sinal sem rádio (a) x com rádio (b)

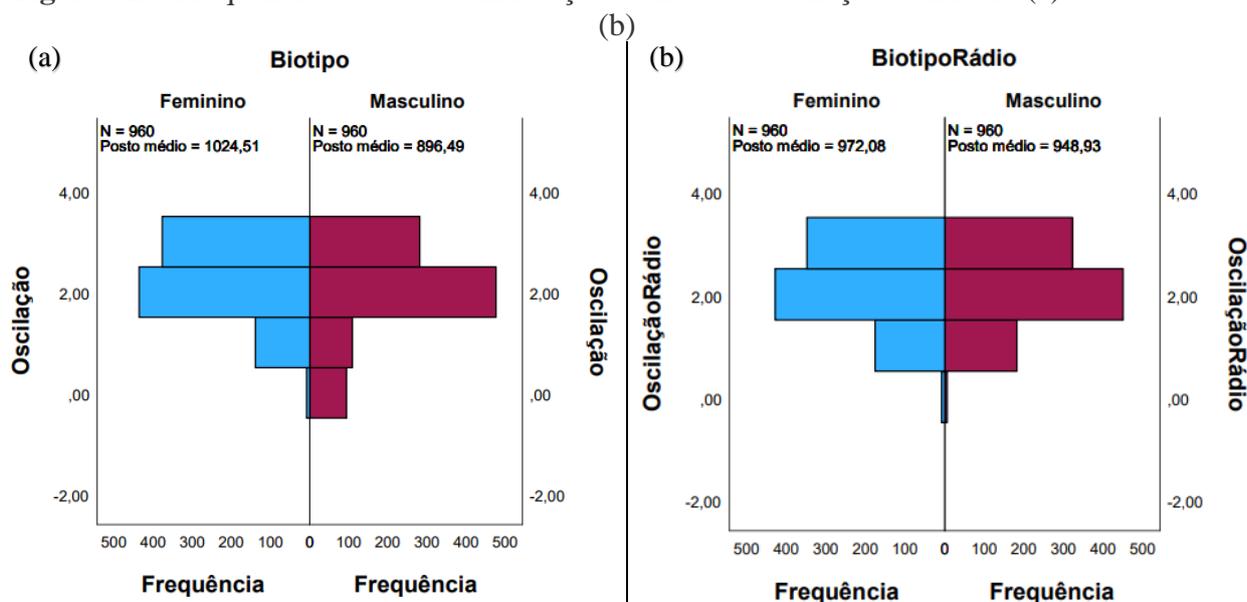


Fonte: Autor.

Conforme foi visto nas conclusões dos testes de hipótese, os gráficos indicam diferenças na distribuição de frequência dos valores. Em ambos os casos, verifica-se que, no portador feminino foram obtidos níveis maiores de força em mais situações do que com o portador masculino, sendo até mais evidente a diferença no cenário sem o rádio (a). Isso justifica o motivo de em ambos os casos a hipótese nula ser rejeitada e o valor de significância sem o rádio ($<0,001$), ter sido menor que o com o rádio (0,044).

Por fim, a Figura 32 indica o cenário em relação ao nível de oscilação.

Figura 32 – Frequência de valores em relação ao nível de oscilação sem rádio (a) x com rádio



Fonte: Autor.

Observando a Figura 32, nota-se a diferença na distribuição sem o rádio (a) e a semelhança no cenário com o rádio (b). Tal fato reitera novamente o motivo da hipótese nula ter sido rejeitada sem o rádio e aceita com o rádio. Novamente, foi identificado que com o portador do gênero feminino foram alcançados melhores níveis de oscilação do que com o masculino no cenário onde a hipótese nula foi rejeitada. É possível inferir que pessoas com menos peso geram menos interferência na força do sinal devido ao menor contato entre pele e gordura com o sensor do W6 Smart Beacon. Por esse motivo, o nível da força do portador feminino teve melhor desempenho.

Sendo assim, com base nos valores de significância e avaliando os gráficos da distribuição de frequência, é possível constatar que o rádio não teve grande interferência nos resultados. O que se justifica pelos gráficos dos cenários com o rádio terem sido muito parecidos no comparativo masculino x feminino. Até mesmo no dado que indica a força do sinal, que apresentou o resultado de rejeitar a hipótese nula, mas o valor de significância (0,044) ficou muito próximo de 0,050.

4.1.2 Análise de Posição do Beacon

Feita a análise comparativa dos biotipos dos pesquisadores envolvidos, verificou-se, em seguida, se a posição onde o beacon estava poderia interferir nos resultados. Assim como na investigação quanto ao biotipo, foram utilizados testes não-paramétricos para a avaliação dos testes de hipótese (Quadros 8 e 9).

Quadro 8 – Resultados do teste de hipótese para análise de posição do beacon sem uso de rádio

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor é igual na categoria Posição do Beacon	A distribuição de Receptor é diferente na categoria Posição do Beacon	.718	Aceitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal é igual na categoria Posição do Beacon	A distribuição de Sinal é diferente na categoria Posição do Beacon	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação é igual na categoria Posição do Beacon	A distribuição de Oscilação é diferente na categoria Posição do Beacon	<.001	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

Ao analisar o Quadro 8, as conclusões são:

1. A trajetória dos sinais no receptor foi a mesma, mostrando que a posição do beacon não teve impacto.
2. A força do sinal variou, sugerindo interferência devido à posição do beacon.
3. O nível de oscilação foi variado, indicando interferência causada pela posição do beacon.

Quadro 9 – Resultados do teste de hipótese para análise de posição do beacon com uso de rádio

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor é igual na categoria Posição do Beacon/Rádio	A distribuição de Receptor é diferente na categoria Posição do Beacon/Rádio	.411	Aceitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal é igual na categoria Posição do Beacon/Rádio	A distribuição de Sinal é diferente na categoria Posição do Beacon/Rádio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação é igual na categoria Posição do Beacon/Rádio	A distribuição de Oscilação é diferente na categoria Posição do Beacon/Rádio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

Ao analisar o Quadro 9, as conclusões são:

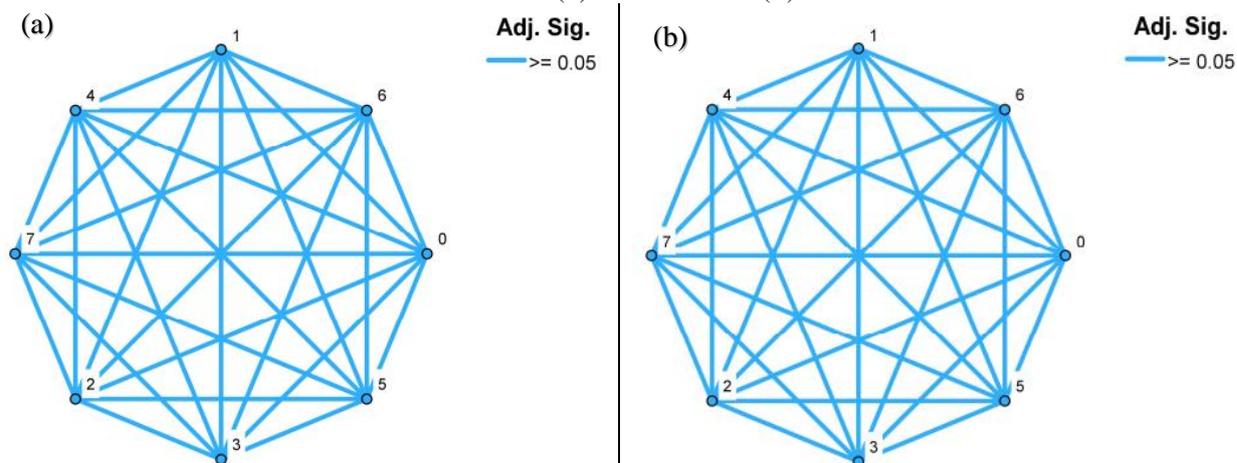
1. O alcance dos sinais no receptor foi o mesmo, mostrando que a posição do beacon não interferiu.
2. A força do sinal variou, sugerindo possível interferência pela posição do beacon.
3. O nível de oscilação foi diferente, indicando interferência causada pela posição do beacon.

A posição do corpo onde se coloca um beacon pode interferir na capacidade de comunicação devido à obstrução do sinal de rádio entre o beacon e os dispositivos receptores. Colocar o beacon em áreas onde o corpo humano atua como um obstáculo físico, como dentro de um bolso ou próximo a materiais densos, como metal presente em cintos, pode reduzir significativamente a eficácia do sinal. Isso resulta em uma comunicação instável ou até mesmo na perda total do sinal, comprometendo a precisão e confiabilidade do sistema de localização. Assim, a escolha adequada da posição do beacon é essencial para garantir uma comunicação eficaz em ambientes diversos e maximizar a segurança e eficiência das operações.

Tendo em vista que o parâmetro “posição do beacon” possui 8 variáveis (pulso direito, pulso esquerdo, bolso da camisa, pescoço/colar, cintura frente, cintura atrás, cintura direita e cintura esquerda), o software compara os dados por meio do Método Pairwise. Tal método consiste em comparar pares de variáveis e permitir verificar a existência de interrelação entre as variáveis. Sendo assim, foi elaborada uma tabela onde são feitas todas as comparações possíveis, conforme os Apêndices 5 e 6. Analisando os Apêndices 5 e 6, percebe-se que em todas as comparações o nível de significância ajustado foi superior a 0,050, justificando as hipóteses nulas terem sido aceitas e indicando que de fato a posição do beacon não interfere na trajetória do sinal enviado do beacon para o receptor.

Para melhorar a visualização entre as relações de comportamento das variáveis, o software também gera gráficos no modelo dos apresentados na Figura 33.

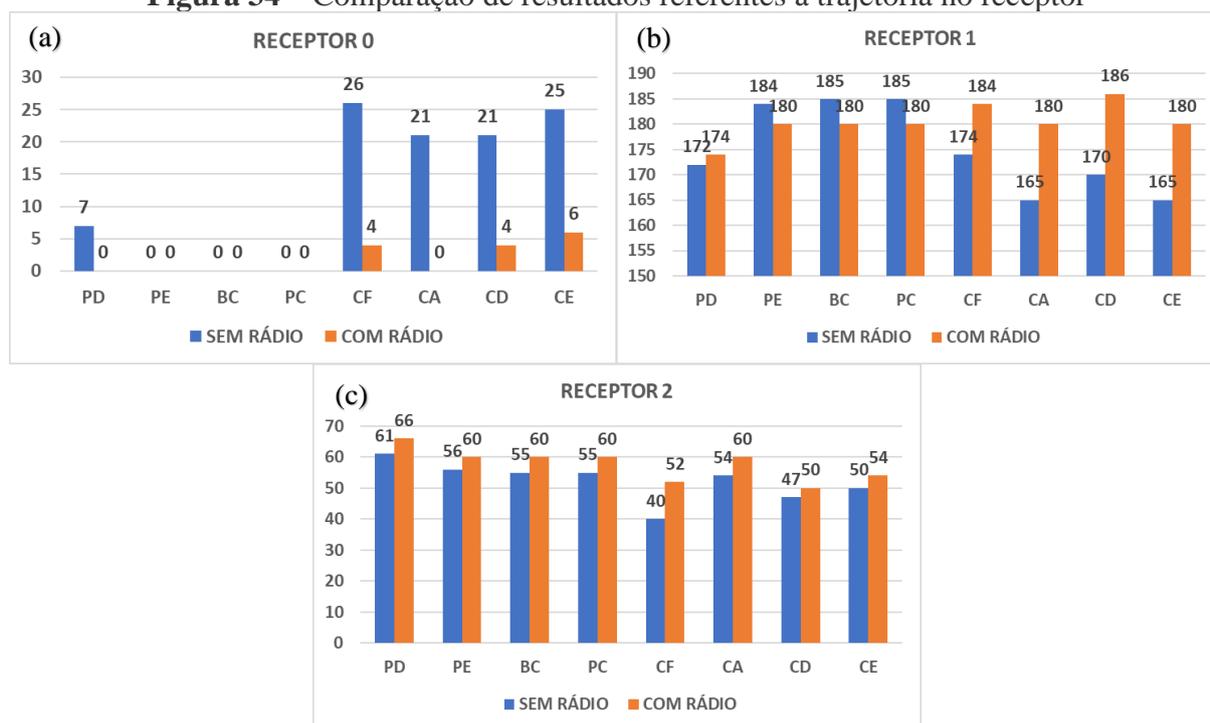
Figura 33 – Comparações de Pairwise em relação à trajetória da comunicação no receptor sem rádio (a) x com rádio (b)



Legenda: 1 – Pulso direito; 2 – Pulso esquerdo; 3 – Pescoço/colar; 4 – Bolso camisa; 5 – Cintura frente; 6 – Cintura atrás; 7 – Cintura direita e 0 – Cintura esquerda.

Fonte: Autor.

Ao examinar a Figura 33, percebe-se que a posição do beacon não influencia a trajetória das informações enviadas ao receptor. Isso é evidenciado pelo fato de todas as linhas de conexão entre as variáveis terem o mesmo nível de significância e cor. Para apresentar de forma quantitativa os resultados em relação à trajetória no receptor, foram desenvolvidos os gráficos de barra da Figura 34.

Figura 34 – Comparação de resultados referentes à trajetória no receptor

Legenda: PD – Pulso direito; PE – Pulso esquerdo; BC – Bolso camisa; PC – Pescoço/colar; CF – Cintura frente; CA – Cintura atrás; CD – Cintura direita; CE – Cintura esquerda.

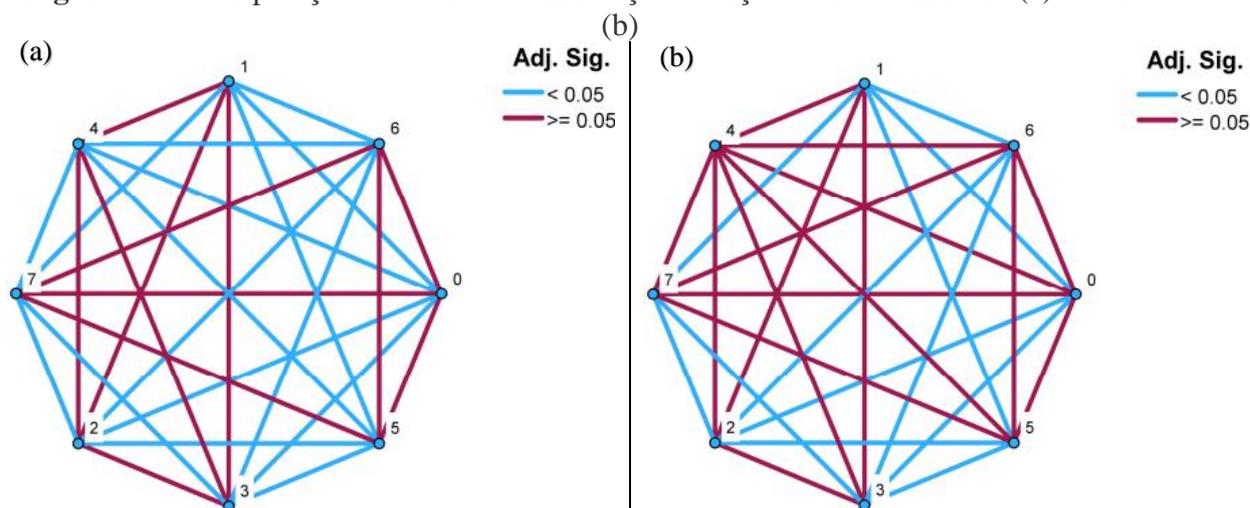
Fonte: Autor.

Na Figura 34 nota-se que a presença do rádio não compromete a comunicação, pelo contrário, os dados com rádio mostraram-se melhores. Observando a Figura 34 nota-se que os resultados são estatisticamente parecidos entre os valores de trajetória no receptor, o que justifica as relações significativas apresentadas na Figura 48. Ainda assim, percebe-se que nas quatro posições na cintura houve um desempenho inferior, tendo maior incidência no caso que não se concluiu a comunicação (a). Logo, diferente dos estudos de Lee et al. (2022), Cyma-Wejchenig et al. (2020) e Khan et al. (2022), a posição do beacon gerou diferença nos resultados.

Já no que se refere aos dados da força do sinal na comparação de Pairwise, as tabelas geradas estão apresentadas nos Apêndices 7 e 8.

Ao contrário dos resultados das trajetórias de informações do beacon ao receptor, os dados sobre a força do sinal mostram que as relações entre variáveis não atingiram um nível de significância de 0,050. Isso levou à rejeição da hipótese inicial. Além disso, os quadros mostram que algumas variáveis se comportam diferentemente das outras, uma relação que é mais claramente vista nos gráficos da Figura 35.

Figura 35 – Comparações de Pairwise em relação à força do sinal sem rádio (a) x com rádio



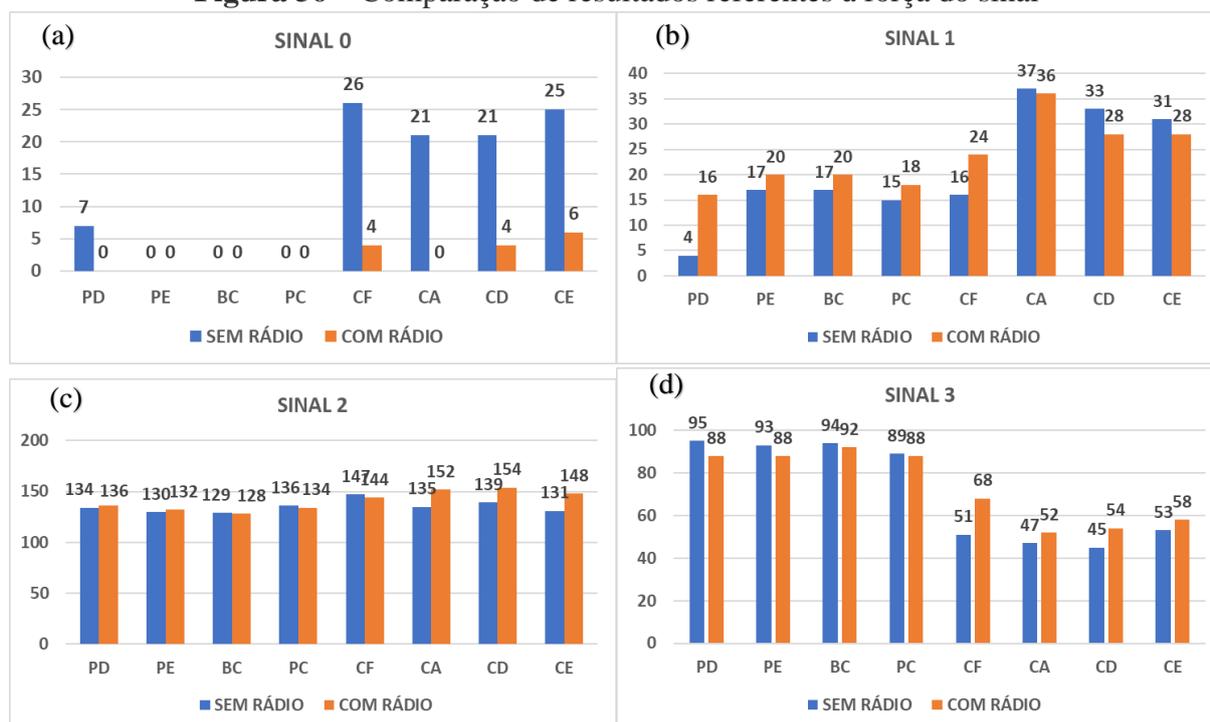
Legenda: 1 – Pulso direito; 2 – Pulso esquerdo; 3 – Pescoço/colar; 4 – Bolso camisa; 5 – Cintura frente; 6 – Cintura atrás; 7 – Cintura direita e 0 – Cintura esquerda.

Fonte: Autor.

Na análise da força do sinal, que difere da trajetória até o receptor, observa-se dois grupos distintos no gráfico sem uso de rádio. O primeiro grupo inclui variáveis das posições nos pulsos, no bolso da camisa e no pescoço/colar. O segundo grupo abrange as quatro posições na cintura. Dentro de cada grupo, as variáveis têm uma forte relação (mostrada em linhas vermelhas). Por outro lado, ao comparar variáveis de grupos diferentes, o nível de significância da relação é inferior a 0,050 (indicado por linhas azuis).

Já quando se observa a Figura 35 (b) que possui a comunicação via rádio, os grupos são praticamente mantidos e temos um comportamento semelhante. As únicas diferenças são as significantes relações que a posição do bolso da camisa faz com as posições da cintura na frente e na direita. Tal fato corrobora que novamente o rádio não interfere nos comportamentos dos dados e os resultados com ele se apresentaram levemente melhores nessa comparação com o gráfico sem o rádio. A Figura 36 apresenta a distribuição quantitativa dos resultados referentes à força do sinal.

Figura 36 – Comparação de resultados referentes à força do sinal



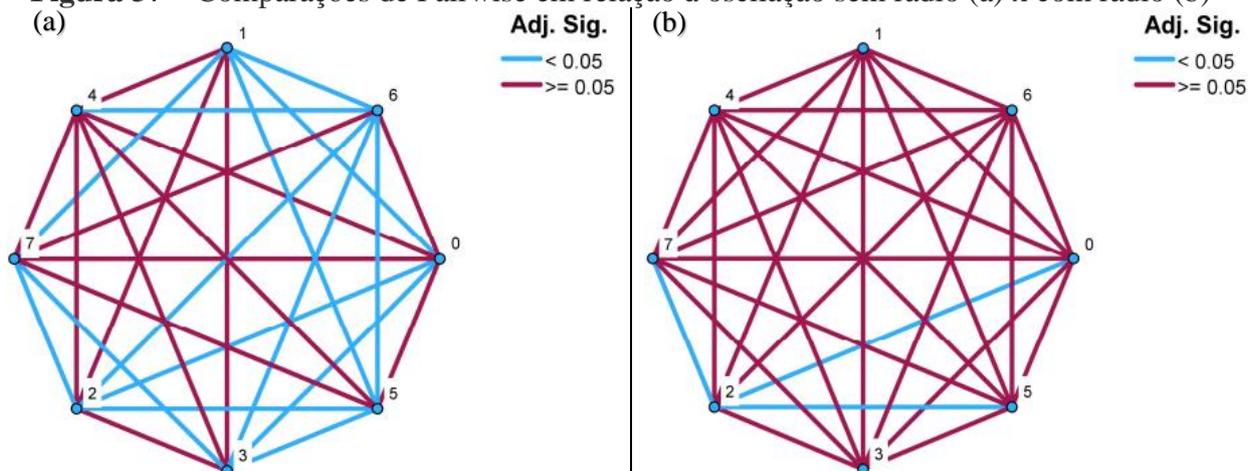
Legenda: PD – Pulso direito; PE – Pulso esquerdo; BC – Bolso camisa; PC – Pescoço/colar; CF – Cintura frente; CA – Cintura atrás; CD – Cintura direita; CE – Cintura esquerda.

Fonte: Autor.

Da mesma forma que na análise da trajetória no receptor, o rádio não interfere na força do sinal. Além disso, a Figura 3 também indica que as posições na cintura tiveram desempenho ainda pior quando comparado com a análise do receptor. Portanto, justifica-se que dessa vez houve relações não significativas entre as variáveis e formaram-se dois grupos distintos de comportamento dos resultados, como indicado na Figura 35.

Por fim, os Apêndices 9 e 10 mostram como ficaram as comparações dos dados referentes ao nível de oscilação. Assim como nos dados da força do sinal, os resultados dos Apêndices 9 e 10 também possuem comparações entre variáveis que não atingiram o nível de significância ajustada de 0,050. Confirmando nos testes de hipótese terem sido rejeitadas as hipóteses nulas. A Figura 37 apresenta como ficaram os gráficos comparativos de Pairwise.

Figura 37 – Comparações de Pairwise em relação à oscilação sem rádio (a) x com rádio (b)



Legenda: 1 – Pulso direito; 2 – Pulso esquerdo; 3 – Pescoço/colar; 4 – Bolso camisa; 5 – Cintura frente; 6 – Cintura atrás; 7 – Cintura direita e 0 – Cintura esquerda.

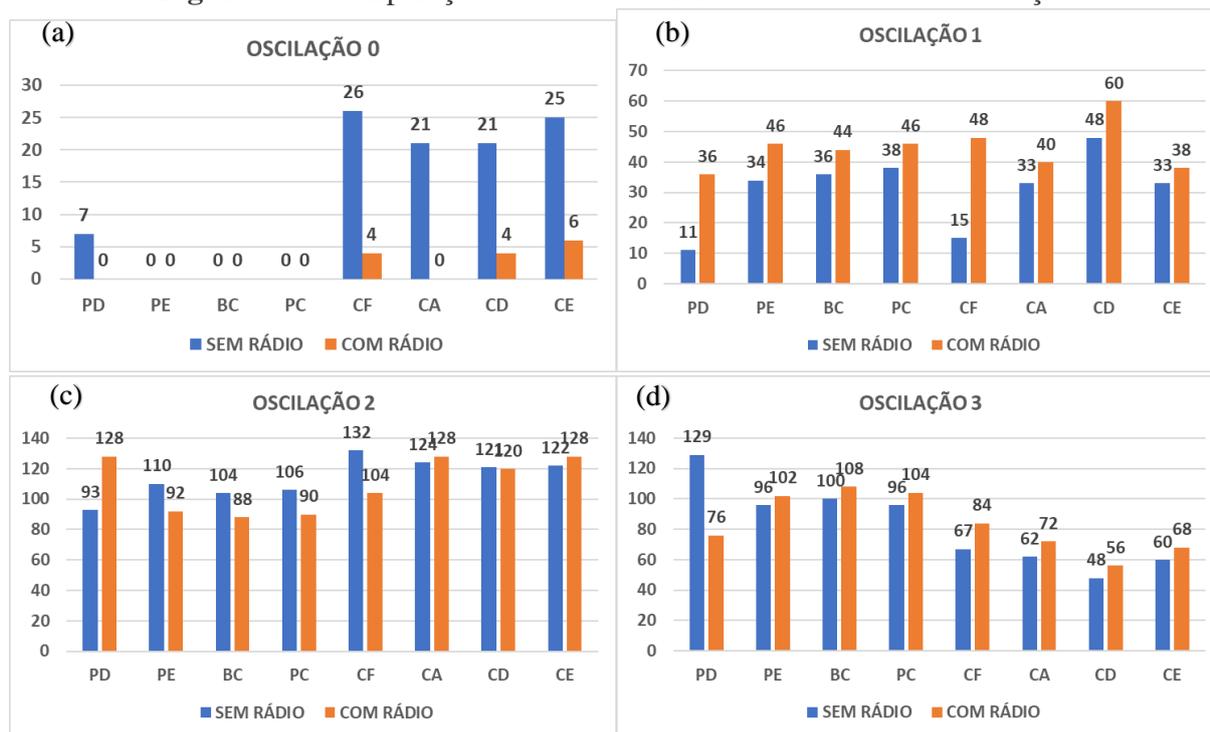
Fonte: Autor.

Da mesma forma como no comparativo da força do sinal, a Figura 37 indica a presença de relações entre variáveis tanto significativas quanto não significativas. Contudo, em ambos os cenários (a) e (b), a quantidade de relações significativas aumentou. Indicando que o parâmetro da posição do beacon interferiu mais na força do que na oscilação do sinal.

No teste sem o rádio (a), os grupos praticamente se mantiveram, apresentando poucas mudanças. A primeira diferença é referente às posições cintura frente e cintura atrás deixaram de ter uma relação significativa e a principal é a posição bolso da camisa que formou relações significativas com todas as posições, exceto a da cintura atrás.

Já em relação à Figura 37 (b) nota-se que praticamente todas as relações entre as variáveis se configuraram como significativas. Apenas 3 relações entre variáveis não atingiram o nível de significância de 0,050. Contudo, uma semelhança foi que todas envolvem a posição do pulso esquerdo e são com posições na cintura. Apenas a posição cintura atrás chegou a formar relação significativa com a posição do pulso esquerdo.

Finalmente, os resultados para os dados quantitativos na comparação dos níveis de oscilação estão apresentadas na Figura 38.

Figura 38 – Comparação de resultados referentes ao nível de oscilação

Legenda: PD – Pulso direito; PE – Pulso esquerdo; BC – Bolso camisa; PC – Pescoço/colar; CF – Cintura frente; CA – Cintura atrás; CD – Cintura direita; CE – Cintura esquerda.

Fonte: Autor.

Na Figura 38, as variáveis exibem comportamento estatisticamente semelhante, havendo apenas alguns casos de discrepância em relação aos demais resultados. Isso confirma a presença de uma grande quantidade de relações significativas mostradas na Figura 37, especialmente nos testes envolvendo a presença do rádio, conforme evidenciado pela análise na Figura 38.

Sendo assim, nota-se que novamente os dados no cenário com o rádio tiveram um desempenho melhor em relação aos resultados sem o rádio. Isso indica que o rádio não interfere e durante os processos de teste sem o rádio tiveram mais fontes de interferência. Além disso, viu-se que a questão da posição do beacon interfere mais nos resultados do que o biotipo da pessoa que porta o beacon. Assim como no estudo de Habibnezhad et al. (2020), também se notou que existiram certas semelhanças de comportamento e fortes relações entre as posições da cintura e entre as posições dos pulsos, pescoço/colar e bolso de camisa.

4.1.3 Análise da Localização

Como no manual do W6 Smart Beacon só havia a informação da capacidade de comunicação em distâncias abertas de até 150 metros, em uma obra de construção civil existem as barreiras de lajes, paredes e ambientes fechados como elevadores. Portanto, foi realizada a análise da comunicação aproveitando o ambiente físico da Escola Politécnica de Pernambuco – POLI/UPE, simulando um ambiente de uma obra.

Os resultados das análises dos testes de hipótese sem rádio e com rádio estão apresentados respectivamente nos Quadros 10 e 11.

Quadro 10 – Resultados do teste de hipótese para análise da localização sem uso de rádio

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor é igual na categoria Localização	A distribuição de Receptor é diferente na categoria Localização	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal é igual na categoria Localização	A distribuição de Sinal é diferente na categoria Localização	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação é igual na categoria Localização	A distribuição de Oscilação é diferente na categoria Localização	<.001	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

Quadro 11 – Resultados do teste de hipótese para análise da localização com uso de rádio

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor é igual na categoria Localização/Rádio	A distribuição de Receptor é diferente na categoria Localização/Rádio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal é igual na categoria Localização/Rádio	A distribuição de Sinal é diferente na categoria Localização/Rádio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação é igual na categoria Localização/Rádio	A distribuição de Oscilação é diferente na categoria Localização/Rádio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula

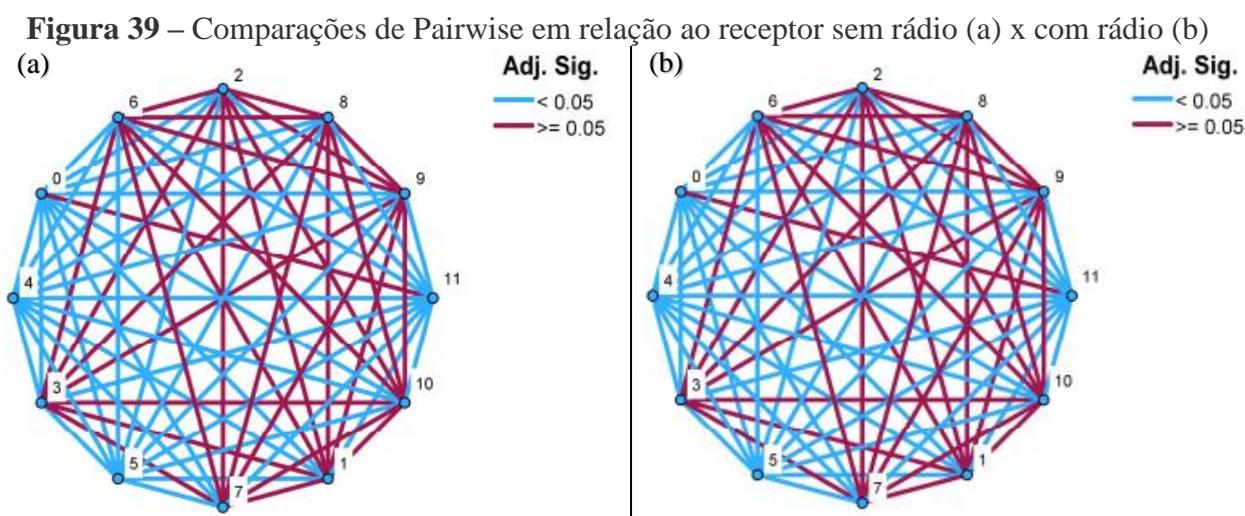
Fonte: Autor.

Analisando os Quadros 10 e 11, todas as hipóteses nulas foram rejeitadas. Sendo assim, em todos os resultados ficou constatada que a localização interfere na comunicação entre o beacon e o conjunto de gateway e broker. Comparando com os parâmetros de biotipo do portador do beacon e a posição que o beacon estivesse, a localização é o que mais indica interferência dentre

os três. Tal fato pode ser justificado por estruturas de concreto e estruturas metálicas poderem causar reflexão, difração e absorção do sinal, resultando em interferências e perda de precisão na determinação da localização.

Da mesma forma como na análise da posição do beacon, o software utilizou as 12 posições que foram avaliadas para realizar a comparação de Pairwise entre elas a fim de identificar quais possuíam relações significativas e se há semelhanças no comportamento dos dados coletados. Os resultados estão apresentados nos Apêndices 11 e 12.

Com o aumento da quantidade de variáveis, subindo de 8 posições do beacon para 12 localizações, os quadros comparativos aumentaram as linhas em relação à análise anterior da influência da posição do beacon. Analisando as comparações dos Apêndices 11 e 12, nota-se a presença de interrelações tanto significativas quanto não significativas. Sendo assim, os gráficos comparativos de Pairwise estão com mais linhas de interrelação, conforme se observa na Figura 39.



Legenda: 1 – Saída LSHT (1º pavimento); 2 – Escada 1 (1º pavimento); 3 – Entrada do Elevador (térreo); 4 – Saída do Elevador (3º pavimento); 5 – Extremidade Bloco I (3º pavimento); 6 – Extremidade Bloco K (3º pavimento); 7 – Escada 2 (3º pavimento); 8 – Extremidade Bloco I (2º pavimento); 9 – Extremidade Bloco K (2º pavimento); 10 – Escada 3 (2º pavimento); 11 – Extremidade Bloco I (1º pavimento) e 0 – Chegada LSHT (1º pavimento).

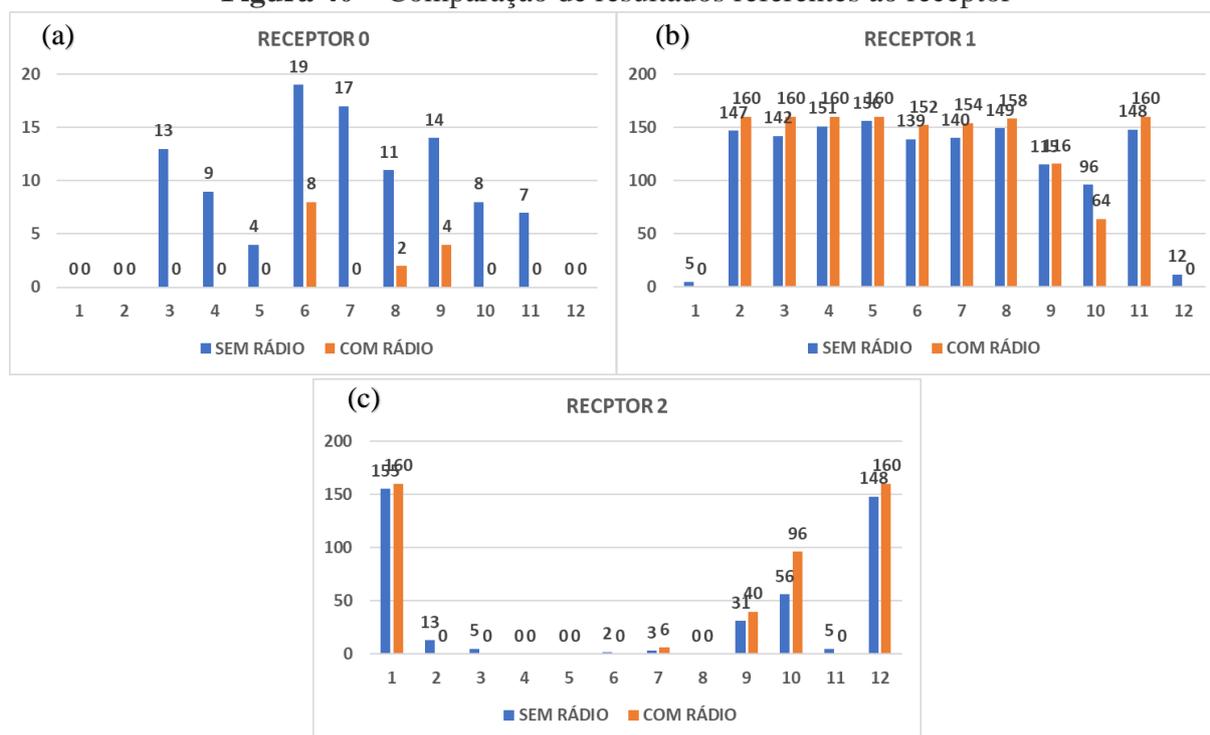
Fonte: Autor.

Percebe-se que as Figuras 39 (a) e (b) são idênticas. Todas as localizações apresentaram os mesmos níveis de significância tanto sem quanto com a comunicação via rádio. Diferente da

análise de posição do beacon, onde encontramos grupos bem definidos, os resultados nesse cenário indicam que as principais relações estão entre as localizações que estejam na mesma linha vertical e com menores distâncias horizontais. Assim, as principais observações que temos são as seguintes:

- Analisando as relações entre as localizações do mesmo pavimento, 100% das do segundo pavimento foram significativas, metade das do primeiro foram significativas e nenhuma do terceiro pavimento superou o nível de significância de 0,050. Logo, a análise sugere que a significância das relações entre localizações varia de acordo com o pavimento do edifício.
- Das interrelações entre as extremidades dos blocos I e K do mesmo pavimento, apenas as do segundo pavimento apresentaram relação significativa. Portanto, distâncias horizontais de 50 metros interferem no nível de significância.
- Todas as localizações nas extremidades do Bloco I apresentam nível de significância inferior à 0,050 entre si. Portanto, a mudança do pavimento em que se está interfere mais do que a distância horizontal.
- Todas as localizações das extremidades do bloco K apresentam interrelações de níveis de significância superior a 0,050. Sendo assim, estar no mesmo eixo vertical de onde está localizado o dispositivo receptor praticamente anula o pavimento em que o beacon se encontra.
- Todas as localizações das escadas apresentam interrelações significativas. Logo, estar em posições de mesmo eixo vertical e com a distância horizontal até 30 metros do dispositivo receptor, não gera interferência.
- A relação entre a entrada e saída do elevador não apresentou nível de significância superior a 0,050. Portanto, um deslocamento vertical igual ou superior a 3 pavimentos gera interferência na comunicação.
- Todas as interrelações entre as escadas e as extremidades do bloco K dos mesmos pavimentos apresentam interrelações de níveis de significância superior a 0,050. A análise permite concluir que a significâncias das relações está de acordo com o pavimento onde se localiza.

Para complementar o entendimento, a Figura 40 apresenta a distribuição quantitativa dos resultados obtidos em relação à trajetória da informação até o receptor.

Figura 40 – Comparação de resultados referentes ao receptor

Legenda: 1 – Saída LSHT; 2 – Escada 1; 3 – Entrada do Elevador; 4 – Saída do Elevador; 5 – Extremidade Bloco I (3º pav); 6 – Extremidade Bloco K (3º pav); 7 – Escada 2; 8 - Extremidade Bloco I (2º pav); 9 – Extremidade Bloco K (2º pav); 10 – Escada 3; 11 – Extremidade Bloco I (1º pav) e 12 – Chegada LSHT.

Fonte: Autor.

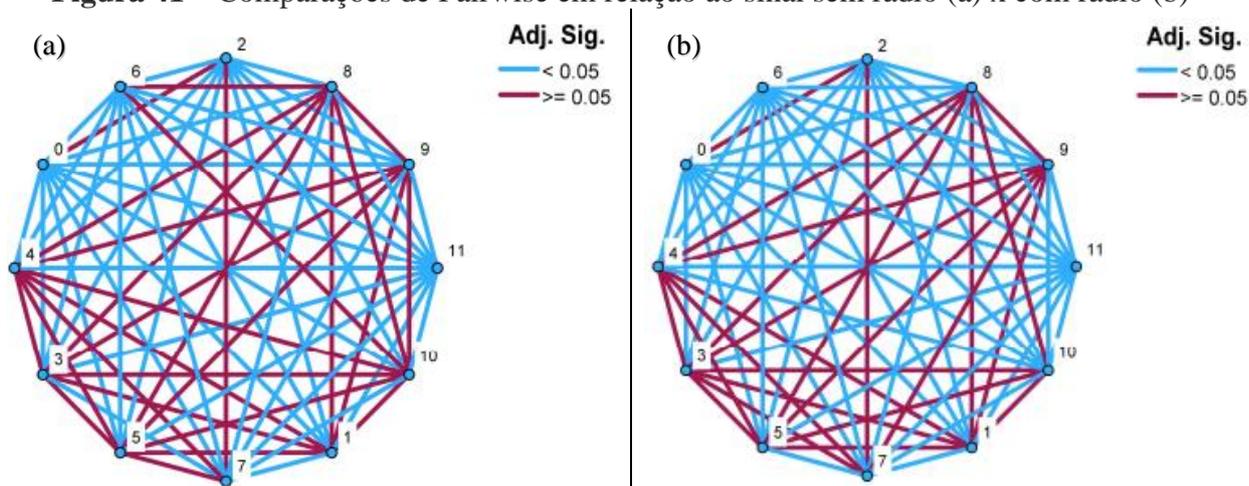
Conforme indicado na Figura 40, com exceção das posições próximas ao LSHT (1 e 12), as ocorrências de nota 2 para o receptor foram mais frequentes na extremidade do Bloco K do 2º pavimento, assim como na escada do mesmo pavimento. Logo, observa-se que as situações em que a comunicação do beacon alcançou o broker com maior frequência ocorreram nos pontos mais próximos verticalmente à posição do dispositivo receptor.

Os resultados da Figura 40 corroboram com as observações da Figura 39, onde as localizações nos pavimentos mais elevados e próximos das extremidades do Bloco I, que são as mais distantes do local onde estava o receptor, tiveram os piores desempenhos em relação à trajetória da comunicação. Tendo em vista que foram os que mais apresentaram níveis de significância inferior à 0,050.

Seguindo as análises, os Apêndices 13 e 14 apresentam como foram os resultados referentes à força do sinal. Comparando os resultados da Figura 41 com os obtidos em relação à trajetória

da comunicação no receptor, notou-se que a quantidade de relações significativas diminuíram. Essa condição indica maior interferência da localização em relação à força do sinal em detrimento do caminho no receptor. A Figura 41 mostra como foi o desempenho comparando nos testes sem e com rádio.

Figura 41 – Comparações de Pairwise em relação ao sinal sem rádio (a) x com rádio (b)



Legenda: 1 – Saída LSHT (1º pavimento); 2 – Escada 1 (1º pavimento); 3 – Entrada do Elevador (térreo); 4 – Saída do Elevador (3º pavimento); 5 – Extremidade Bloco I (3º pavimento); 6 – Extremidade Bloco K (3º pavimento); 7 – Escada 2 (3º pavimento); 8 – Extremidade Bloco I (2º pavimento); 9 – Extremidade Bloco K (2º pavimento); 10 – Escada 3 (2º pavimento); 11 – Extremidade Bloco I (1º pavimento) e 0 – Chegada LSHT (1º pavimento).

Fonte: Autor.

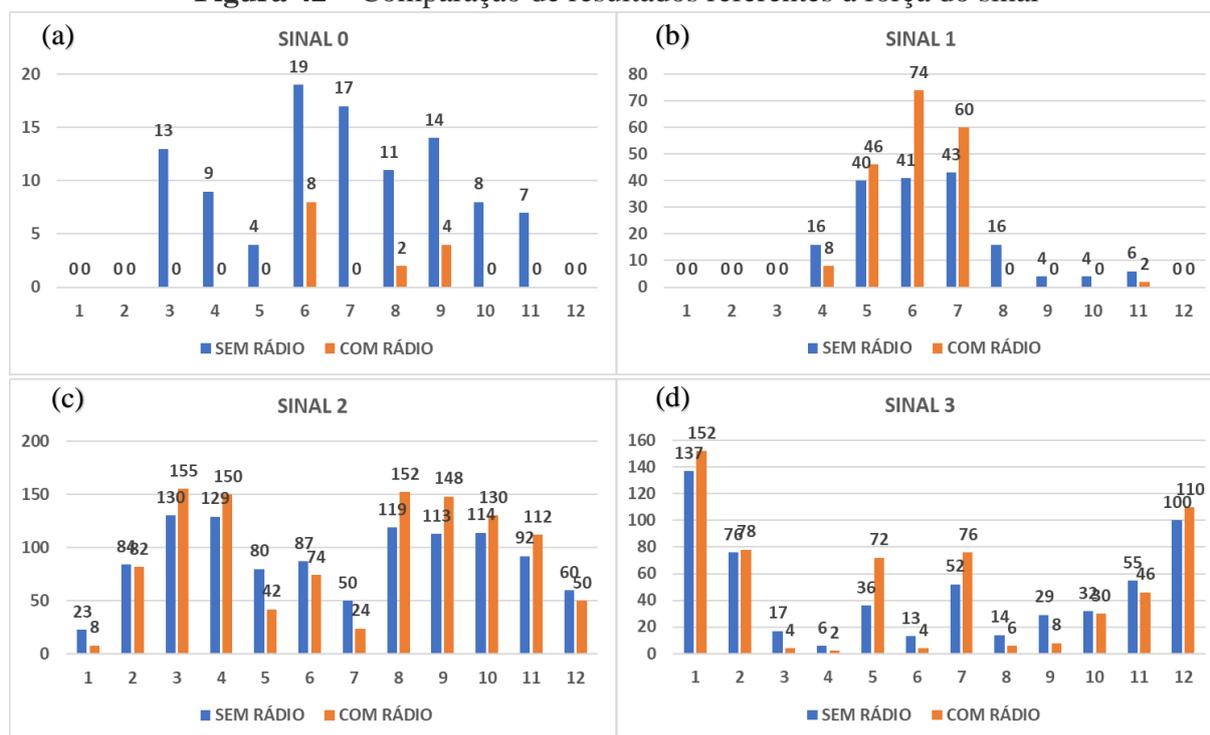
Observando a Figura 41, nota-se que diferente da análise de receptor (Figura 39), os gráficos apresentam algumas distinções. Nessa situação, obtiveram-se mais relações significativas nos testes sem rádio do que com o rádio, com 4 interrelações significativas a mais. Com a Figura 41, chegamos nas seguintes constatações:

- Analisando as relações entre as localizações do mesmo pavimento, 100% das do segundo pavimento foram significativas, metade das do terceiro foram significativas e nenhuma do primeiro pavimento superou o nível de significância de 0,050. Logo a significância entre as localizações varia de acordo com o pavimento.
- Das interrelações entre as extremidades dos blocos I e K do mesmo pavimento, apenas as do segundo pavimento apresentaram relação significativa. Portanto, distâncias horizontais de 50 metros interferem no nível de significância.

- Entre as localizações nas extremidades do Bloco I, apenas a relação entre as do terceiro e segundo pavimentos apresentou nível de significância superior à 0,050. Logo, a mudança do pavimento em que se está interfere mais no nível de significância do que a distância horizontal.
- Entre as localizações das extremidades do Bloco K, apenas a relação entre as do primeiro e segundo pavimentos apresentou nível de significância superior a 0,050. Portanto, diferente do cenário de receptor, estar no mesmo eixo vertical de onde está localizado o dispositivo receptor não anula a interferência do pavimento em que o beacon se encontra.
- Entre as localizações das escadas, apenas a relação entre as do primeiro e terceiro pavimentos apresentou nível de significância superior a 0,050. Novamente, estar no mesmo eixo vertical não é garantia de relação significativa para a força do sinal.
- A relação entre a entrada e saída do elevador apresentou nível de significância superior a 0,050. Portanto, um deslocamento vertical igual ou superior a 3 pavimentos não gera interferência na força do sinal na comunicação.
- Dentre as interrelações entre as escadas e as extremidades do bloco K dos mesmos pavimentos, apenas as localizadas no segundo pavimento teve nível de significância superior a 0,050. Portanto, um deslocamento horizontal no mesmo pavimento interfere na força do sinal.

Para aprimorar a compreensão, a Figura 42 ilustra a distribuição quantitativa dos resultados relacionados à força do sinal.

Figura 42 – Comparação de resultados referentes à força do sinal



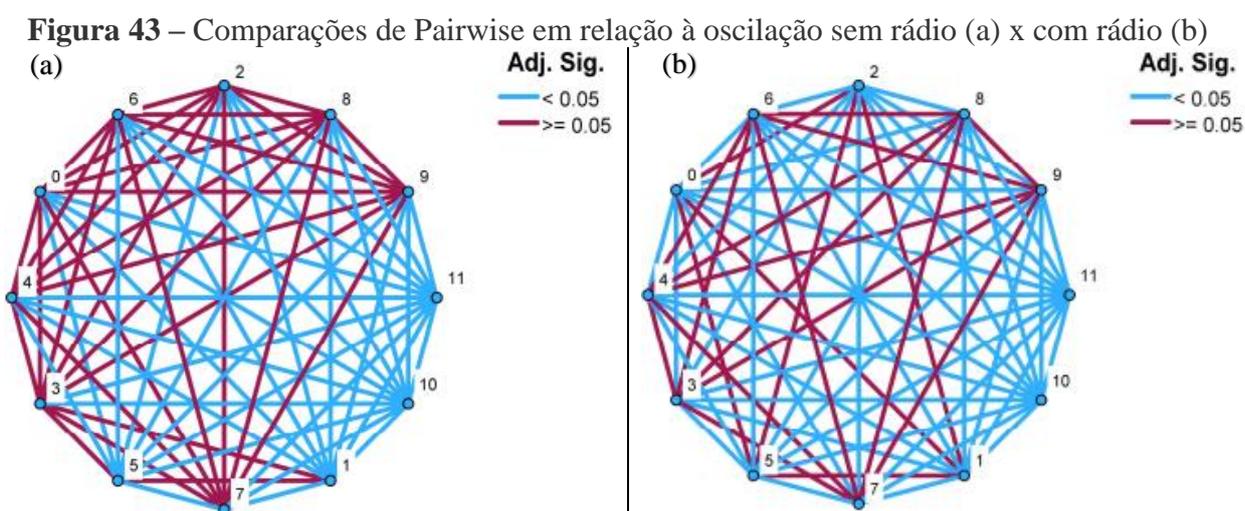
Legenda: 1 – Saída LSHT; 2 – Escada 1; 3 – Entrada do Elevador; 4 – Saída do Elevador; 5 – Extremidade Bloco I (3º pav); 6 – Extremidade Bloco K (3º pav); 7 – Escada 2; 8 - Extremidade Bloco I (2º pav); 9 – Extremidade Bloco K (2º pav); 10 – Escada 3; 11 – Extremidade Bloco I (1º pav) e 12 – Chegada LSHT.

Fonte: Autor.

Avaliando a Figura 42, nota-se que os resultados foram mais distribuídos quando comparados com a Figura 40 da comparação da trajetória até o receptor. De acordo com a Figura 42, as localizações mais próximas entre si se comportaram de forma similar nas notas da força do sinal, justificando as relações significativas indicadas na Figura 41.

Avaliando as considerações citadas anteriormente, é notável a maior interferência de locais mais distantes de onde está localizado o receptor a respeito da força do sinal. Logo, comparando com os resultados da análise da trajetória até o receptor, conclui-se que mesmo que as informações cheguem ao mesmo ponto, a força do sinal já varia em relação à distância. Isso fica constatado na menor quantidade de interrelações significativas entre as localidades no mesmo eixo vertical e entre pontos mais próximos (extremidades do bloco K e escadas), pois mesmo sendo mantido os melhores desempenhos nesse cenário, a quantidade diminuiu quando comparados com os resultados da trajetória da informação no receptor.

Por fim, os Apêndices 15 e 16 mostram como foram os resultados em relação ao nível de oscilação. Observando os resultados dos quadros dos Apêndices 15 e 16, a quantidade de interrelações significativas aumentou em relação aos dados de força de sinal. Contudo, foi mantida a diferença entre os cenários sem rádio e com o rádio, novamente com mais comparações significativas na condição sem rádio. Porém, dessa vez a diferença foi maior, apresentando 8 interrelações significativas de diferença. A diferença fica mais bem apresentada na Figura 43.



Legenda: 1 – Saída LSHT (1º pavimento); 2 – Escada 1 (1º pavimento); 3 – Entrada do Elevador (térreo); 4 – Saída do Elevador (3º pavimento); 5 – Extremidade Bloco I (3º pavimento); 6 – Extremidade Bloco K (3º pavimento); 7 – Escada 2 (3º pavimento); 8 – Extremidade Bloco I (2º pavimento); 9 – Extremidade Bloco K (2º pavimento); 10 – Escada 3 (2º pavimento); 11 – Extremidade Bloco I (1º pavimento) e 0 – Chegada LSHT (1º pavimento).

Fonte: Autor.

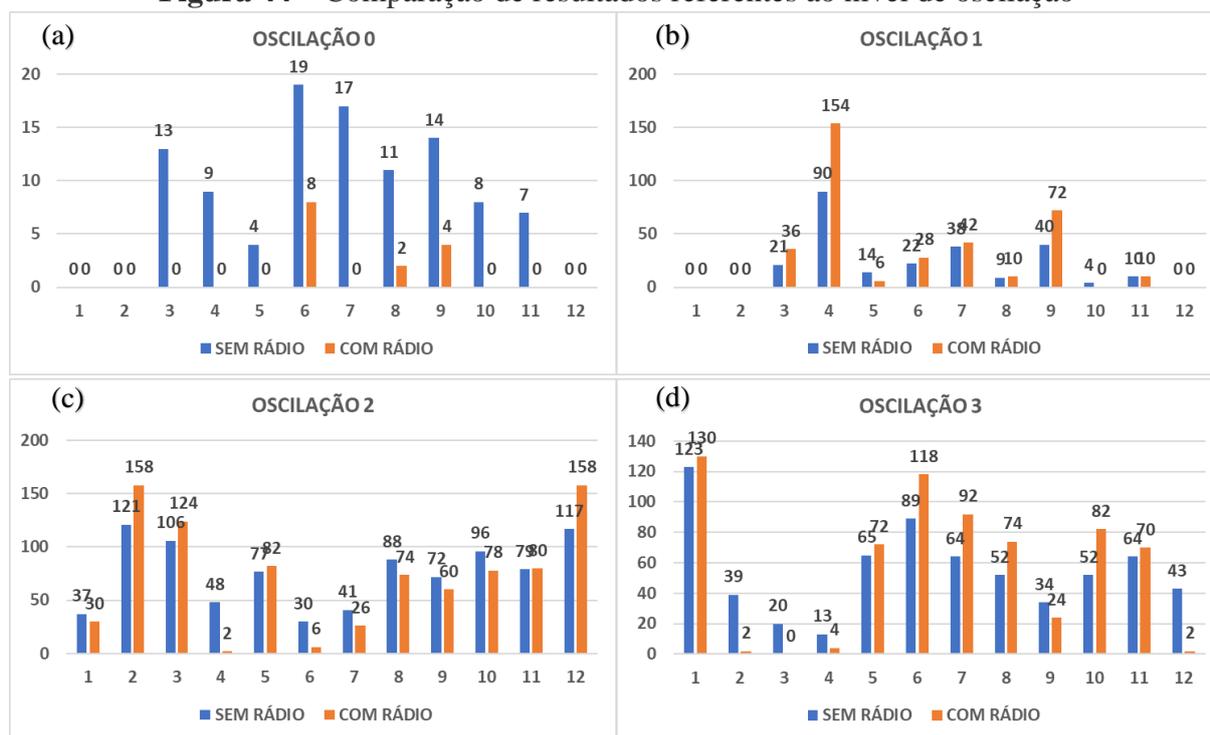
Com a Figura 43, é fácil identificar a diferença entre os cenários sem rádio e com rádio, sendo superior em relação à análise de força de sinal. No entanto, também é possível verificar que a quantidade de interrelações significativas aumentou quando comparado com o estudo da interferência na força do sinal, sendo levantadas as seguintes considerações:

- Analisando as relações entre as localizações do mesmo pavimento, metade das do terceiro pavimento foram significativas, apenas uma das do segundo foram significativas e apenas uma do primeiro pavimento superou o nível de significância de 0,050. Logo, a significância das relações entre as localizações varia entre os pavimentos, sendo mais prevalente no terceiro pavimento e menos no primeiro e segundo pavimentos.

- Das interrelações entre as extremidades dos blocos I e K do mesmo pavimento, apenas as do segundo pavimento apresentaram relação significativa. Portanto, a significância entre as extremidades de um mesmo pavimento varia entre os pavimentos, sendo significativa apenas no segundo pavimento e não significativas nos pavimentos primeiro e terceiro.
- Entre as localizações nas extremidades do Bloco I, nenhuma apresentou nível de significância superior à 0,050. Portanto, a variação entre pavimentos interfere no nível de oscilação mesmo estando no mesmo eixo vertical.
- Entre as localizações das extremidades do Bloco K, apenas a relação entre as do terceiro e segundo pavimentos apresentou nível de significância superior a 0,050. Portanto, a variação entre pavimentos interfere no nível de oscilação mesmo estando no mesmo eixo vertical.
- Entre as localizações das escadas, nenhuma apresentou nível de significância superior a 0,050. Assim, mais uma vez a variação vertical da localização interfere no nível de significância.
- A relação entre a entrada e saída do elevador apresentou nível de significância superior a 0,050. Logo, um grande deslocamento vertical em elevadores não interfere no nível de oscilação.
- Dentre as interrelações entre as escadas e as extremidades do bloco K dos mesmos pavimentos, apenas as localizadas no terceiro pavimento teve nível de significância superior a 0,050. Sendo assim, a variação entre pavimentos interfere no nível de oscilação mesmo estando no mesmo eixo vertical.

A Figura 44 apresenta a disposição quantitativa dos dados referentes ao nível de oscilação para acrescentar à análise.

Figura 44 – Comparação de resultados referentes ao nível de oscilação



Legenda: 1 – Saída LSHT; 2 – Escada 1; 3 – Entrada do Elevador; 4 – Saída do Elevador; 5 – Extremidade Bloco I (3º pav); 6 – Extremidade Bloco K (3º pav); 7 – Escada 2; 8 - Extremidade Bloco I (2º pav); 9 – Extremidade Bloco K (2º pav); 10 – Escada 3; 11 – Extremidade Bloco I (1º pav) e 12 – Chegada LSHT.

Fonte: Autor.

Conforme a Figura 44, os níveis de oscilação das posições do mesmo pavimento e próximas tendem a se comportar igual. À medida que o portador do beacon se aproxima do local do receptor, os índices de oscilação vão melhorando, corroborando na influência da localização. Na Figura 44 (d) destaque para os valores da posição 6, indicando que distâncias no eixo vertical interferem menos na capacidade de comunicação do que em pontos mais distantes horizontalmente.

Diante de tais considerações e comparando com os resultados em relação à trajetória da comunicação no receptor, observa-se que o parâmetro do nível de oscilação se comporta de forma similar à força do sinal. Portanto, o parâmetro da localização interfere diretamente no nível de oscilação. Nesse sentido, quanto mais afastado do local onde está o receptor, tanto vertical quanto horizontal, mais difere o nível de oscilação. Logo, mesmo que a informação tenda a percorrer a mesma trajetória no receptor estando em localizações próximas, a oscilação irá sofrer mudanças.

Dessa maneira, quando se comparam os resultados da localização com os da posição do beacon e o do biotipo, percebe-se que foi a primeira vez que os dados com rádio apresentaram um desempenho inferior, mesmo que pouco. Além disso, viu-se que a questão da localização interferiu mais nos resultados do que o biotipo da pessoa e a posição do beacon, tendo em vista que todas as hipóteses nulas foram rejeitadas. Por fim, também se constatou que a localização influencia mais nas variáveis de força do sinal e nível de oscilação do que a trajetória em si da informação no receptor. Indicando que mesmo estando em posições próximas, a trajetória da informação tende a se comporta de forma similar (LEE et al., 2016 e Cyma-Wejchenig et al., 2020), contudo haverá mudança nos valores da força do sinal e o nível de oscilação.

4.1.4 Análise da Posição do Rádio

Como em algumas das situações dos circuitos de experimentos anteriores houve diferenças entre os resultados sem e com o uso de rádio para fazer a comunicação entre os pesquisadores, foi feita também a análise das posições que ficava o rádio. Os resultados dos testes de hipóteses estão apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 – Resultados do teste de hipótese para análise da posição do rádio

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor/Rádio é igual na categoria Posição/Rádio	A distribuição de Receptor/Rádio é diferente na categoria Posição/Rádio	.974	Aceitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal/Rádio é igual na categoria Posição/Rádio	A distribuição de Sinal/Rádio é diferente na categoria Posição/Rádio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação/Rádio é igual na categoria Posição/Rádio	A distribuição de Oscilação/Rádio é diferente na categoria Posição/Rádio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

De acordo com as decisões apresentadas no Quadro 12, apenas a hipótese nula referente à diferenças nos resultados do receptor. Isso significa que a posição do rádio interferiu nos resultados de sinal e oscilação e, por isso, obtiveram-se as hipóteses nulas rejeitadas. Para entender melhor as relações entre as variáveis avaliadas, os resultados das comparações de Pairwise estão apresentadas nas próximas figuras.

Figura 45 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do rádio em relação ao receptor

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
Pescoço-MãoDire	6,130	29,959	,205	,838	1,000
Pescoço-CinturaE	7,297	29,959	,244	,808	1,000
Pescoço-MãoEsqu	14,801	29,959	,407	,610	1,000
Pescoço-CinturaD	18,688	29,959	,624	,533	1,000
MãoDire-CinturaE	1,167	29,959	,039	,969	1,000
MãoDire-MãoEsqu	-8,760	29,959	-,292	,770	1,000
MãoDire-CinturaD	12,557	29,959	,419	,675	1,000
CinturaE-MãoEsqu	-7,594	29,959	-,253	,800	1,000
CinturaE-CinturaD	11,391	29,959	,380	,704	1,000
MãoEsqu-CinturaD	3,797	29,959	,127	,899	1,000

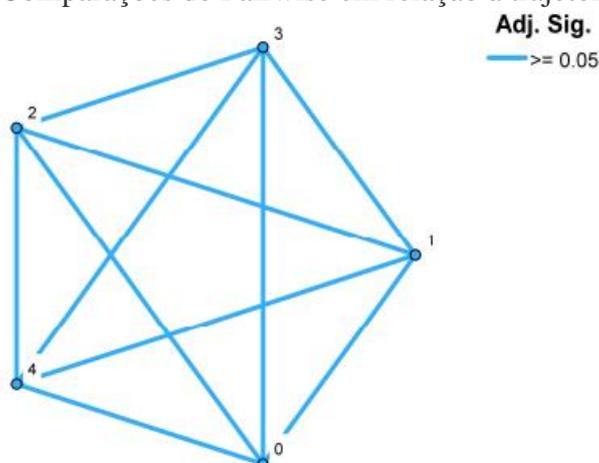
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Conforme os resultados da Figura 45, nota-se que todas as comparações entre as posições do rádio foram significativas. Para visualizar melhor as relações entre as posições do rádio, tem-se o gráfico da comparação das variáveis pelo método Pairwise apresentado na Figura 46.

Figura 46 – Comparações de Pairwise em relação à trajetória no receptor



Legenda: 1 – Mão direita; 2 – Mão esquerda; 3 – Cintura direita; 4 – Cintura esquerda e 0 – Pescoço.
Fonte: Autor.

Como foi visto na Figura 46, o gráfico demonstra que todas as posições do rádio possuem relações entre si com nível de significância superior a 0,050. Dessa forma, elas apresentam a mesma capacidade de interferir nos resultados das informações no receptor. Que segundo os resultados dos testes de hipótese da Quadro, não geram interferência.

O próximo quadro (Figura 47) revela as comparações entre as posições do rádio em relação aos resultados da força do sinal.

Figura 47 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do rádio em relação ao sinal

Sample 1-Sample 2	Estadística de teste	Erro Padrão	Estadística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
CinturaE-Pescoço	-18,224	35,053	-,520	,603	1,000
CinturaE-MãoEsqu	-119,451	35,053	-3,408	<,001	,007
CinturaE-CinturaD	136,820	35,053	3,903	<,001	,001
CinturaE-MãoDire	-156,547	35,053	-4,466	<,001	,000
Pescoço-MãoEsqu	101,227	35,053	2,888	,004	,039
Pescoço-CinturaD	118,596	35,053	3,383	<,001	,007
Pescoço-MãoDire	138,323	35,053	3,946	<,001	,001
MãoEsqu-CinturaD	17,370	35,053	,496	,620	1,000
MãoEsqu-MãoDire	37,096	35,053	1,058	,290	1,000
CinturaD-MãoDire	-19,727	35,053	-,563	,574	1,000

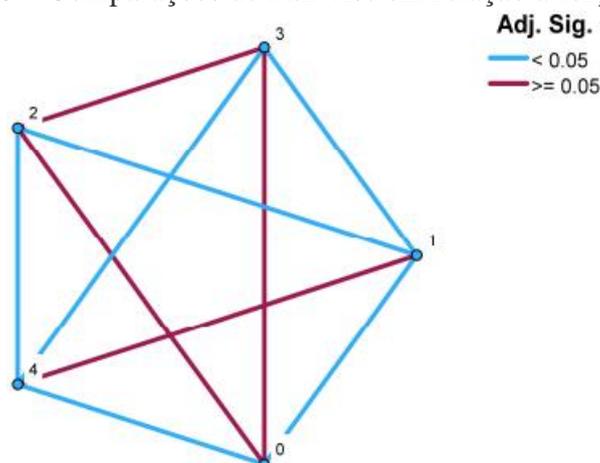
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

De acordo com os resultados das comparações entre as variáveis na Figura 47, houve 4 situações de relações significativas e 6 com nível de significância inferior a 0,050. As relações estão melhor apresentadas no gráfico comparativo de Pairwise da Figura 48.

Figura 48 – Comparações de Pairwise em relação à força do sinal



Legenda: 1 – Mão direita; 2 – Mão esquerda; 3 – Cintura direita; 4 – Cintura esquerda e 0 – Pescoço.
Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 48, as posições 2, 3 e 0 têm relações estatisticamente significativas entre si. Por outro lado, as posições 1 e 4 só mostram uma relação significativa uma com a

outra. Portanto, não há um padrão claro na força do sinal em relação às diferentes posições do rádio, o que sugere que a posição do rádio pode não influenciar significativamente os resultados.

Por fim, foi feita a análise também em relação ao nível de oscilação, cujos resultados estão apresentados na Figura 49.

Figura 49 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do rádio em relação à oscilação

Sample 1-Sample 2	Estadística de teste	Erro Padrão	Estadística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
Pescoço-CinturaE	14,938	37,005	,404	,686	1,000
Pescoço-MãoDire	61,094	37,005	1,651	,099	,987
Pescoço-MãoEsqu	105,984	37,005	2,864	,004	,042
Pescoço-CinturaD	135,172	37,005	3,653	<,001	,003
CinturaE-MãoDire	-46,156	37,005	-1,247	,212	1,000
CinturaC-MãoEsqu	-91,047	37,005	-2,460	,014	,139
CinturaE-CinturaD	120,234	37,005	3,249	,001	,012
MãoDire-MãoEsqu	-44,891	37,005	-1,213	,225	1,000
MãoDire-CinturaD	74,078	37,005	2,002	,045	,453
MãoEsqu-CinturaD	29,188	37,005	,789	,430	1,000

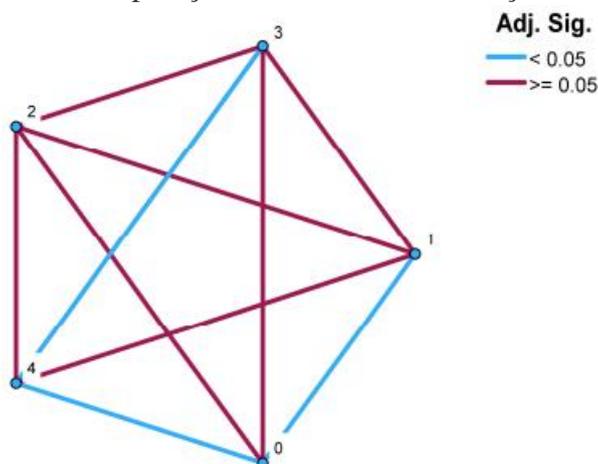
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Observando as informações da Figura 49, verifica-se que houve mais relações significativas do que na situação de análise sobre a força do sinal, com 7 ocorrências. Como esperado, o gráfico da Figura 50 apresenta mais barras vermelhas entre as posições do rádio.

Figura 50 – Comparações de Pairwise em relação à oscilação



Legenda: 1 – Mão direita; 2 – Mão esquerda; 3 – Cintura direita; 4 – Cintura esquerda e 0 – Pescoço.

Fonte: Autor.

A Figura 50 reforça a presença de um maior número de relações significativas. Apenas as comparações 0-1, 0-4 e 4-3 não apresentaram comportamento significativo. Logo, as posições do rádio exibem padrões de comportamento semelhantes em termos de oscilação. Assim, os dados indicam que tanto a posição quanto a mera presença do rádio não exercem influências substanciais nos resultados dos testes de comunicação entre o beacon e o receptor.

4.1.5 Análise da Interferência de Aparelhos conectados a redes wi-fi

Para avaliar a capacidade de interferência com a presença de aparelhos conectados a redes wi-fi perto do receptor, os dados separados e agrupados separados dos demais. Dentre os dados que foram utilizados para a análise nos testes de hipótese foram os da coluna “Ambiente”, na qual se indicou se aquele circuito foi com os dispositivos do ambiente onde estava o receptor deixando as conexões wi-fi ligadas ou desligadas e as colunas com os dados de trajetória da informação no receptor, força do sinal e nível de oscilação, que ao final foram identificadas com a palavra “Interferência”, ficando as colunas chamadas de “ReceptorInterferência”, “SinalInterferência” e “OscilaçãoInterferência”. Assim, seguindo a ordem do tratamento estatístico, os dados passaram pelos testes de normalidade (Figura 51).

Figura 51 – Resultados dos testes de normalidade

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
ReceptorInterferência	,377	960	<,001	,711	960	<,001
SinalInterferência	,310	960	<,001	,804	960	<,001
OscilaçãoInterferência	,296	960	<,001	,814	960	<,001

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Fonte: Autor.

Conforme a Figura 51, todos os dados não atingiram o valor de significância 0,050. Desse modo, são também considerados não normais e foram feitos os testes não-paramétricos para avaliar se os resultados se comportaram de forma igual ou diferente (Quadro 13).

Quadro 13 – Resultados do teste de hipótese para verificar interferência de dispositivos conectados à rede wi-fi

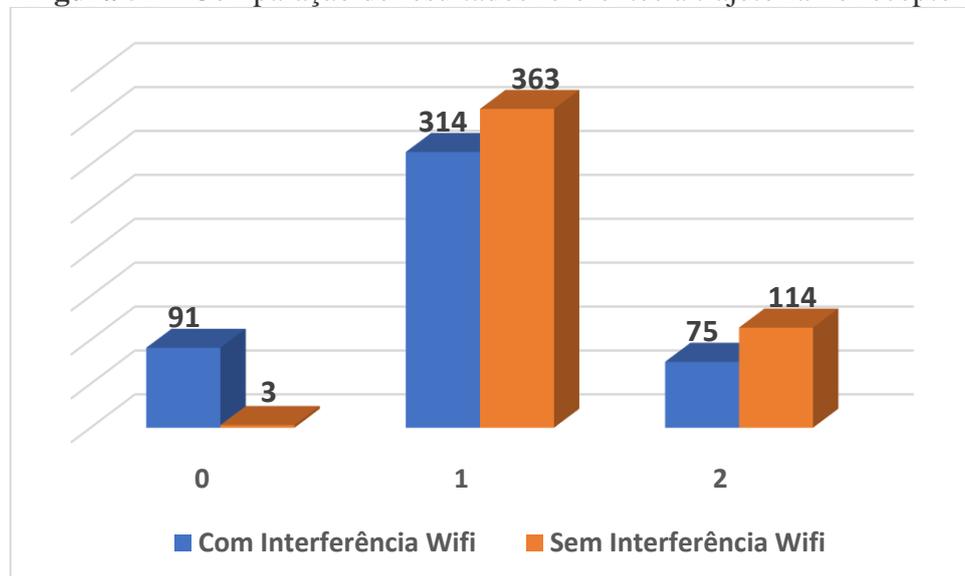
	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Receptor é igual na categoria Ambiente	A distribuição de Receptor é diferente na categoria Ambiente	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Sinal é igual na categoria Ambiente	A distribuição de Sinal é diferente na categoria Ambiente	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Oscilação é igual na categoria Ambiente	A distribuição de Oscilação é diferente na categoria Ambiente	<.001	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

De acordo com os resultados da coluna de decisões no Quadro 13, assim como na análise da interferência do parâmetro da localização, todas as hipóteses nulas foram rejeitadas e com todos os valores do nível de significância foram muito inferiores. Portanto, conclui-se que de fato a presença de dispositivos conectados a wi-fi interfere na comunicação entre beacon e o receptor.

Para exemplificar, os próximos gráficos de demonstram a diferença entre os resultados obtidos.

Figura 52 – Comparação de resultados referentes à trajetória no receptor



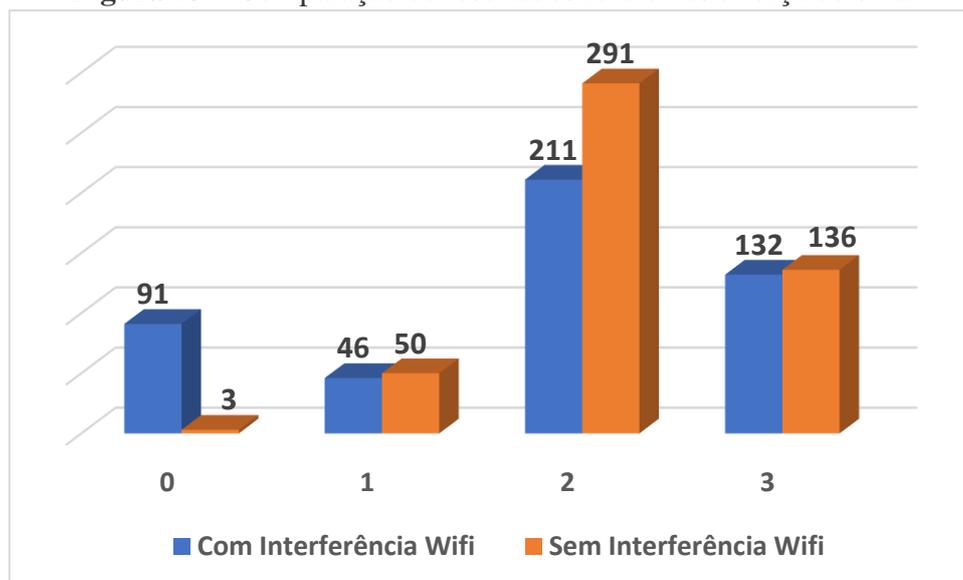
Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 52, o número de casos em que não houve comunicação entre o receptor e o beacon diminuiu de 91 para 3. Como resultado, aumentaram as ocasiões em que as informações alcançaram o gateway e, em seguida, foram transmitidas ao broker. Notavelmente,

houve um aumento de 52% nas situações em que o beacon conseguiu enviar informações até o broker, enquanto o aumento de envios apenas ao gateway foi de aproximadamente 15,61%.

Feita a comparação dos resultados em relação ao receptor, a Figura 53 mostra os dados em relação à força do sinal.

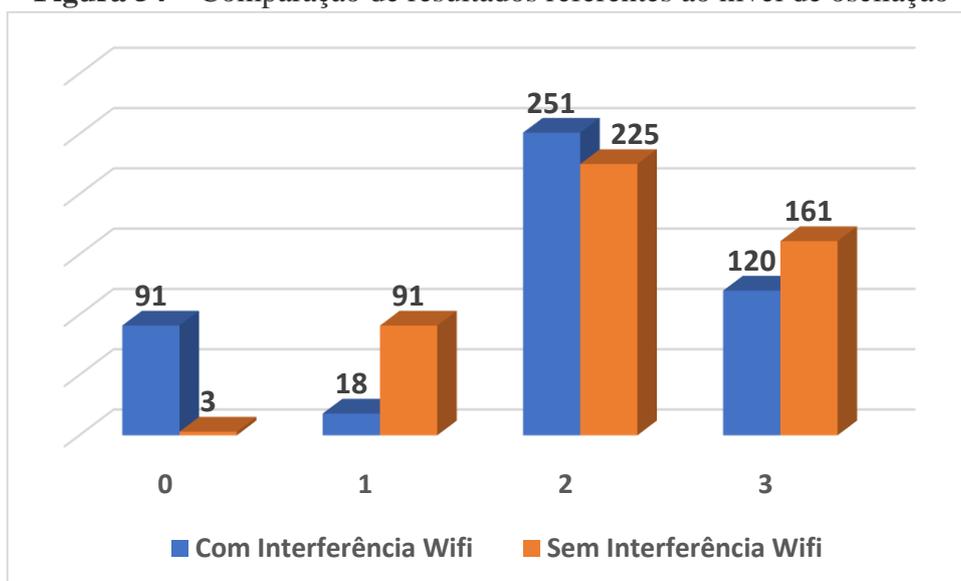
Figura 53 – Comparação de resultados referentes à força do sinal



Fonte: Autor.

Ao analisar a Figura 53, percebe-se que os valores para a força do sinal “muito fraca” ou “muito forte” foram semelhantes estatisticamente. Os resultados mais expressivos foram no caso da força do sinal “fraca”, onde houve o maior aumento de ocorrências (38%). Esses resultados compensaram principalmente as situações em que anteriormente não havia sinal, especialmente em cenários onde dispositivos conectados à rede Wi-Fi estavam próximos do receptor.

Enfim, a próxima figura indica como ficou a comparação entre os dados referentes ao nível de oscilação.

Figura 54 – Comparação de resultados referentes ao nível de oscilação

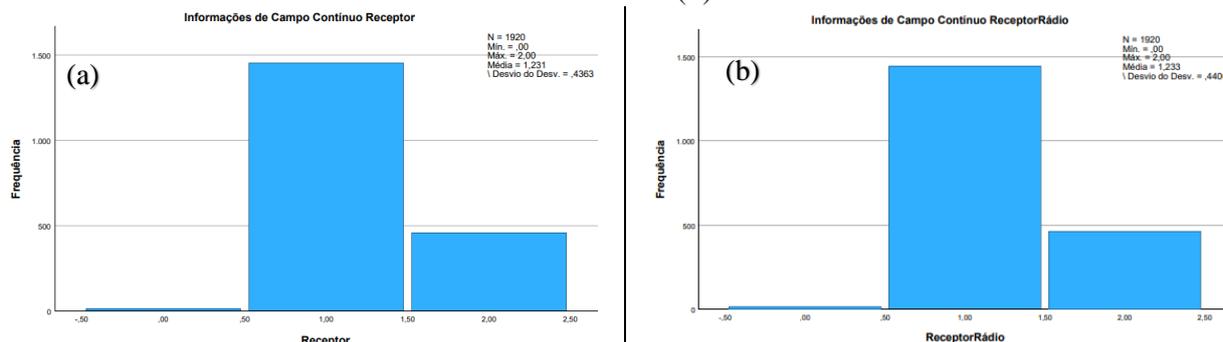
Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 54, foi nos dados do nível de oscilação que ocorreu a primeira situação onde um dos possíveis valores foi menor sem a presença de dispositivos conectados a uma rede wi-fi próximo do receptor. As situações em que a oscilação estava normal diminuíram 11,6%. Em compensação, os valores com muita oscilação aumentaram 405,5% e os que não apresentaram oscilação, 34,17%.

O fato de o principal aumento no nível de oscilação e ainda tendo ocorrências de situações que não houve compartilhamento de informações entre o beacon e o dispositivo receptor, justifica que dispositivos que estão conectados a redes wi-fi ou outros BLE próximos ao portador do beacon pode afetar. Além de, obviamente a capacidade de captação do receptor. Pois em todos os 3 casos apresentados nas Figuras, foram no terceiro pavimento (2 na extremidade do Bloco I e o outro na extremidade no Bloco K) e cerca de 62% dos dados com muita oscilação foram nas localizações do terceiro pavimento.

Portanto, as Figuras 52, 53 e 54 indicam que diferente das figuras dos rádios de comunicação, dispositivos que se comunicam com ondas na casa de 2,4GHz geram grandes interferências nos resultados dos testes de comunicação entre beacon e receptor. Os gráficos de barra gerados no software IBM SPSS e apresentados nas Figuras 55, 56 e 57 ajudam a representar como ficaram as distribuições de frequência dos dados comparando os cenários sem e com rádio.

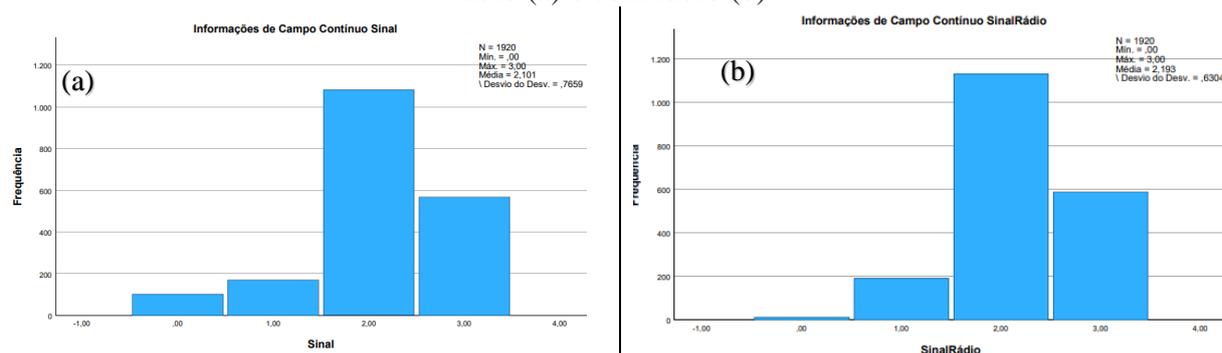
Figura 55 – Distribuição de frequência dos dados de receptor entre as situações sem rádio (a) e com rádio (b)



Fonte: Autor.

Comparando os dois gráficos, observa-se que são estatisticamente semelhantes, comprovando que o rádio não interfere na capacidade de comunicação entre o beacon e o dispositivo receptor.

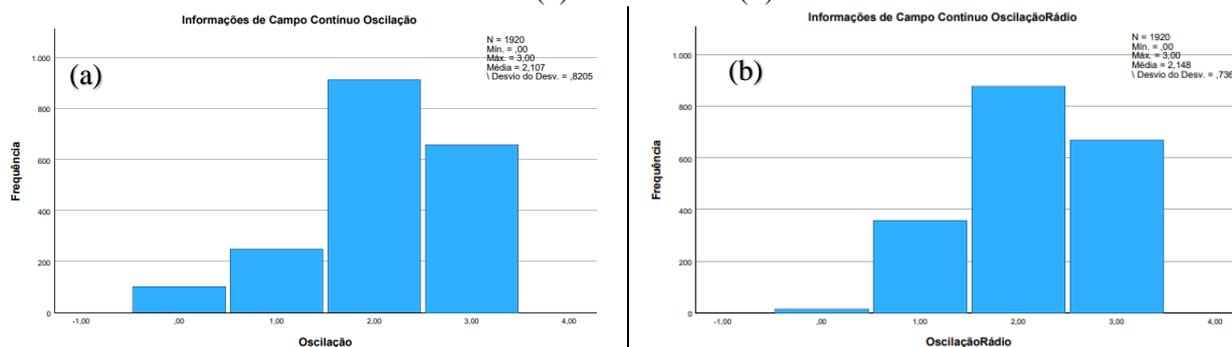
Figura 56 – Distribuição de frequência dos dados de força de sinal entre as situações sem rádio (a) e com rádio (b)



Fonte: Autor.

Diferente dos gráficos apresentados na Figura 80, ainda que sejam similares, os resultados em relação à força do sinal apresentam pequenas diferenças. As situações sem sinal diminuíram no cenário com o rádio, enquanto que as demais apresentaram pequeno aumento.

Figura 57 – Distribuição de frequência dos dados de força de sinal entre as situações sem rádio (a) e com rádio (b)



Fonte: Autor.

Por fim, as Figuras 57 (a) e (b) também são parecidas, mas apresentam pequenas mudanças na distribuição de frequência. As principais foram a diminuição de situações sem sinal e o aumento nas ocorrências com muita oscilação no gráfico em que consta a presença do rádio.

Sendo assim, quando se comparam os gráficos das Figuras 52, 53 e 54 com as Figuras 55, 56 e 57, pode-se concluir que dispositivos com comunicação em ondas de frequência 2,4GHz superam os rádios. Estes últimos apresentam quase nenhuma capacidade de interferir. Dessa forma, é indicado que os portadores de beacon nas atividades em altura no ambiente laboral realizem a comunicação com seus supervisores, sempre que possível, via rádios de comunicação.

Já em relação às interferências devido à localização de onde o portador esteja, uma alternativa seria a aquisição de amplificadores na capacidade de captação do receptor como raspberrys (aumentar capacidade de leitura e interpretação dos dados) e antenas para aumentar o alcance no recolhimento dos sinais. Isso porque, como na pesquisa foram utilizados como receptor programas gratuitos instalados em um computador, um suporte de dispositivos auxiliares tende a melhorar a comunicação entre beacon e receptor.

4.2 Análise de Monitoramento de Equilíbrio

Após a análise do experimento quanto à avaliação da capacidade de comunicação entre o beacon e o receptor, foram iniciadas as medições referentes à avaliação da capacidade do beacon monitorar o equilíbrio e identificar possíveis perdas de equilíbrio ou mudanças de postura corporal que possam indicar que o trabalhador está acessando um local de difícil locomoção. Para isso, novamente cada integrante da pesquisa passou por 80 circuitos de testes, totalizando novamente 160 circuitos ao total. Em cada uma, a pessoa que estava com o beacon ficou 10 segundos em cada uma das 7 posições ou posturas corporais definidas.

Assim, da mesma forma como na análise anterior, os dados coletados sobre os valores de cada vetor que é formado pelo acelerômetro do W6 Smart Beacon passaram pela análise do teste de normalidade para saber o tipo de teste de hipótese que seriam feitos.

Figura 58 – Resultados dos testes de normalidade dos dados do experimento do monitoramento de equilíbrio

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
EixoX	,043	1120	<,001	,983	1120	<,001
EixoY	,105	1120	<,001	,921	1120	<,001
EixoZ	,082	1120	<,001	,961	1120	<,001

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Fonte: Autor.

Conforme a Figura 82, assim como no experimento da comunicação entre beacon e receptor, os dados não foram considerados normais. Todos os níveis de significância ficaram abaixo de 0,050. Portanto, também foram utilizadas as ferramentas de análise dos testes de hipótese não-paramétricos.

As análises dos parâmetros selecionados estão descritas e os resultados encontrados estão apresentados nos itens a seguir.

4.2.1 Análise de Gênero e Biotipo

Assim como na avaliação da comunicação entre os dispositivos, o primeiro parâmetro avaliado foi referente ao biotipo do portador do beacon. Os resultados da análise dos testes não-paramétricos estão apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Resultados do teste de hipótese para verificar interferência de biotipo do portador do beacon

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Eixo X é igual na categoria Biotipo/Equilíbrio	A distribuição de Eixo X é diferente na categoria Biotipo/Equilíbrio	.872	Aceitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Eixo Y é igual na categoria Biotipo/Equilíbrio	A distribuição de Eixo Y é diferente na categoria Biotipo/Equilíbrio	.696	Aceitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Eixo Z é igual na categoria Biotipo/Equilíbrio	A distribuição de Eixo Z é diferente na categoria Biotipo/Equilíbrio	.786	Aceitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

Conforme os resultados dos valores do nível de significância das hipóteses nulas apresentadas no Quadro 14, conclui-se que os valores dos vetores nos eixos cartesianos entre as duas pessoas que participaram da pesquisa foram estatisticamente iguais. Desse modo, constata-se que o biotipo da pessoa que estava utilizando o beacon não gerou interferência nos resultados. Sendo assim, os dados passaram a ser avaliados de forma agrupada nas análises dos próximos parâmetros.

4.2.2 Análise de Posição do Beacon

Outro parâmetro que também foi analisado tanto na capacidade de monitoramento do equilíbrio quanto na de comunicação do beacon com o receptor, foi a posição do beacon. Como foi dito anteriormente, para cada uma das 8 posições definidas, foram feitos 10 circuitos de teste em cada um dos dois participantes. O que totalizou a mesma quantidade de amostras que nos experimentos para avaliar a capacidade de comunicação.

Assim, o Quadro 15 apresenta os resultados obtidos na análise dos testes de hipótese.

Quadro 15 – Resultados do teste de hipótese para verificar interferência da posição do beacon

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Eixo X é igual na categoria Posição/Equilíbrio	A distribuição de Eixo X é diferente na categoria Posição/Equilíbrio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Eixo Y é igual na categoria Posição/Equilíbrio	A distribuição de Eixo Y é diferente na categoria Posição/Equilíbrio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Eixo Z é igual na categoria Posição/Equilíbrio	A distribuição de Eixo Z é diferente na categoria Posição/Equilíbrio	<.001	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

A partir das conclusões apresentadas acima, todas as hipóteses nulas foram rejeitadas. Indicando que os valores nos eixos se comportam de forma diferente entre cada posição do beacon. Tal situação já era esperada, pois a posição do beacon está diretamente relacionada com a orientação dos eixos cartesianos do acelerômetro do W6 Smart Beacon (Figura 59).

Figura 59 – Direção dos eixos cartesianos do acelerômetro



Fonte: Especificação do Produto (2021).

Observando a indicação das direções dos eixos na Figura 59, fica claro que a forma como o portador esteja utilizando o W6 Beacon interfere diretamente nos valores, corroborando com as conclusões de rejeitar todas as hipóteses nulas.

A diferença entre os valores fica evidente no momento que se tirou a média entre os circuitos de testes para se identificar os valores atingidos nos eixos no momento de perda de equilíbrio. Os resultados estão apresentados no Apêndice 17.

4.2.3 Análise da Postura Corporal

Por fim, a última variável analisada para identificar capacidade de gerar resultados diferentes foi a das 7 posturas corporais que o portador do beacon precisaria ficar. Assim, os resultados dos testes de hipótese estão apresentados no Quadro 16.

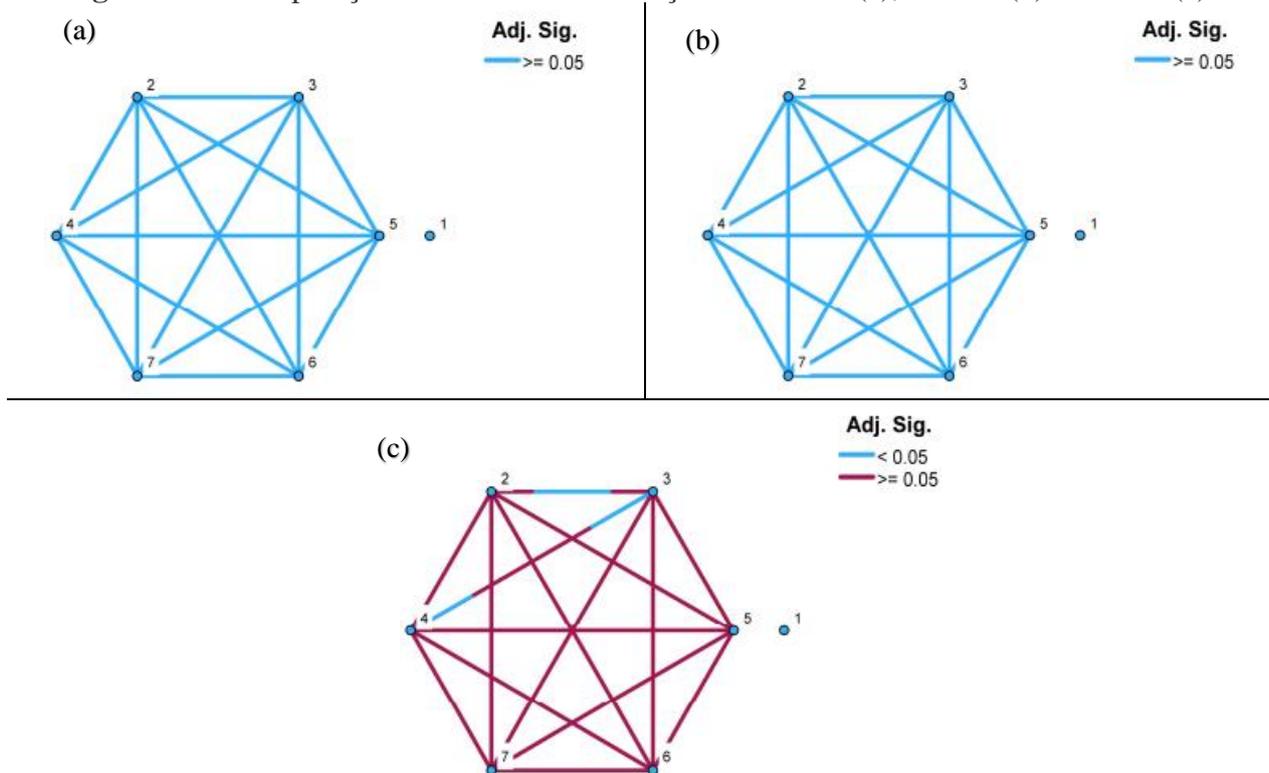
Quadro 16 – Resultados do teste de hipótese para verificar interferência da postura corporal

	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Eixo X é igual na categoria Postura Corporal	A distribuição de Eixo X é diferente na categoria Postura Corporal	.167	Aceitar Hipótese Nula
2	A distribuição de Eixo Y é igual na categoria Postura Corporal	A distribuição de Eixo Y é diferente na categoria Postura Corporal	.513	Aceitar Hipótese Nula
3	A distribuição de Eixo Z é igual na categoria Postura Corporal	A distribuição de Eixo Z é diferente na categoria Postura Corporal	.023	Rejeitar Hipótese Nula

Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 86, apenas os valores do eixo Z tiveram a hipótese nula rejeitada. Isso significa que o eixo Z é o que mais sofre mudança dos valores em relação à postura corporal do portador do beacon.

Os quadros com os resultados das comparações de Pairwise entre as posturas corporais estão apresentados nos Apêndices 18, 19 e 20. A interrelação entre as variáveis está apresentado nos gráficos da Figura 60.

Figura 60 – Comparações de Pairwise em relação ao Eixo X (a), Eixo Y (b) e Eixo Z (c)

Legenda: 1 – Estável; 2 – Para direita; 3 – Para esquerda; 4 – Para frente; 5 – Para trás; 6 – Pegando algo do chão e 7 – Agachando.

Fonte: Autor.

Conforme os gráficos das comparações de Pairwise apresentados na Figura 60, nota-se que a postura corporal estável (1) não chega a interagir com as demais. Servindo realmente como parâmetro de partida e comparação para indicar as mudanças nas posturas e posições que o corpo do portador do beacon estava.

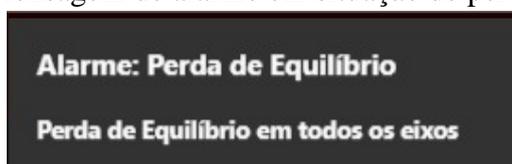
Confirmando o que foi indicado nas conclusões das hipóteses nulas, os gráficos dos eixos X e Y são idênticos. Já em relação ao eixo Z, a grande maioria das relações entre as posturas corporais atingiram o nível significativo superior a 0,050. Houve apenas dois casos em que não se conseguiu, que foram nas interações 2-3 e 3-4. Mesmo assim, as linhas das relações não ficaram totalmente azuis, logo, mesmo que o eixo Z tenha aparecido como o que se comporta diferente e podendo ser considerado o principal responsável por indicar uma perda de equilíbrio, é uma diferença pequena.

Sendo assim, da mesma forma como os estudos de Umer et al. (2018) e Yang et al. (2016), para se ter uma conclusão mais fidedigna e precisa, o monitoramento de equilíbrio deve ser feito com os três eixos em conjunto.

4.2.4 Análise da Notificação de Situação de Perda de Equilíbrio

Passadas as análises de verificação do que pode interferir nos valores dos eixos cartesianos, foi avaliada a capacidade do W6 Smart Beacon de emitir alertas em tempo real nas situações de perda de equilíbrio ou quase quedas (Figura 61).

Figura 61 – Mensagem de alarme em situação de perda de equilíbrio



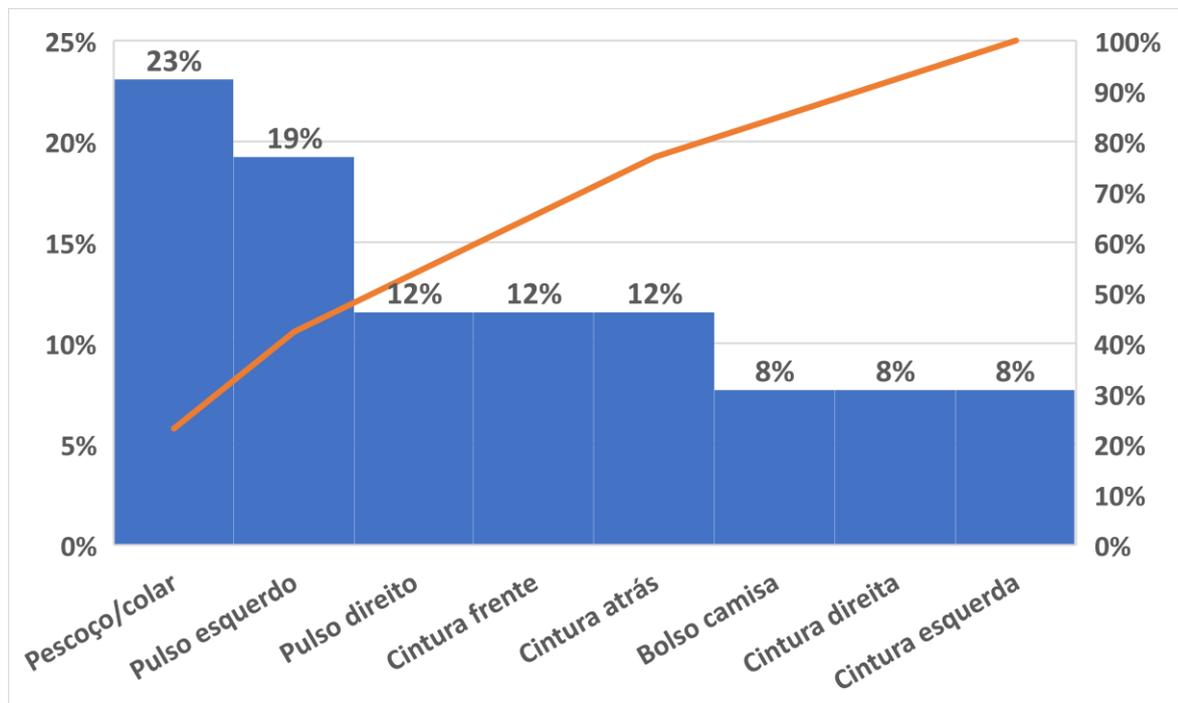
Fonte: Autor.

Depois de coletadas todas as informações, notou-se que em 100% dos casos em que foram emitidos os alertas de perda de equilíbrio, a mensagem apareceu de forma imediata. Tal fato constitui um ponto positivo que contribui para o acompanhamento em tempo real. Além disso, todas as situações de posturas corporais indicando perdas de equilíbrio (para direita, para esquerda, para frente e para trás), foram identificadas pelo sistema do broker e as mensagens foram emitidas. Trata-se de mais um ponto positivo para a análise de monitoramento do experimento.

Contudo, os resultados não apresentaram o melhor desempenho possível devido a seguinte situação: houve posturas que não indicavam perda de equilíbrio, mas em que se emitiu a mensagem de alerta.

Todos os casos em que tal situação ocorreu foram na postura de se abaixar para pegar algo do chão. Em 21,67% das vezes em que se ficou nessa posição houve identificação de perda de equilíbrio. As situações aconteceram igualmente entre as duas pessoas envolvidas na pesquisa. Contudo, de forma diferente em relação às posições do beacon, indicado na Figura 62.

Figura 62 – Gráfico de Pareto da distribuição de ocorrências em cada uma das posições do beacon



Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 62, percebe-se que foi na posição do pescoço/colar (23%) e no pulso esquerdo (19%) em que mais ocorreram leituras de perda de equilíbrio em situações de apenas se abaixar para simular pegar algo no chão.

No entanto, pode-se observar que, em todas as posições houve ocorrências desse tipo, inclusive nas de cintura. Somando as 4 posições, 30% das ocorrências aconteceram com o beacon em alguma posição da cintura. Logo, diferente do que disseram Habibnezhad et al., 2021; Yang et al., 2016; Umer et al., 2018; Lee et al., 2022 e Khan et al., 2022, o beacon estar posicionado na cintura não é garantia de que as leituras serão precisas em 100% dos casos. Nos resultados constatou-se que no pulso direito e preso no bolso da camisa houve o mesmo desempenho para o W6 Smart Beacon.

4.3 Resumo e Limitações dos Resultados

Comparando as análises entre cada parâmetro capaz de gerar interferência na comunicação, é possível concluir que a hierarquia, indo do que mais interferiu para o que menos interferiu, se caracterizou de acordo com o quadro abaixo.

Quadro 17 – Resumo dos resultados encontrados para cada parâmetro

PARÂMETRO AVALIADO	RESULTADOS
Biotipo	Hipóteses nulas de Sinal e Oscilação sem rádio e Sinal com rádio foram rejeitadas
Posição do beacon	Hipóteses nulas de Sinal e Oscilação sem rádio e com o rádio foram rejeitadas
Posição do rádio	Hipóteses nulas de Sinal e Oscilação foram rejeitadas
Localização	Todas as hipóteses nulas (Receptor, Sinal e Oscilação) foram rejeitadas
Dispositivos com frequência de 2,4GHz	Todas as hipóteses nulas (Receptor, Sinal e Oscilação) foram rejeitadas
Rádio	Comportamento similar dos dados nos experimentos sem o rádio, houve interferência maior em relação à sinal e oscilação

Fonte: Autor.

Analisando os resultados encontrados para cada parâmetro do Quadro 17, com base na quantidade de hipóteses nulas que foram rejeitadas, nota-se que a localização em que o portador do beacon se encontra bem como a presença de dispositivos que se comunicam com frequência de 2,4GHz foram os parâmetros que se encontraram no topo pois 100% das hipóteses nulas foram rejeitadas. Cabe pontuar que a localização constitui um parâmetro fixo, sendo o principal fator que interfere diretamente na comunicação. Nesse sentido, tendo em vista que a presença de dispositivos é variável, foi essencial, para esta pesquisa, considerar a questão das barreiras físicas existentes no local.

Contudo vale salientar de que a dissertação teve apenas o envolvimento em um único prédio de instituição universitária, logo o alcance máximo foram 50 metros na distância horizontal e 9 metros na vertical. Tal fato se configura como uma limitação do estudo e fica como proposta para estudo futuros fazer o teste da comunicação com distâncias maiores tanto na horizontal quanto na vertical.

Em seguida, há de se destacar as questões das posições do beacon e do rádio. Na perspectiva da análise estatística, eles interferiram pouco, havendo rejeição das hipóteses nulas nas questões de força do sinal e nível de oscilação. Dentre as posições, foi visto que as na cintura os resultados foram um pouco piores dos que as demais. Contudo, na cintura pode haver menos interferência ao longo da jornada de trabalho. Como exemplo, as posições nos pulsos podem estar em contato direto com as ferramentas e materiais. Mesmo com um desempenho pior, não foi comprometida a capacidade de comunicação do beacon com o dispositivo receptor. Sendo assim, seria uma boa alternativa para os trabalhadores envolvidos em uma atividade em altura.

Além disso, o biotipo do portador do beacon pouco interferiu, alcançando apenas metade das hipóteses nulas foram rejeitadas. No estudo só foram envolvidas duas pessoas diferentes, de forma geral não foi possível obter uma análise capaz de contemplar um campo amostral mais fidedigno sobre a capacidade do tipo de biotipo interferir na capacidade de comunicação. Como foi visto nos resultados, houve poucas diferenças, mas elas existiram. Sendo assim, ainda existe um campo para análise e estudo sobre a capacidade do biotipo do portador do beacon interferir na capacidade de comunicação.

Por fim, com base nos resultados e nos comportamentos apresentados nos gráficos, a presença do rádio praticamente não interfere na comunicação. Isso se justifica pela frequência de comunicação ficar na casa dos Hz e não dos GHz. Assim, as construtoras não iriam precisar mudar a ferramenta de comunicação mais utilizada nas obras. Em todas as posições que o W6 Smart Beacon foi testado, o rádio não conseguiu comprometer a capacidade de comunicação com o receptor.

Já em relação à análise do monitoramento de equilíbrio do W6 Smart Beacon, os resultados encontrados pelos parâmetros estão resumidos no Quadro 18.

Quadro 18 – Resumo dos resultados encontrados para cada parâmetro

PARÂMETRO AVALIADO	RESULTADOS
Biotipo	Nenhuma hipótese nula foi rejeitada
Posição do beacon	Todas as hipóteses nulas (Eixo X, Y e Z) foram rejeitadas
Postura corporal	Hipótese nula do Eixo Z foi rejeitada
Notificação de perda de equilíbrio	Instantâneo em 100% dos casos
Identificação de perdas de equilíbrio	Em 21,67% da postura de se abaixar, foram identificadas perdas de equilíbrio

Fonte: Autor.

Conforme as informações do Quadro 9, nota-se que a questão do biotipo interferiu ainda menos em relação ao monitoramento do equilíbrio se comparado com a capacidade de comunicação. Como esperado, a posição em que o beacon é utilizado muda a direção dos eixos cartesianos do acelerômetro e, por isso houve rejeição em todas as hipóteses nulas. Já o que se refere em relação à postura corporal, o eixo que mais sofre mudanças é o Z. Pois foi o único que teve a hipótese nula rejeitada.

Na questão da identificação e alarme de situações de perda de equilíbrio, o W6 Smart Beacon teve desempenho satisfatório. Todas as situações de perda de equilíbrio foram identificadas, sendo que somente houve o alarme em 21,67% das vezes que o indivíduo estava apenas se abaixando. Além disso, sempre que se identificou uma perda de equilíbrio, a notificação era feita de forma instantânea.

Segundo os dados levantados no experimento do monitoramento de equilíbrio, foi constatado que as posições da cintura tiveram melhor desempenho. Assim como foi visto nos artigos de Habibnezhad et al. (2021), Yang et al. (2016), Umer et al. (2018), Lee et al. (2022) e Khan et al. (2022), estando o dispositivo preso na cintura, ele fica mais próximo do centro gravitacional e da massa corporal, por isso os resultados de monitoramento de equilíbrio tendem a ser melhores.

Apesar do resultado positivo sobre o monitoramento de altura, o estudo não analisou como se comporta o dispositivo em situações em que ocorre uma mudança brusca de postura corporal bem como de outras ocasiões como saltos ou de rapel. Como essas atividades são comuns no setor da construção civil, ainda existe um campo de informações a serem investigadas

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, as considerações finais foram divididas em conclusões e propostas de trabalhos futuros. Apresentados nas seções a seguir.

5.1 Conclusões

Após o tratamento dos dados coletados ao longo dos experimentos realizados com o W6 Smart Beacon, é possível chegar a algumas conclusões.

A dissertação estabeleceu um processo experimental para avaliar as limitações e a usabilidade de dispositivos de monitoramento humano em edificações. Através de testes, que incluíram análise da força do sinal, nível de oscilação, trajetória de comunicação e interações com outros dispositivos eletrônicos, foram identificados fatores críticos que influenciam o desempenho do dispositivo. Foram observadas variações significativas na força do sinal em diferentes posições e ambientes, além de uma melhoria na comunicação entre o beacon e o receptor, evidenciada pela redução de casos sem comunicação. Assim, o estudo alcançou o objetivo de compreender as capacidades e restrições dos dispositivos de monitoramento humano, fornecendo informações para sua aplicação eficiente.

Em relação à capacidade de comunicação do beacon, mesmo com a presença de interferências, observou-se que o dispositivo é capaz de se comunicar. É verdade que a qualidade da comunicação cai devido a presença de barreiras físicas e à medida que o portador do beacon se distancia do local onde está o dispositivo receptor. Contudo, o W6 Smart Beacon se mostrou capaz de realizar a comunicação mesmo em condições consideradas como improváveis para concretizar o envio do sinal. Tal fato foi comprovado nas situações em que o portador do beacon se encontrou na localização da extremidade do Bloco I do 3º pavimento, distante 50 metros na horizontal e 6 metros na vertical da localização do receptor, com presença de outros dispositivos próximos tanto do beacon quanto do receptor. Nesse caso, verificou-se que mesmo com a distância, o dispositivo continuou enviando informações até o gateway.

Dentre os parâmetros avaliados, de fato a questão da localização do portador do beacon foi a que se mostrou com maior capacidade de interferir na comunicação. Em seguida aparece a presença de outros dispositivos que se comunicam em frequência de 2,4 GHz. A posição do beacon e a presença do rádio, estatisticamente pouco interferiram na capacidade de comunicação. Algumas hipóteses foram rejeitadas, porém pouco quando comparado com os parâmetros de localização e presença de dispositivos conectados via wi-fi. Já na análise do biotipo, foi visto que praticamente não gerou interferência nos resultados.

Em relação à avaliação do monitoramento de perdas de equilíbrio, o dispositivo apresentou bons resultados. O biotipo estatisticamente não gera interferência no monitoramento. A posição que o beacon é utilizado muda a direção dos eixos cartesianos do acelerômetro, por isso houve rejeição em todas as hipóteses nulas. Já o que se refere em relação à postura corporal, o eixo que mais sofre mudanças é o Z. Pois foi o único que teve a hipótese nula rejeitada. Todas as situações de perda de equilíbrio foram identificadas, apenas 21,67% das vezes que apenas estava se abaixando que se foi alarmado. Além disso, sempre que se identificou uma perda de equilíbrio, a notificação era feita de forma instantânea.

Segundo a análise dos foi constatado que as posições da cintura tiveram melhor desempenho de forma geral. Apesar de resultados levemente inferiores na capacidade de comunicação, não se configurou como algo que comprometa. Além disso, estando o dispositivo preso na cintura, ele fica mais próximo do centro gravitacional e da massa corporal, por isso os resultados de monitoramento de equilíbrio tendem a ser melhores. Utilizando um dispositivo gateway com comunicação via rede LoRaWAN, a capacidade de comunicação e tratamento dos dados tende a aumentar substancialmente.

Então, de forma geral conclui-se que o W6 Smart Beacon é um dispositivo capaz de auxiliar a gestão de atividades em altura e ser utilizado para o monitoramento de pessoas no setor da construção civil. Se aprimorada a capacidade do receptor, com a aquisição de dispositivos auxiliares que utilizem a tecnologia de comunicação LoRAWAN, o desempenho tende a ser melhor e o equipamento tem capacidade de se tornar ferramenta útil no setor de segurança do trabalho.

5.2 Propostas de Trabalhos Futuros

Os dispositivos de monitoramento podem ser utilizados para identificar potenciais riscos e padrões de comportamento que possam comprometer a segurança dos trabalhadores em altura. Com a coleta de dados em tempo real, é possível desenvolver sistemas de alerta precoce e estratégias de intervenção para prevenir acidentes.

O monitoramento contínuo das atividades em altura permite uma análise detalhada dos procedimentos realizados, identificando possíveis gargalos e oportunidades de melhoria na execução das tarefas. Com base nas pesquisas sendo realizadas e as novas tecnologias, é possível desenvolver estratégias para otimizar processos, reduzir o tempo de execução das atividades e aumentar a produtividade.

Sensores mais precisos, algoritmos avançados de análise de dados e sistemas de comunicação sem fio são aplicações que podem desenvolver dispositivos de monitoramento específicos para as necessidades de cada setor industrial. Assim as tecnologias irão permitir uma supervisão mais direcionada e eficaz na prevenção de acidentes e melhorar a gestão e controle dos fatores humanos e tomadas de decisão dos trabalhadores envolvidos diretamente nas atividades acima de 2 metros de altura.

Uma das considerações importantes para futuras pesquisas é a necessidade de avaliar a capacidade de comunicação em maiores distâncias. Os canteiros de obras são ambientes vastos e complexos, muitas vezes estendendo-se por grandes áreas. Portanto, é crucial que os dispositivos de supervisão possuam uma capacidade de comunicação robusta que permita cobrir essas distâncias sem comprometer a qualidade do sinal.

Uma sugestão promissora para abordar essa questão é a implementação de um gateway que se comunique via LoRaWAN. O LoRaWAN é uma tecnologia de comunicação sem fio de longo alcance que se destaca pela sua capacidade de transmitir dados em grandes distâncias, com baixo consumo de energia. Integrar um gateway LoRaWAN ao sistema de supervisão pode oferecer uma solução eficaz para estender o alcance da comunicação, permitindo monitorar trabalhadores em áreas distantes do canteiro de obras.

Ao invés do programa Node-Red, que é uma plataforma de desenvolvimento visual utilizada principalmente para a criação de fluxos de comunicação entre dispositivos IoT, a proposta de integrar o LoRaWAN oferece uma abordagem alternativa e potencialmente mais eficiente para garantir a comunicação em longas distâncias. Isso possibilitaria uma cobertura mais abrangente do canteiro de obras, facilitando a supervisão e o monitoramento das atividades em altura. Essas iniciativas representam passos significativos em direção a um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente para todos os envolvidos na indústria da construção civil.

Outra oportunidade de melhoria é a questão das mudanças bruscas de postura corporal dos trabalhadores. Embora o W6 Smart Beacon possa detectar movimentos, sua capacidade de identificar rapidamente alterações súbitas na postura corporal pode ser desafiadora. Em atividades em altura, onde os movimentos podem ser rápidos e imprevisíveis, essa limitação pode comprometer a capacidade do dispositivo de alertar prontamente os supervisores sobre possíveis situações de risco.

Além disso, o acesso a patamares diferentes dentro do canteiro de obras pode representar outra limitação. O dispositivo pode enfrentar dificuldades em rastrear com precisão a localização dos trabalhadores em áreas onde há múltiplos níveis ou estruturas complexas. Isso pode resultar em lacunas na supervisão e na capacidade de resposta em caso de emergências.

Apesar dessas limitações, é fundamental destacar que a pesquisa sobre a aplicabilidade do W6 Smart Beacon na supervisão de atividades em altura na construção civil ainda representa um avanço significativo na busca por soluções inovadoras para melhorar a segurança dos trabalhadores. Ao reconhecer e abordar essas limitações de forma proativa, os pesquisadores e profissionais da área podem trabalhar para otimizar o desempenho do dispositivo e desenvolver estratégias complementares para garantir um ambiente de trabalho mais seguro e protegido para todos os envolvidos.

Por fim, é recomendando que sejam avaliados outros dispositivos de monitoramento de pessoas. Com um maior banco de dados a respeito dos produtos presentes no mercado, os gestores e profissionais de segurança do trabalho poderão tomar as melhores decisões a respeito de qual dispositivo escolher para fazer uma melhor supervisão de atividades em altura.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, R.R. de; CRUZ, F.M. da. Fatores organizacionais: um estudo de caso do custo-benefício da implantação de medidas de controle em construções de estruturas pré-moldadas. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, [S. l.], v. 11, n. 1, pág. e33711124981, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.24981.
- AMINBAKHSI, S.; GUNDUZ, M.; SONMEZ, R. Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, Chicago, v. 46, p. 99–105, 2013.
- AMMAD, S.; ALALOUL, W.S.; SAAD, S.; e QURESHI, A.H. 2021. “Uso de equipamentos de proteção individual (EPI) em projetos de construção: uma revisão sistemática e uma abordagem PLS inteligente.” *Ain Shams Eng. J.* 12 (4): 3495–3507. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.001>.
- ARMITAGE, C.J.; CONNER, M. Eficácia da teoria do comportamento planejado: uma revisão meta-analítica. *British Journal of Social Psychology*. 40 (4): 471–499. 2001. doi : 10.1348 / 014466601164939 Teoria do comportamento planejado - https://pt.abcdef.wiki/wiki/Theory_of_planned_behavior
- AYOB A.; SHAARI A.A.; ZAKI M.F.M.; MUNAAIM, M.A.C. Fatal occupational injuries in the Malaysian construction sector—causes and accidental agents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 140, pp. 1-11, 2018.
- BABALOLA, A.; et al.. A systematic review of the application of immersive technologies for safety and health management in the construction sector. *Journal of Safety Research*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.01.007>
- BARKOKÉBAS J., B.; ZLATAR, T.; CRUZ, F. M. da; LAGO, E. M. G.; MARTINS, A. R. B.; VASCONCELOS, B. M. Segurança e saúde do trabalho para uma cultura prevencionista no ambiente laboral. Recife: Editora da Universidade de Pernambuco. 1 ed. 2020.
- BEUS, J.M.; DHANANI, L.Y.; MCCORD, M.A.. A meta-analysis of personality and workplace safety: addressing unanswered questions. *J. Appl. Psychol.* 100 (2), 481–498. 2015.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 1 - Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2020. Disponível em: http://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-01-atualizada-2020.pdf

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 18 - Condições de Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2020. Disponível em:
https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-18-atualizada-2020.pdf

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 28 – Fiscalizações e Penalidades. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2023. Disponível em:
https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-28-atualizada-2023.pdf

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 35 – Trabalho em Altura. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022. Disponível em:
<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR35/NR-35.pdf>

BUREAU OF LABOR STATISTICS, National Census of Fatal Occupational Injuries. <http://www.bls.gov/iif/oshwc/cfoi/cftb0322.htm>, 2023.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). PIB Brasil e Construção Civil, 2018. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>.

CAMERON, I.; GILLAN, G.; DUFF, A.R. Questões na seleção de equipamentos de prevenção e detenção de quedas, Eng. Constr. Arquiteto. Gerenciar. 14. 2007. <https://doi.org/10.1108/09699980710760676>.

CAMERON I.; HARE B.; DAVIES R. Fatal and major construction accidents: a comparison between Scotland and the rest of the Great Britain. Saf Sci., v. 46, no. 4, pp. 692–708, 2008.

CHAN, A.P.C.; et al.. Fatalidades de trabalho em altura nos trabalhos de reparação, manutenção, alteração e adição, J. Constr. Eng. Gerenciar. 134. 2008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:7\(527\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(527)).

CPWR, A indústria da construção dos EUA e seus trabalhadores, https://www.cpwr.com/sites/default/files/publications/The_6th_Edition_Construction_e_Chart_Book.pdf, (2018).

CYMA-WEJCHENIG, M.; TARNAS, J.; MARCINIAK, K.; & STEMPLEWSKI, R. The Influence of Proprioceptive Training with the Use of Virtual Reality on Postural Stability of Workers Working at Height. Sensors (Basel, Switzerland), 20(13), 3731. 2020. <https://doi.org/10.3390/s20133731>

- CHI, C.-F.; LIN, S.-Z.; DEWI, R. S.. Graphical fault tree analysis for fatal falls in the construction industry. *Accident Analysis & Prevention*. Volume 72, 359-369. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.07.019>. 2014.
- CHOUDHRY, R. M.; FANG, D.; & MOHAMMED, S. The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art. *Safety science*, 45(10), 993-1012. 2007.
- DEVORE, Jay L. Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências / Jay L. Devore; [tradução Joaquim Pinheiro Nunes da Silva]. — São Paulo: Cengage Learning, 2006.
- DONG, X. S.; et al.. Fatal falls and PFAS use in the construction industry: Findings from the NIOSH FACE reports. *Accident Analysis & Prevention*. 102, 136-143. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.028>. 2017.
- ERTEK, G.; & KAILAS, L.. Analyzing a decade of wind turbine accident news with topic modeling. *Sustainability (Switzerland)*, 13(22). 2021. doi:10.3390/su132212757
- ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO. W6 Smart Multiuse Beacon: Product Especification. Moko Smart, 2021.
- EXECUTIVO DE SAÚDE E SEGURANÇA, 2021. Lesões fatais no Reino Unido decorrentes de acidentes de trabalho na Grã-Bretanha: resultados principais de 2019/20. <http://www.hse.gov.uk/statistics/fatals.htm>.
- FANG, W.; DING, L.; LUO, H.; LOVE, P. E.D.. Falls from heights: A computer vision-based approach for safety harness detection. *Automation in Construction*. 91, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.018>. 2018.
- FERREIRA, M. de M.; SOUZA, C. E. dos S.; RIBEIRO, C. A.; GALDINO, D. B.; RICCI, G. L. Avaliação sobre a prevenção de riscos na atividade de trabalho em prensas. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, v. 4, n. 8, p. 48-68, 2012.
- FORTEZA, F. J.; CARRETERO-GÓMEZ, J. M.; SESÉ, A.. Organizational factors and specific risks on construction sites. *Journal of Safety Research*. 81, 270-282. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.03.004>. 2022.
- FRANKO, J.; DU, S.; KALLWEITT, S.; DUELBERG, E.; ENGEMANN, H.. Design of a Multi-Robot System for Wind Turbine Maintenance. *Energies*. 2020. 13(10):2552. <https://doi.org/10.3390/en13102552>

GELMINI, S.; STRADA, S.; TANELLI, M.; SAVARESI, S.; GUZZON, A.. Automatic detection of human's falls from heights for airbag deployment via inertial measurements. *Automation in Construction*. 120, 103358. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103358>.

GOH, Y. M.; BINTE SA'ADON, N. F.. Cognitive Factors Influencing Safety Behavior at Height: A Multimethod Exploratory Study. *Journal of Construction Engineering and Management*. 141(6), 04015003. 2015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000972](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000972).

GOH, Y. M.; GOH, W. M.. Investigating the effectiveness of fall prevention plan and success factors for program-based safety interventions. *Safety Science*. 87, 186-194. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.007>.

GOH, Y. M.; GUO, B. H.W.. FPSWizard: A web-based CBR-RBR system for supporting the design of active fall protection systems. *Automation in Construction*. 85, 40-50. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.020>.

GUO, B. H.W.; GOH, Y. M.. Ontology for design of active fall protection systems. *Automation in Construction*. 82, 138-153. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.009>.

GURCANLI, G. E.; BILIR, S.; SEVIM, M. Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science*, Amsterdam, v. 80, n. 112, p. 1–12, 2015.

HABIBNEZHAD, M.; et al.. Neurophysiological testing for assessing construction workers' task performance at virtual height. *Automation in Construction*. 113, 103143. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103143>.

HABIBNEZHAD, M.; et al.. Comparison of ironworker's fall risk assessment systems using an immersive biofeedback simulator. *Automation in Construction*. 122, 103471. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103471>.

HALABI, Y.; et al.. Causal factors and risk assessment of fall accidents in the U.S. construction industry: A comprehensive data analysis (2000–2020). *Safety Science*. 146, 105537. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105537>.

HALE A.; WALKER D.; WALTERS N.; BOLT H. Developing the understanding of underlying causes of construction fatal accidents. *Safety Science*, v. 50, pp. 2020–2027, 2012.

HANAPI, N.M., et al. “Identificar as causas raízes e medidas de mitigação de acidentes de queda na construção.” *Ônibus Gading. Gerenciar. J.* 17 (1): 65–79. 2013.

HARZING, A.-W.; ALAKANGAS, S.. Google Scholar, Scopus and Web of Science: uma comparação longitudinal e interdisciplinar. *Cientometrics.* 106 (2), 787-804. 2016.

HASLAM, R.A.; HIDE, S.A.; GIBB, A.G.F.; GYI, D.E.; PAVITT, T.; ATKINSON, S.; DUFF, A.R.. Contributing factors in construction accidents. *Appl. Ergon.* 36 (4), 401–415. 2005.

HINZE, J.; HALLOWELL, M.; e BAUD, K. “Melhores práticas de segurança na construção e relações com o desempenho da segurança.” *J.Constr. Eng. Gerenciar.* 139 (10): 04013006. 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000751](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000751).

HOFMANN, D.A.; MORGESON, F.P.; GERRAS, S.J.. Climate as a moderator of the relationship between leader-member exchange and content specific citizenship: safety climate as an exemplar. *J. Appl. Psychol.* 88 (1), 170–178. 2003.

HON, C. K.H.; CHAN, A. P.C.. Fatalities of repair, maintenance, minor alteration, and addition works in Hong Kong. *Safety Science.* 51, Issue 1, 85-93. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.06.013>.

HOLA, B.; & SZÓSTAK, M. Analysis of the Development of Accident Situations in the Construction Industry. *Procedia Engineering*, 91, 429-434. 2014.

HUNG, Y. H.; et al.. Identifying fall-protection training needs for residential roofing subcontractors. *Applied ergonomics*, 44(3), 372–380. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.09.007>

ILOSTAT - International Labor Organization, Statistics on Safety and Health at Work. <https://ilostat.ilo.org/topics/safety-and-health-at-work/>, 2019.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, 2018. Safety and Health at Work. Retrieved from: <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang-en/index.htm>.

JAHANGIRI, M.; SOLUKLOEI, H. R. J.; KAMALINI, M.. 2019. A neuro-fuzzy risk prediction methodology for falling from scaffold. *Safety Science.*, 117, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.009>.

JEON, S.; KIM, S.; KAMG, S.; e KIM, K. Sistema inteligente de monitoramento de ganchos de segurança para canteiros de obras. *Em Proc., 2020 IEEE Int. Conf. sobre*

Eletrônicos de Consumo — Ásia, ICCE — Ásia 2020, 19–22. Nova York: IEEE. 2020.
<https://doi.org/10.1109/ICCE-Asia49877.2020.9277155>

JISHA (Associação Japonesa de Segurança e Saúde Industrial). 2017. “Estatísticas de acidentes industriais no Japão.” Acessado em 3 de maio de 2021.
https://www.jisha.or.jp/english/statistics/accidents_in_detail_2017.html

KANG, Y.. Use of Fall Protection in the US Construction Industry. *Journal of Management in Engineering*. 34(6), 04018045. 2018.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000655](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000655)

KANG, Y.; SIDDIQUI, S.; SUK, S. J.; CHI, S.; KIM, C.. Trends of Fall Accidents in the U.S. Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*. 143(8), 04017043. 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001332](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001332)

KASKUTAS, V.; DALE, A. M.; LIPSCOMB, H.; & EVANOFF, B. Fall prevention and safety communication training for foremen: report of a pilot project designed to improve residential construction safety. *Journal of safety research*, 44, 111–118. 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2012.08.020>

KHAN, M.; KHALID, R.; ANJUM, S.; TRAN, S. V-T.; PARK, C.. Fall Prevention from Scaffolding Using Computer Vision and IoT-Based Monitoring. *Journal of Construction Engineering and Management*. 148(7), 04022051. 2022.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002278](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002278)

KHAN, M.; KHALID, R.; ANJUM, S.; KHAN, N.; CHO, S.; PARK, C.. Tag and IoT based safety hook monitoring for prevention of falls from height. *Automation in Construction*. 136, 104153. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104153>.

KINES, P.; e MIKKELSEN, K.L. Efeitos do tamanho da empresa sobre os riscos e relatórios de lesões por queda em elevação no setor de construção. *J. Ocupar. Meio Ambiente. Med.* 45 (10): 1074-1078. 2003.
<https://doi.org/10.1097/01/jom/0000085887.16564.3a>

KOUABENAN, D.R.; NGUEUTSA, R.; MBAYE, S.. Safety climate, perceived risk, and involvement in safety management. *Saf. Sci.* 77 (3), 72–79. 2015.

LEE, S.; KOO, B.; YANG, S.; KIM, J.; NAM, Y.; KIM, Y.. Fall-from-Height Detection Using Deep Learning Based on IMU Sensor Data for Accident Prevention at Construction Sites. *Sensors*. 22(16):6107. 2022. <https://doi.org/10.3390/s22166107>

- LESTARI, R. I.; GUO, B. H. W.; GOH, Y. M.. Causes, Solutions, and Adoption Barriers of Falls from Roofs in the Singapore Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*. 145(5), 04019027. 2019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001649](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001649)
- LEE, D. G.; OH, S.; SON, H. I.. Maintenance Robot for 5-MW Offshore Wind Turbines and its Control. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 21, no. 5, pp. 2272-2283, Oct. 2016, doi: 10.1109/TMECH.2016.2574711.
- LI, H.; LU, M.; CHAN, G.; & SKITMORE, M. Proactive training system for safe and efficient precast installation. *Automation in Construction*, 49(PA), 163–174. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.010>.
- LI, F.; et al.. Work-related and non-work-related accident fatal falls in Shanghai and Wuhan, China. *Safety Science*. 117, 43-48. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.001>.
- LIBERATI, A.; et al.. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta Analyses of Studies that Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62, e1-e34. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006>
- LIM, J.; ZANI, G.; JUNG, D.G.; PARK, C.; KIM, D. Y.. Computer Vision Process Development regarding Worker's Safety Harness and Hook to Prevent Fall Accidents: Focused on System Scaffolds in South Korea. *Advances in Civil Engineering*, 4678479. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4678479>
- LIU, J-H; PADRIGALAN, K. Design and Development of a Climbing Robot for Wind Turbine Maintenance. *Applied Sciences*. 11(5):2328. 2021. <https://doi.org/10.3390/app11052328>
- MANUAL DO USUÁRIO. LPS8 LoRaWAN Gateway User Manual. Dragino, 2021.
- MILANOWICZ, M.; BUDZISZEWSKI, P.; & KEDZIOR, K.. Experimental study of the loss of balance process before falling from a height. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 18(1), 55–64. 2016.
- NAVEEN KUMAR, T.; JAGANNATHA, S.R.; VENKATESHA, V.T.. Rise in Deaths Due to Fall from Height: A 3-Year Retrospective Study. *Medico Legal Update.*, v. 19, no. 2, pp. 113–116, 2019.

NGUYEN, L. D.; TRAN, D. Q.; CHANDRAWINATA, M. P.. Predicting Safety Risk of Working at Heights Using Bayesian Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*. 142(9), 04016041. 2016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001154](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001154)

OLCAY, Z.F.; SAKALLI, A.E.; TEMUR, S.; YAZICI, A. A study of the shift in fatal construction work-related accidents during 2012–2019 in Turkey, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2021.

PEREIRA, F. S. J.; SOARES, W. de A.; FITTIPALDI, E. H. D.; ZLATAR, T.; & BARKOKÉBAS JUNIOR, B.. Risk management during construction of electric power substations. *Gestão & Produção*, 26(Gest. Prod., 2019 26(4)), e4639. 2019.

PIAO, Y.; XU, W.; WANG, T-K; CHEN, J-H. Dynamic Fall Risk Assessment Framework for Construction Workers Based on Dynamic Bayesian Network and Computer Vision. *Journal of Construction Engineering and Management*. 147(12), 04021171. 2021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002200](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002200)

POON, S.W.; TANG, S.L.; WONG, F.K.W. *Gestão e Economia da Segurança na Construção em Hong Kong*, Hong Kong University Press, Hong Kong, 9789622099067, 2008.

REY-BECERRA, E.; BARRERO, L. H.; ELLEGAST, R.; & KLUGE, A.. The effectiveness of virtual safety training in work at heights: A literature review. *Applied ergonomics*, 94, 103419. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103419>

RIBEIRO, R. F.; BARKOKÉBAS JUNIOR, B.; LAGO, E. M. G.; MARTINS, A. R. B.; CRUZ, F. M. da .; & ZLATAR, T.. Occupational safety risks during maintenance of telecommunication towers. *Production*, 31(Prod., 2021 31), e20200108. 2021. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20200108>

ROBSON, L. S., Lee, H., Amick Iii, B. C., Landsman, V., Smith, P. M., & Mustard, C. A. Preventing fall-from-height injuries in construction: Effectiveness of a regulatory training standard. *Journal of safety research*, 74, 271–278. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.06.007>

ROSA FILHO, C. de D.. *A utilização do BIM 5D como ferramenta de gestão do custo com segurança do trabalho na construção civil*. Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

SAFEWORK A. *Work-related Traumatic Injury Fatalities*, Australia 2019.

SAFE WORK AUSTRALIA, Trabalhando em altura.

<https://www.safeworkaustralia.gov.au/alturas>, (2018). Acessado em: 13 de março de 2018.

SALES, R. de., & CAFÉ, L.. Diferenças entre tesouros e ontologias. *Perspectivas Em Ciência Da Informação*, 14(Perspect. ciênc. inf., 2009 14(1)), 99–116. 2009.

<https://doi.org/10.1590/S1413-99362009000100008>

SANTIAGO OLIVEIRA, S., DE ALBUQUERQUE SOARES, W., & VASCONCELOS, B. M. Fatal fall-from-height accidents: Statistical treatment using the Human Factors Analysis and Classification System – HFACS. *Journal of Safety Research*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.05.004>

SEO, D.C.. An explicative model of unsafe work behavior. *Saf. Sci.* 43 (3), 187–211. 2005.

SHAPPELL S.A.; WIEGEMANN D.A. A Human Error Approach to Aviation. *Accident analysis: the Human Factors Analysis and Classification System*. Ashgate, Aldershot, 2003.

SHI Y.; DU J.; AHN C.R.; RAGAN E. Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality. *Automation in Construction*., v. 104, pp. 197-214, 2019.

SPARER, E. H.; MURPHY, L. A.; TAYLOR, K. M.; & DENNERLEIN, J. T. Correlation between safety climate and contractor safety assessment programs in construction. *American journal of industrial medicine*, 56(12), 1463-1472. 2013.

SPEARPOINT, M.; HOPKIN, C.. A model for the evaluation of fatality likelihood associated with falls from heights. *Fire Safety Journal*. 112, 102973. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.102973>.

STOLL, C.R.; IZADI, S.; FOWLER, S.; GREEN, P., SULLS, J., COLDITZ, G.A.. The value of a second reviewer for study selection in systematic reviews. *Res. Synthesis Methods*. 10 (4), 539–545. 2019.

SUNINDIJO, R.Y.; e ZOU, P.X.W. “Habilidade política para desenvolver o clima de segurança na construção.” *J.Constr. Eng. Gerenciar*. 138 (maio): 605–612. 2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000482](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000482)

TAKALA, J. et al. Global Estimates of the Burden of Injury and Illness At Work in 2012. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, v. 11, n. 5, p. 236-337, 2014.

TANVI NEWAZ, M.; ERSHADI, M.; CAROTHERS, L.; JEFFERIES, M.; DAVIS, P.. A review and assessment of technologies for addressing the risk of falling from height on construction sites. *Safety Science*. 147, 105618. 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105618>.

TEHRANI, B. M.; WANG, J.; and TRUAX, D.. Assessment of mental fatigue using electroencephalography (EEG) and virtual reality (VR) for construction fall hazard prevention. *Eng. Constr. Archit. Manage.* 2021. <https://doi.org/10.1108/ecam-01-2021-0017>.

TEIZER, J.; e VELA, P.A. Rastreamento de pessoal em canteiros de obras usando câmeras de vídeo. *Av. Eng. Inf.* 23 (4): 452–462. 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2009.06.011> .

UMER, W.; LI, H.; LU, W.; SZETO, G.P.Y.; WONG, A.Y.L.. Development of a tool to monitor static balance of construction workers for proactive fall safety management. *Automation in Construction*. 94, 438-448. 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.024>.

WILLIAMS O.S.; HAMID R.A.; MISNAN M.S. Causes of building construction related accident in the south-western states of Nigeria. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, v. 6, no. 1, pp. 14–22, 2019. DOI: 10.11113/ijbes.v6.n1.313

WONG, L.; WANG, Y.; LAW, T.; LO, C.T.. Association of Root Causes in Fatal Fall-from-Height Construction Accidents in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142 (7). 2016. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001098](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001098)

WORLD ECONOMIC FORUM. The Global Competitiveness Report Special Edition 2020: How Countries are Performing on the Road to Recovery. Geneva, Switzerland, 2020. ISBN 978-2-940631-17-9. Available at:
https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2020.pdf

WURZELBACHER, S. J.; MEYERS, A. R.; LAMPL, M. P.; BUSHNELL, P. T.; BERTKE, S. J.; ROBINS, D. C.; TSENG, C-Y; NABER, S. J.. Workers' compensation claim counts and rates by injury event/exposure among state-insured private employers in Ohio, 2007–2017. *Journal of Safety Research*. 79, 148-167. 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.08.015>.

XIA, N.; WANG, X.; GRIFFIN, M.A.; WU, C.; LIU, B.. Do we see how they perceive risk? An integrated analysis of risk perception and its effect on workplace safety behavior. *Accid. Anal. Prev.* 106, 234–242. 2017.

YANG, K.; AHN, C. R.; VURAN, M. C.; ARIA, S. S.. Semi-supervised near-miss fall detection for ironworkers with a wearable inertial measurement unit. *Automation in Construction*. 68, 194-202. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.007>.

YUNG, P. Arranjos institucionais e segurança de construção na China: um exame empírico, *Constr. Gerenciar. Economia*. 27. 2009. <https://doi.org/10.1080/01446190902855633>.

ZERMANE, A.; TOHIR, M.Z.M.; BAHARUDIN, M.R.; YUSOFF, H.M. Analysis of the contributing factors for fatal accidents due to falls from heights in Malaysia and the USA. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 28 (Special Issue 1), pp. 15-36. 2020.

ZERMANE, A.; MOHD TOHIR, M. Z.; BAHARUDIN, M. R.; MOHAMED YUSOFF, H.. Risk assessment of fatal accidents due to work at heights activities using fault tree analysis: Case study in Malaysia. *Safety Science*. 151, 09257535. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105724>

ZLATAR, T.; LAGO, E. M. G.; SOARES, W. de A.; BAPTISTA, J. dos S.; & BARKOKÉBAS JUNIOR, B.. Falls from height: analysis of 114 cases. *Production*, 29(Prod., 2019 29), e20180091. 2019. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20180091>

ZOU, P.X.W.; SUNINDIJO, R.Y.; DAINITY, A.R.J.. A mixed methods research design for bridging the gap between research and practice in construction safety. *Saf. Sci.* 70, 316–326. 2014.

ZHOU, J.L.; ZHE-HUA, B.; SUN, Z.Y. Safety Assessment of High-Risk Operations in Hydroelectric-Project Based on Accidents Analysis, SEM, and ANP. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015.

ZULUAGA, C.M.; ALBERT, A.; WINKEL, M.A. Improving safety, efficiency, and productivity: evaluation of fall protection systems for bridge work using wearable technology and utility analysis. *J. Construct. Eng. Manage.*, v. 146, no. 2, pp. 04019107, 2020.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Posições do beacon

POSIÇÃO	VISÃO GERAL	DETALHE
Pescoço / colar		
Pulso direito		
Pulso esquerdo		
Cintura frente		

Cintura atrás		
Cintura direita		
Cintura esquerda		
Bolso da camisa		

Fonte: Autor.

Apêndice 2 – 12 posições analisadas no procedimento



Fonte: Autor.

Apêndice 3 – Banco de dados

AMOSTRA	DATA	NOME	PESO	ALTURA	IDADE	GÊNERO	DURAÇÃO	POSIÇÃO DO BEACON	POSIÇÃO	PAVIMENTO	DISTÂNCIA		COMUNICAÇÃO		
											VERTICAL	HORIZONTAL	RECEPTOR	SINAL	OSCILAÇÃO
5	06/10/2023	Roberto	88	170	25	Masculino	9	Pulso direito	Saída LSHT	primeiro	0	0	gateway e broker	forte	não
									Escada 1	primeiro	0	27	gateway	forte	não
									Entrada do Elevador	térreo	-3	32	gateway	fraco	sim
									Saída do Elevador	terceiro	6	32	gateway	fraco	sim
									Extremidade Bloco I	terceiro	6	50	gateway	fraco	sim
									Extremidade Bloco K	terceiro	6	6	gateway	fraco	sim
									Escada 2	terceiro	6	27	gateway	fraco	não
									Extremidade Bloco I	segundo	3	50	gateway	forte	sim
									Extremidade Bloco K	segundo	3	6	gateway	forte	não
									Escada 3	segundo	3	27	gateway	fraco	sim
									Extremidade Bloco I	primeiro	0	50	gateway	fraco	não
									Chegada LSHT	primeiro	0	0	gateway e broker	forte	não

Fonte: Autor.

Apêndice 4 - Planilha de banco de dados

AMOSTRA	DATA	NOME	PESO	ALTURA	IDADE	GÊNERO	DURAÇÃO	POSIÇÃO DO BEACON	POSIÇÃO DO RÁDIO	PAVIMENTO	DISTÂNCIA		COMUNICAÇÃO		
											VERTICAL	HORIZONTAL	RECEPTOR	SINAL	OSCILAÇÃO
										primeiro	0	0	gateway e broker	forte	não
										primeiro	0	27	gateway	fraco	sim
										térreo	-3	32	gateway	fraco	sim
										terceiro	6	32	gateway	fraco	muito
										terceiro	6	50	gateway	fraco	muito
										terceiro	6	6	gateway	fraco	não
										terceiro	6	27	gateway	fraco	sim
										segundo	3	50	gateway	fraco	pouco
										segundo	3	6	gateway e broker	forte	sim
										segundo	3	27	gateway	fraco	sim
										primeiro	0	50	gateway	fraco	sim
										primeiro	0	0	gateway e broker	forte	sim
1	25/10/2023	Roberto	88	170	25	Masculino	10	Pulso direito	Mão direita						

Fonte: Autor.

Apêndice 5 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do beacon em relação ao receptor, sem uso de rádio

Comparações por Método Pairwise de Posição Beacon

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
CinturaE-CinturaD	19,225	37,673	,510	,610	1,000
CinturaE-BolsoCam	28,100	37,673	,746	,456	1,000
CinturaE-CinturaF	-36,908	37,221	-,992	,321	1,000
CinturaE-Pescoço	-43,075	37,673	-1,143	,253	1,000
CinturaE-CinturaA	54,075	38,165	1,417	,157	1,000
CinturaE-PulsoEsq	-54,075	37,673	-1,435	,151	1,000
CinturaE-PulsoDir	-66,000	37,673	-1,752	,080	1,000
CinturaD-BolsoCam	8,875	37,673	,236	,814	1,000
CinturaD-CinturaF	-17,683	37,221	-,475	,635	1,000
CinturaD-Pescoço	-23,850	37,673	-,633	,527	1,000
CinturaD-CinturaA	34,850	38,165	,913	,361	1,000
CinturaD-PulsoEsq	-34,850	37,673	-,925	,355	1,000
CinturaD-PulsoDir	-46,775	37,673	-1,242	,214	1,000
BolsoCam-CinturaF	-8,808	37,221	-,237	,813	1,000
BolsoCam-Pescoço	-14,975	37,673	-,398	,691	1,000
BolsoCam-CinturaA	-25,975	38,165	-,681	,496	1,000
BolsoCam-PulsoEsq	-25,975	37,673	-,689	,491	1,000
BolsoCam-PulsoDir	-37,900	37,673	-1,006	,314	1,000
CinturaF-Pescoço	-6,167	37,221	-,166	,868	1,000
CinturaF-CinturaA	17,167	37,720	,455	,649	1,000
CinturaF-PulsoEsq	-17,167	37,221	-,461	,645	1,000
CinturaF-PulsoDir	-29,092	37,221	-,782	,434	1,000
Pescoço-CinturaA	11,000	38,165	,288	,773	1,000
Pescoço-PulsoEsq	-11,000	37,673	-,292	,770	1,000
Pescoço-PulsoDir	-22,925	37,673	-,609	,543	1,000
CinturaA-PulsoEsq	,000	38,165	,000	1,000	1,000
CinturaA-PulsoDir	-11,925	38,165	-,312	,755	1,000
PulsoEsq-PulsoDir	11,925	37,673	,317	,752	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 6 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do beacon em relação ao receptor, com uso de rádio

Comparações por Método Pairwise de Posição Beacon Rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
CinturaDireita-CinturaEsquerda	-9,808	37,895	-,259	,796	1,000
CinturaDireita-CinturaFrente	-11,934	37,024	-,322	,747	1,000
CinturaDireita-BolsoCamisa	51,858	37,895	1,368	,171	1,000
CinturaDireita-CinturaAtrás	51,858	38,934	1,332	,183	1,000
CinturaDireita-PescoçoColar	-51,858	37,895	-1,368	,171	1,000
CinturaDireita-PulsoEsquerdo	-51,858	37,895	-1,368	,171	1,000
CinturaDireita-PulsoDireito	-75,683	37,895	-1,997	,046	1,000
CinturaEsquerda-CinturaFrente	-2,126	37,024	-,057	,954	1,000
CinturaEsquerda-BolsoCamisa	42,050	37,895	1,110	,267	1,000
CinturaEsquerda-CinturaAtrás	42,050	38,934	1,080	,280	1,000
CinturaEsquerda-PescoçoColar	-42,050	37,895	-1,110	,267	1,000
CinturaEsquerda-PulsoEsquerdo	-42,050	37,895	-1,110	,267	1,000
CinturaEsquerda-PulsoDireito	-65,875	37,895	-1,738	,082	1,000
CinturaFrente-BolsoCamisa	39,924	37,024	1,078	,281	1,000
CinturaFrente-CinturaAtrás	39,924	38,086	1,048	,295	1,000
CinturaFrente-PescoçoColar	-39,924	37,024	-1,078	,281	1,000
CinturaFrente-PulsoEsquerdo	-39,924	37,024	-1,078	,281	1,000
CinturaFrente-PulsoDireito	-63,749	37,024	-1,722	,085	1,000
BolsoCamisa-CinturaAtrás	,000	38,934	,000	1,000	1,000
BolsoCamisa-PescoçoColar	,000	37,895	,000	1,000	1,000
BolsoCamisa-PulsoEsquerdo	,000	37,895	,000	1,000	1,000
BolsoCamisa-PulsoDireito	-23,825	37,895	-,629	,530	1,000
CinturaAtrás-PescoçoColar	,000	38,934	,000	1,000	1,000
CinturaAtrás-PulsoEsquerdo	,000	38,934	,000	1,000	1,000
CinturaAtrás-PulsoDireito	-23,825	38,934	-,612	,541	1,000
PescoçoColar-PulsoEsquerdo	,000	37,895	,000	1,000	1,000
PescoçoColar-PulsoDireito	-23,825	37,895	-,629	,530	1,000
PulsoEsquerdo-PulsoDireito	23,825	37,895	,629	,530	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 7 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do beacon em relação ao sinal, sem uso de rádio

Comparações por Método Pairwise de Posição Beacon

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
CinturaD-CinturaA	,957	45,713	,021	,983	1,000
CinturaD-CinturaE	-26,333	45,123	-,584	,559	1,000
CinturaD-CinturaF	-54,539	44,583	-1,223	,221	1,000
CinturaD-Pescoço	-270,956	45,123	-6,005	<,001	,000
CinturaD-PulsoEsq	-279,477	45,123	-6,194	<,001	,000
CinturaD-BolsoCam	282,910	45,123	6,270	<,001	,000
CinturaD-PulsoDir	-298,015	45,123	-6,605	<,001	,000
CinturaA-CinturaE	-25,376	45,713	-,555	,579	1,000
CinturaA-CinturaF	-53,582	45,179	-1,186	,236	1,000
CinturaA-Pescoço	-269,999	45,713	-5,906	<,001	,000
CinturaA-PulsoEsq	-278,520	45,713	-6,093	<,001	,000
CinturaA-BolsoCam	281,953	45,713	6,168	<,001	,000
CinturaA-PulsoDir	-297,058	45,713	-6,498	<,001	,000
CinturaE-CinturaF	-28,206	44,583	-,633	,527	1,000
CinturaE-Pescoço	-244,623	45,123	-5,421	<,001	,000
CinturaE-PulsoEsq	-253,144	45,123	-5,610	<,001	,000
CinturaE-BolsoCam	256,577	45,123	5,686	<,001	,000
CinturaE-PulsoDir	-271,681	45,123	-6,021	<,001	,000
CinturaF-Pescoço	-216,417	44,583	-4,854	<,001	,000
CinturaF-PulsoEsq	-224,938	44,583	-5,045	<,001	,000
CinturaF-BolsoCam	228,372	44,583	5,122	<,001	,000
CinturaF-PulsoDir	-243,476	44,583	-5,461	<,001	,000
Pescoço-PulsoEsq	-8,521	45,123	-,189	,850	1,000
Pescoço-BolsoCam	11,954	45,123	,265	,791	1,000
Pescoço-PulsoDir	-27,058	45,123	-,600	,549	1,000
PulsoEsq-BolsoCam	3,433	45,123	,076	,939	1,000
PulsoEsq-PulsoDir	18,537	45,123	,411	,681	1,000
BolsoCam-PulsoDir	-15,104	45,123	-,335	,738	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 8 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do beacon em relação ao sinal, com uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
CinturaAtrás-CinturaDireita	-10,446	45,553	-,229	,819	1,000
CinturaAtrás-CinturaEsquerda	-18,405	45,553	-,404	,686	1,000
CinturaAtrás-CinturaFrente	-59,539	44,562	-1,336	,182	1,000
CinturaAtrás-PulsoEsquerdo	-166,646	45,553	-3,658	<,001	,007
CinturaAtrás-PescoçoColar	-172,138	45,553	-3,779	<,001	,004
CinturaAtrás-PulsoDireito	-177,630	45,553	-3,899	<,001	,003
CinturaAtrás-BolsoCamisa	180,946	45,553	3,972	<,001	,002
CinturaDireita-CinturaEsquerda	-7,958	44,338	-,179	,858	1,000
CinturaDireita-CinturaFrente	-49,092	43,319	-1,133	,257	1,000
CinturaDireita-PulsoEsquerdo	-156,200	44,338	-3,523	<,001	,012
CinturaDireita-PescoçoColar	-161,692	44,338	-3,647	<,001	,007
CinturaDireita-PulsoDireito	-167,183	44,338	-3,771	<,001	,005
CinturaDireita-BolsoCamisa	170,500	44,338	3,845	<,001	,003
CinturaEsquerda-CinturaFrente	-41,134	43,319	-,950	,342	1,000
CinturaEsquerda-PulsoEsquerdo	-148,242	44,338	-3,343	<,001	,023
CinturaEsquerda-PescoçoColar	-153,733	44,338	-3,467	<,001	,015
CinturaEsquerda-PulsoDireito	-159,225	44,338	-3,591	<,001	,009
CinturaEsquerda-BolsoCamisa	162,542	44,338	3,666	<,001	,007
CinturaFrente-PulsoEsquerdo	-107,108	43,319	-2,473	,013	,376
CinturaFrente-PescoçoColar	-112,599	43,319	-2,599	,009	,262
CinturaFrente-PulsoDireito	-118,091	43,319	-2,726	,006	,179
CinturaFrente-BolsoCamisa	121,408	43,319	2,803	,005	,142
PulsoEsquerdo-PescoçoColar	5,492	44,338	,124	,901	1,000
PulsoEsquerdo-PulsoDireito	10,983	44,338	,248	,804	1,000
PulsoEsquerdo-BolsoCamisa	14,300	44,338	,323	,747	1,000
PescoçoColar-PulsoDireito	-5,492	44,338	-,124	,901	1,000
PescoçoColar-BolsoCamisa	8,808	44,338	,199	,843	1,000
PulsoDireito-BolsoCamisa	3,317	44,338	,075	,940	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 9 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do beacon em relação à oscilação, sem uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
CinturaD-CinturaE	-69,208	46,667	-1,483	,138	1,000
CinturaD-CinturaA	86,091	47,277	1,821	,069	1,000
CinturaD-CinturaF	-132,386	46,108	-2,871	,004	,114
CinturaD-Pescoço	-253,521	46,667	-5,433	<,001	,000
CinturaD-PulsoEsq	-263,188	46,667	-5,640	<,001	,000
CinturaD-BolsoCam	271,438	46,667	5,816	<,001	,000
CinturaD-PulsoDir	-404,688	46,667	-8,672	<,001	,000
CinturaE-CinturaA	16,883	47,277	,357	,721	1,000
CinturaE-CinturaF	-63,178	46,108	-1,370	,171	1,000
CinturaE-Pescoço	-184,313	46,667	-3,950	<,001	,002
CinturaE-PulsoEsq	-193,979	46,667	-4,157	<,001	,001
CinturaE-BolsoCam	202,229	46,667	4,333	<,001	,000
CinturaE-PulsoDir	-335,479	46,667	-7,189	<,001	,000
CinturaA-CinturaF	-46,295	46,726	-,991	,322	1,000
CinturaA-Pescoço	-167,430	47,277	-3,541	<,001	,011
CinturaA-PulsoEsq	-177,096	47,277	-3,746	<,001	,005
CinturaA-BolsoCam	185,346	47,277	3,920	<,001	,002
CinturaA-PulsoDir	-318,596	47,277	-6,739	<,001	,000
CinturaF-Pescoço	-121,135	46,108	-2,627	,009	,241
CinturaF-PulsoEsq	-130,802	46,108	-2,837	,005	,128
CinturaF-BolsoCam	139,052	46,108	3,016	,003	,072
CinturaF-PulsoDir	-272,302	46,108	-5,906	<,001	,000
Pescoço-PulsoEsq	-9,667	46,667	-,207	,836	1,000
Pescoço-BolsoCam	17,917	46,667	,384	,701	1,000
Pescoço-PulsoDir	-151,167	46,667	-3,239	,001	,034
PulsoEsq-BolsoCam	8,250	46,667	,177	,860	1,000
PulsoEsq-PulsoDir	141,500	46,667	3,032	,002	,068
BolsoCam-PulsoDir	-133,250	46,667	-2,855	,004	,120

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 10 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da posição do beacon em relação à oscilação, com uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
CinturaDireita-CinturaEsquerda	-88,650	46,808	-1,894	,058	1,000
CinturaDireita-CinturaFrente	-117,255	45,731	-2,564	,010	,290
CinturaDireita-CinturaAtrás	120,800	48,090	2,512	,012	,336
CinturaDireita-PulsoDireito	-139,700	46,808	-2,985	,003	,080
CinturaDireita-PulsoEsquerdo	-197,800	46,808	-4,226	<,001	,001
CinturaDireita-PescoçoColar	-204,250	46,808	-4,364	<,001	,000
CinturaDireita-BolsoCamisa	222,300	46,808	4,749	<,001	,000
CinturaEsquerda-CinturaFrente	-28,605	45,731	-,625	,532	1,000
CinturaEsquerda-CinturaAtrás	32,150	48,090	,669	,504	1,000
CinturaEsquerda-PulsoDireito	-51,050	46,808	-1,091	,275	1,000
CinturaEsquerda-PulsoEsquerdo	-109,150	46,808	-2,332	,020	,552
CinturaEsquerda-PescoçoColar	-115,600	46,808	-2,470	,014	,379
CinturaEsquerda-BolsoCamisa	133,650	46,808	2,855	,004	,120
CinturaFrente-CinturaAtrás	3,545	47,043	,075	,940	1,000
CinturaFrente-PulsoDireito	-22,445	45,731	-,491	,624	1,000
CinturaFrente-PulsoEsquerdo	-80,545	45,731	-1,761	,078	1,000
CinturaFrente-PescoçoColar	-86,995	45,731	-1,902	,057	1,000
CinturaFrente-BolsoCamisa	105,045	45,731	2,297	,022	,605
CinturaAtrás-PulsoDireito	-18,900	48,090	-,393	,694	1,000
CinturaAtrás-PulsoEsquerdo	-77,000	48,090	-1,601	,109	1,000
CinturaAtrás-PescoçoColar	-83,450	48,090	-1,735	,083	1,000
CinturaAtrás-BolsoCamisa	101,500	48,090	2,111	,035	,975
PulsoDireito-PulsoEsquerdo	-58,100	46,808	-1,241	,215	1,000
PulsoDireito-PescoçoColar	64,550	46,808	1,379	,168	1,000
PulsoDireito-BolsoCamisa	82,600	46,808	1,765	,078	1,000
PulsoEsquerdo-PescoçoColar	6,450	46,808	,138	,890	1,000
PulsoEsquerdo-BolsoCamisa	24,500	46,808	,523	,601	1,000
PescoçoColar-BolsoCamisa	18,050	46,808	,386	,700	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 11 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da localização em relação ao receptor, sem uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
ExtremB3-ExtremI1	-54,900	46,139	-1,190	,234	1,000
ExtremB3-Escada1	54,900	46,139	1,190	,234	1,000
ExtremB3-SaiEle	-54,900	46,139	-1,190	,234	1,000
ExtremB3-ExtremI3	-54,900	46,139	-1,190	,234	1,000
ExtremB3-ExtremI2	-54,900	46,139	-1,190	,234	1,000
ExtremB3-EntElev	54,900	46,139	1,190	,234	1,000
ExtremB3-Escada2	78,750	46,139	1,707	,088	1,000
ExtremB3-ExtremB2	293,400	46,139	6,359	<,001	,000
ExtremB3-Escada3	603,450	46,139	13,079	<,001	,000
ExtremB3-Chegada	1008,900	46,139	21,866	<,001	,000
ExtremB3-Saida	-1008,900	46,139	-21,866	<,001	,000
Escada1-Chegada	954,000	46,139	20,677	<,001	,000
ExtremI1-Chegada	954,000	46,139	20,677	<,001	,000
ExtremI2-Chegada	954,000	46,139	20,677	<,001	,000
ExtremI3-Chegada	954,000	46,139	20,677	<,001	,000
SaiEle-Chegada	954,000	46,139	20,677	<,001	,000
EntElev-Escada1	,000	46,139	,000	1,000	1,000
EntElev-ExtremI1	,000	46,139	,000	1,000	1,000
EntElev-ExtremI2	,000	46,139	,000	1,000	1,000
EntElev-ExtremI3	,000	46,139	,000	1,000	1,000
EntElev-SaiEle	,000	46,139	,000	1,000	1,000
EntElev-Escada2	-23,850	46,139	-,517	,605	1,000
EntElev-ExtremB2	-238,500	46,139	-5,169	<,001	,000
EntElev-Escada3	-548,550	46,139	-11,889	<,001	,000
EntElev-Saida	-954,000	46,139	-20,677	<,001	,000
Escada1-ExtremI1	,000	46,139	,000	1,000	1,000
Escada1-ExtremI2	,000	46,139	,000	1,000	1,000
Escada1-ExtremI3	,000	46,139	,000	1,000	1,000
Escada1-SaiEle	,000	46,139	,000	1,000	1,000
Escada1-Escada2	-23,850	46,139	-,517	,605	1,000
Escada1-ExtremB2	-238,500	46,139	-5,169	<,001	,000
Escada1-Escada3	-548,550	46,139	-11,889	<,001	,000
Escada1-Saida	-954,000	46,139	-20,677	<,001	,000
ExtremI1-Escada2	23,850	46,139	,517	,605	1,000
ExtremI2-Escada2	23,850	46,139	,517	,605	1,000
ExtremI3-Escada2	23,850	46,139	,517	,605	1,000
SaiEle-Escada2	23,850	46,139	,517	,605	1,000
ExtremI1-Escada3	548,550	46,139	11,889	<,001	,000
ExtremI2-Escada3	548,550	46,139	11,889	<,001	,000
ExtremI3-Escada3	548,550	46,139	11,889	<,001	,000
SaiEle-Escada3	548,550	46,139	11,889	<,001	,000
ExtremI1-ExtremB2	238,500	46,139	5,169	<,001	,000
ExtremI2-ExtremB2	238,500	46,139	5,169	<,001	,000
ExtremI3-ExtremB2	238,500	46,139	5,169	<,001	,000
SaiEle-ExtremB2	238,500	46,139	5,169	<,001	,000
EntElev-Chegada	954,000	46,139	20,677	<,001	,000
ExtremI1-ExtremI2	,000	46,139	,000	1,000	1,000
ExtremI1-ExtremI3	,000	46,139	,000	1,000	1,000
ExtremI1-SaiEle	,000	46,139	,000	1,000	1,000
ExtremI1-Saida	-954,000	46,139	-20,677	<,001	,000
ExtremI2-ExtremI3	,000	46,139	,000	1,000	1,000
ExtremI2-SaiEle	,000	46,139	,000	1,000	1,000
ExtremI2-Saida	-954,000	46,139	-20,677	<,001	,000
ExtremI3-SaiEle	,000	46,139	,000	1,000	1,000
ExtremI3-Saida	-954,000	46,139	-20,677	<,001	,000
SaiEle-Saida	-954,000	46,139	-20,677	<,001	,000
Escada2-ExtremB2	-214,650	46,139	-4,652	<,001	,000
Escada2-Escada3	-524,700	46,139	-11,372	<,001	,000
Escada2-Saida	-930,150	46,139	-20,160	<,001	,000
Escada2-Chegada	930,150	46,139	20,160	<,001	,000
ExtremB2-Escada3	310,050	46,139	6,720	<,001	,000
ExtremB2-Saida	-715,500	46,139	-15,507	<,001	,000
ExtremB2-Chegada	715,500	46,139	15,507	<,001	,000
Escada3-Saida	-405,450	46,139	-8,788	<,001	,000
Escada3-Chegada	405,450	46,139	8,788	<,001	,000
Chegada-Saida	,000	46,139	,000	1,000	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 12 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da localização em relação ao receptor, com uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
ExtremB3-ExtremI2	-27,338	46,412	-,589	,556	1,000
ExtremB3-EntElev	36,450	46,412	,785	,432	1,000
ExtremB3-ExtremI1	-36,450	46,412	-,785	,432	1,000
ExtremB3-Escada1	36,450	46,412	,785	,432	1,000
ExtremB3-ExtremI3	-36,450	46,412	-,785	,432	1,000
ExtremB3-SaiEle	-36,450	46,412	-,785	,432	1,000
ExtremB3-Escada2	72,188	46,412	1,555	,120	1,000
ExtremB3-ExtremB2	256,475	46,412	5,526	<,001	,000
ExtremB3-Escada3	608,250	46,412	13,105	<,001	,000
ExtremB3-Chegada	989,450	46,412	21,319	<,001	,000
ExtremB3-Saída	-989,450	46,412	-21,319	<,001	,000
ExtremI2-EntElev	9,112	46,412	,196	,844	1,000
ExtremI2-Escada1	9,112	46,412	,196	,844	1,000
ExtremI2-ExtremI1	9,112	46,412	,196	,844	1,000
ExtremI2-ExtremI3	-9,112	46,412	-,196	,844	1,000
ExtremI2-SaiEle	-9,112	46,412	-,196	,844	1,000
ExtremI2-Escada2	44,850	46,412	,966	,334	1,000
ExtremI2-ExtremB2	229,138	46,412	4,937	<,001	,000
ExtremI2-Escada3	580,913	46,412	12,516	<,001	,000
ExtremI2-Chegada	962,113	46,412	20,730	<,001	,000
ExtremI2-Saída	-962,113	46,412	-20,730	<,001	,000
EntElev-ExtremI1	,000	46,412	,000	1,000	1,000
EntElev-ExtremI3	,000	46,412	,000	1,000	1,000
EntElev-SaiEle	,000	46,412	,000	1,000	1,000
EntElev-ExtremB2	-220,025	46,412	-4,741	<,001	,000
EntElev-Escada3	-571,800	46,412	-12,320	<,001	,000
EntElev-Saída	-953,000	46,412	-20,533	<,001	,000
Escada1-ExtremI3	,000	46,412	,000	1,000	1,000
Escada1-SaiEle	,000	46,412	,000	1,000	1,000
Escada1-ExtremI1	,000	46,412	,000	1,000	1,000
Escada1-Escada2	-35,738	46,412	-,770	,441	1,000
Escada1-ExtremB2	-220,025	46,412	-4,741	<,001	,000
Escada1-Escada3	-571,800	46,412	-12,320	<,001	,000
Escada1-Saída	-953,000	46,412	-20,533	<,001	,000
ExtremI3-Escada2	35,738	46,412	,770	,441	1,000
SaiEle-Escada2	35,738	46,412	,770	,441	1,000
ExtremI1-Escada2	35,738	46,412	,770	,441	1,000
ExtremI1-Escada3	571,800	46,412	12,320	<,001	,000
ExtremI3-Escada3	571,800	46,412	12,320	<,001	,000
SaiEle-Escada3	571,800	46,412	12,320	<,001	,000
ExtremI1-ExtremB2	220,025	46,412	4,741	<,001	,000
ExtremI3-ExtremB2	220,025	46,412	4,741	<,001	,000
SaiEle-ExtremB2	220,025	46,412	4,741	<,001	,000
EntElev-Chegada	953,000	46,412	20,533	<,001	,000
Escada1-Chegada	953,000	46,412	20,533	<,001	,000
ExtremI1-Chegada	953,000	46,412	20,533	<,001	,000
ExtremI3-Chegada	953,000	46,412	20,533	<,001	,000
ExtremI1-ExtremI3	,000	46,412	,000	1,000	1,000
ExtremI1-SaiEle	,000	46,412	,000	1,000	1,000
ExtremI1-Saída	-953,000	46,412	-20,533	<,001	,000
SaiEle-Chegada	953,000	46,412	20,533	<,001	,000
EntElev-Escada1	,000	46,412	,000	1,000	1,000
EntElev-Escada2	-35,738	46,412	-,770	,441	1,000
ExtremI3-SaiEle	,000	46,412	,000	1,000	1,000
ExtremI3-Saída	-953,000	46,412	-20,533	<,001	,000
SaiEle-Saída	-953,000	46,412	-20,533	<,001	,000
Escada2-ExtremB2	-184,288	46,412	-3,971	<,001	,005
Escada2-Escada3	-536,063	46,412	-11,550	<,001	,000
Escada2-Saída	-917,263	46,412	-19,763	<,001	,000
Escada2-Chegada	917,263	46,412	19,763	<,001	,000
ExtremB2-Escada3	351,775	46,412	7,579	<,001	,000
ExtremB2-Chegada	732,975	46,412	15,793	<,001	,000
ExtremB2-Saída	-732,975	46,412	-15,793	<,001	,000
Escada3-Chegada	381,200	46,412	8,213	<,001	,000
Escada3-Saída	-381,200	46,412	-8,213	<,001	,000
Chegada-Saída	,000	46,412	,000	1,000	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 13 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da localização em relação ao sinal, sem uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
ExtremB3-SaiEle	-109,278	55,264	-1,977	,048	1,000
ExtremB3-ExtremI2	-140,959	55,264	-2,551	,011	,710
ExtremB3-ExtremI3	-193,750	55,264	-3,506	<,001	,030
ExtremB3-Escada2	202,550	55,264	3,665	<,001	,016
ExtremB3-EntElev	209,441	55,264	3,790	<,001	,010
ExtremB3-ExtremB2	250,844	55,264	4,539	<,001	,000
ExtremB3-Escada3	294,850	55,264	5,335	<,001	,000
ExtremB3-ExtremI1	-410,241	55,264	-7,423	<,001	,000
ExtremB3-Escada1	575,163	55,264	10,408	<,001	,000
ExtremB3-Chegada	698,763	55,264	12,644	<,001	,000
ExtremB3-Saída	-889,313	55,264	-16,092	<,001	,000
SaiEle-ExtremI2	31,681	55,264	,573	,566	1,000
SaiEle-ExtremI3	84,472	55,264	1,529	,126	1,000
SaiEle-Escada2	93,272	55,264	1,688	,091	1,000
SaiEle-EntElev	100,163	55,264	1,812	,070	1,000
SaiEle-ExtremB2	141,566	55,264	2,562	,010	,688
SaiEle-Escada3	185,572	55,264	3,358	<,001	,052
SaiEle-ExtremI1	300,963	55,264	5,446	<,001	,000
SaiEle-Escada1	465,884	55,264	8,430	<,001	,000
SaiEle-Chegada	589,484	55,264	10,667	<,001	,000
SaiEle-Saída	-780,034	55,264	-14,115	<,001	,000
ExtremI2-ExtremI3	-52,791	55,264	-.955	,339	1,000
ExtremI2-Escada2	61,591	55,264	1,114	,265	1,000
ExtremI2-EntElev	68,481	55,264	1,239	,215	1,000
ExtremI2-ExtremB2	109,884	55,264	1,988	,047	1,000
ExtremI2-Escada3	153,891	55,264	2,785	,005	,354
ExtremI2-ExtremI1	269,281	55,264	4,873	<,001	,000
ExtremI2-Escada1	434,203	55,264	7,857	<,001	,000
ExtremI2-Chegada	557,803	55,264	10,093	<,001	,000
ExtremI2-Saída	-748,353	55,264	-13,541	<,001	,000
ExtremI3-Escada2	8,800	55,264	,159	,873	1,000
ExtremI3-EntElev	15,691	55,264	,284	,776	1,000
ExtremI3-ExtremB2	57,094	55,264	1,033	,302	1,000
ExtremI3-Escada3	101,100	55,264	1,829	,067	1,000
ExtremI3-ExtremI1	216,491	55,264	3,917	<,001	,006
ExtremI3-Escada1	381,413	55,264	6,902	<,001	,000
ExtremI3-Chegada	505,013	55,264	9,138	<,001	,000
ExtremI3-Saída	-695,563	55,264	-12,586	<,001	,000
Escada2-EntElev	6,891	55,264	,125	,901	1,000
Escada2-ExtremB2	-48,294	55,264	-.874	,382	1,000
Escada2-Escada3	-92,300	55,264	-1,670	,095	1,000
Escada2-ExtremI1	-207,691	55,264	-3,758	<,001	,011
Escada2-Escada1	372,613	55,264	6,742	<,001	,000
Escada2-Chegada	496,213	55,264	8,979	<,001	,000
Escada2-Saída	-686,763	55,264	-12,427	<,001	,000
EntElev-ExtremB2	-41,403	55,264	-.749	,454	1,000
EntElev-Escada3	-85,409	55,264	-1,545	,122	1,000
EntElev-ExtremI1	-200,800	55,264	-3,633	<,001	,018
EntElev-Escada1	-365,722	55,264	-6,618	<,001	,000
EntElev-Chegada	489,322	55,264	8,854	<,001	,000
EntElev-Saída	-679,872	55,264	-12,302	<,001	,000
ExtremB2-Escada3	44,006	55,264	,796	,426	1,000
ExtremB2-ExtremI1	-159,397	55,264	-2,884	,004	,259
ExtremB2-Escada1	324,319	55,264	5,869	<,001	,000
ExtremB2-Chegada	447,919	55,264	8,105	<,001	,000
ExtremB2-Saída	-638,469	55,264	-11,553	<,001	,000
Escada3-ExtremI1	-115,391	55,264	-2,088	,037	1,000
Escada3-Escada1	280,313	55,264	5,072	<,001	,000
Escada3-Chegada	403,913	55,264	7,309	<,001	,000
Escada3-Saída	-594,463	55,264	-10,757	<,001	,000
ExtremI1-Escada1	164,922	55,264	2,984	,003	,188
ExtremI1-Chegada	288,522	55,264	5,221	<,001	,000
ExtremI1-Saída	-479,072	55,264	-8,669	<,001	,000
Escada1-Chegada	123,600	55,264	2,237	,025	1,000
Escada1-Saída	-314,150	55,264	-5,685	<,001	,000
Chegada-Saída	-190,550	55,264	-3,448	<,001	,037

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 14 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da localização em relação ao sinal, com uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
ExtremB3-SaiEle	-299,163	54,303	-5,509	<,001	,000
ExtremB3-EntElev	342,838	54,303	6,313	<,001	,000
ExtremB3-ExtremI2	-344,050	54,303	-6,336	<,001	,000
ExtremB3-ExtremB2	345,263	54,303	6,358	<,001	,000
ExtremB3-Escada2	481,813	54,303	8,873	<,001	,000
ExtremB3-Escada3	482,263	54,303	8,881	<,001	,000
ExtremB3-ExtremI3	-518,025	54,303	-9,539	<,001	,000
ExtremB3-ExtremI1	-559,825	54,303	-10,309	<,001	,000
ExtremB3-Escada1	739,663	54,303	13,621	<,001	,000
ExtremB3-Chegada	911,263	54,303	16,781	<,001	,000
ExtremB3-Saída	-1136,488	54,303	-20,929	<,001	,000
SaiEle-EntElev	43,675	54,303	,804	,421	1,000
SaiEle-ExtremI2	44,888	54,303	,827	,408	1,000
SaiEle-ExtremB2	46,100	54,303	,849	,396	1,000
SaiEle-Escada2	182,650	54,303	3,364	<,001	,051
SaiEle-Escada3	183,100	54,303	3,372	<,001	,049
SaiEle-ExtremI3	218,863	54,303	4,030	<,001	,004
SaiEle-ExtremI1	260,663	54,303	4,800	<,001	,000
SaiEle-Escada1	440,500	54,303	8,112	<,001	,000
SaiEle-Chegada	612,100	54,303	11,272	<,001	,000
SaiEle-Saída	-837,325	54,303	-15,419	<,001	,000
EntElev-ExtremI2	-1,212	54,303	-,022	,982	1,000
EntElev-ExtremB2	-2,425	54,303	-,045	,964	1,000
EntElev-Escada2	-138,975	54,303	-2,559	,010	,692
EntElev-Escada3	-139,425	54,303	-2,568	,010	,676
EntElev-ExtremI3	-175,188	54,303	-3,226	,001	,083
EntElev-ExtremI1	-216,988	54,303	-3,996	<,001	,004
EntElev-Escada1	-396,825	54,303	-7,308	<,001	,000
EntElev-Chegada	568,425	54,303	10,468	<,001	,000
EntElev-Saída	-793,650	54,303	-14,615	<,001	,000
ExtremI2-ExtremB2	1,212	54,303	,022	,982	1,000
ExtremI2-Escada2	137,763	54,303	2,537	,011	,738
ExtremI2-Escada3	138,213	54,303	2,545	,011	,721
ExtremI2-ExtremI3	-173,975	54,303	-3,204	,001	,090
ExtremI2-ExtremI1	215,775	54,303	3,974	<,001	,005
ExtremI2-Escada1	395,613	54,303	7,285	<,001	,000
ExtremI2-Chegada	567,213	54,303	10,445	<,001	,000
ExtremI2-Saída	-792,438	54,303	-14,593	<,001	,000
ExtremB2-Escada2	136,550	54,303	2,515	,012	,787
ExtremB2-Escada3	137,000	54,303	2,523	,012	,768
ExtremB2-ExtremI3	-172,763	54,303	-3,181	,001	,097
ExtremB2-ExtremI1	-214,563	54,303	-3,951	<,001	,005
ExtremB2-Escada1	394,400	54,303	7,263	<,001	,000
ExtremB2-Chegada	566,000	54,303	10,423	<,001	,000
ExtremB2-Saída	-791,225	54,303	-14,570	<,001	,000
Escada2-Escada3	-,450	54,303	-,008	,993	1,000
Escada2-ExtremI3	-36,213	54,303	-,667	,505	1,000
Escada2-ExtremI1	-78,013	54,303	-1,437	,151	1,000
Escada2-Escada1	257,850	54,303	4,748	<,001	,000
Escada2-Chegada	429,450	54,303	7,908	<,001	,000
Escada2-Saída	-654,675	54,303	-12,056	<,001	,000
Escada3-ExtremI3	-35,763	54,303	-,659	,510	1,000
Escada3-ExtremI1	-77,563	54,303	-1,428	,153	1,000
Escada3-Escada1	257,400	54,303	4,740	<,001	,000
Escada3-Chegada	429,000	54,303	7,900	<,001	,000
Escada3-Saída	-654,225	54,303	-12,048	<,001	,000
ExtremI3-ExtremI1	41,800	54,303	,770	,441	1,000
ExtremI3-Escada1	221,638	54,303	4,081	<,001	,003
ExtremI3-Chegada	393,238	54,303	7,242	<,001	,000
ExtremI3-Saída	-618,463	54,303	-11,389	<,001	,000
ExtremI1-Escada1	179,838	54,303	3,312	<,001	,061
ExtremI1-Chegada	351,438	54,303	6,472	<,001	,000
ExtremI1-Saída	-576,663	54,303	-10,619	<,001	,000
Escada1-Chegada	171,600	54,303	3,160	,002	,104
Escada1-Saída	-396,825	54,303	-7,308	<,001	,000
Chegada-Saída	-225,225	54,303	-4,148	<,001	,002

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 15 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da localização em relação à oscilação, com uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
SaiEle-ExtremB2	260,688	57,155	4,561	<.001	,000
SaiEle-EntElev	265,594	57,155	4,647	<.001	,000
SaiEle-Escada2	400,969	57,155	7,015	<.001	,000
SaiEle-ExtremI2	475,531	57,155	8,320	<.001	,000
SaiEle-Escada1	496,281	57,155	8,683	<.001	,000
SaiEle-Escada3	507,813	57,155	8,885	<.001	,000
SaiEle-Chegada	515,906	57,155	9,026	<.001	,000
SaiEle-ExtremI1	549,656	57,155	9,617	<.001	,000
SaiEle-ExtremI3	554,219	57,155	9,697	<.001	,000
SaiEle-ExtremB3	572,188	57,155	10,011	<.001	,000
SaiEle-Saída	-908,406	57,155	-15,894	<.001	,000
ExtremB2-EntElev	4,906	57,155	,086	,932	1,000
ExtremB2-Escada2	140,281	57,155	2,454	,014	,931
ExtremB2-ExtremI2	-214,844	57,155	-3,759	<.001	,011
ExtremB2-Escada1	235,594	57,155	4,122	<.001	,002
ExtremB2-Escada3	247,125	57,155	4,324	<.001	,001
ExtremB2-Chegada	255,219	57,155	4,465	<.001	,001
ExtremB2-ExtremI1	-288,969	57,155	-5,056	<.001	,000
ExtremB2-ExtremI3	-293,531	57,155	-5,136	<.001	,000
ExtremB2-ExtremB3	-311,500	57,155	-5,450	<.001	,000
ExtremB2-Saída	-647,719	57,155	-11,333	<.001	,000
EntElev-Escada2	-135,375	57,155	-2,369	,018	1,000
EntElev-ExtremI2	-209,938	57,155	-3,673	<.001	,016
EntElev-Escada1	-230,688	57,155	-4,036	<.001	,004
EntElev-Escada3	-242,219	57,155	-4,238	<.001	,001
EntElev-Chegada	250,313	57,155	4,380	<.001	,001
EntElev-ExtremI1	-284,063	57,155	-4,970	<.001	,000
EntElev-ExtremI3	-288,625	57,155	-5,050	<.001	,000
EntElev-ExtremB3	-306,594	57,155	-5,364	<.001	,000
EntElev-Saída	-642,813	57,155	-11,247	<.001	,000
Escada2-ExtremI2	-74,563	57,155	-1,305	,192	1,000
Escada2-Escada1	95,313	57,155	1,668	,095	1,000
Escada2-Escada3	-106,844	57,155	-1,869	,062	1,000
Escada2-Chegada	114,938	57,155	2,011	,044	1,000
Escada2-ExtremI1	-148,688	57,155	-2,601	,009	,613
Escada2-ExtremI3	-153,250	57,155	-2,681	,007	,484
Escada2-ExtremB3	-171,219	57,155	-2,996	,003	,181
Escada2-Saída	-507,438	57,155	-8,878	<.001	,000
ExtremI2-Escada1	20,750	57,155	,363	,717	1,000
ExtremI2-Escada3	32,281	57,155	,565	,572	1,000
ExtremI2-Chegada	40,375	57,155	,706	,480	1,000
ExtremI2-ExtremI1	74,125	57,155	1,297	,195	1,000
ExtremI2-ExtremI3	-78,688	57,155	-1,377	,169	1,000
ExtremI2-ExtremB3	96,656	57,155	1,691	,091	1,000
ExtremI2-Saída	-432,875	57,155	-7,574	<.001	,000
Escada1-Escada3	-11,531	57,155	-,202	,840	1,000
Escada1-Chegada	19,625	57,155	,343	,731	1,000
Escada1-ExtremI1	-53,375	57,155	-,934	,350	1,000
Escada1-ExtremI3	-57,938	57,155	-1,014	,311	1,000
Escada1-ExtremB3	-75,906	57,155	-1,328	,184	1,000
Escada1-Saída	-412,125	57,155	-7,211	<.001	,000
Escada3-Chegada	8,094	57,155	,142	,887	1,000
Escada3-ExtremI1	-41,844	57,155	-,732	,464	1,000
Escada3-ExtremI3	-46,406	57,155	-,812	,417	1,000
Escada3-ExtremB3	-64,375	57,155	-1,126	,260	1,000
Escada3-Saída	-400,594	57,155	-7,009	<.001	,000
Chegada-ExtremI1	-33,750	57,155	-,590	,555	1,000
Chegada-ExtremI3	-38,313	57,155	-,670	,503	1,000
Chegada-ExtremB3	-56,281	57,155	-,985	,325	1,000
Chegada-Saída	-392,500	57,155	-6,867	<.001	,000
ExtremI1-ExtremI3	-4,563	57,155	-,080	,936	1,000
ExtremI1-ExtremB3	22,531	57,155	,394	,693	1,000
ExtremI1-Saída	-358,750	57,155	-6,277	<.001	,000
ExtremI3-ExtremB3	17,969	57,155	,314	,753	1,000
ExtremI3-Saída	-354,188	57,155	-6,197	<.001	,000
ExtremB3-Saída	-336,219	57,155	-5,883	<.001	,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 16 – Quadro comparativo de Pairwise entre as variáveis da localização em relação à oscilação, com uso de rádio

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
SaiEle-ExtremB2	393,375	57,327	6,862	<,001	,000
SaiEle-EntElev	436,425	57,327	7,613	<,001	,000
SaiEle-Chegada	585,150	57,327	10,207	<,001	,000
SaiEle-Escada1	585,150	57,327	10,207	<,001	,000
SaiEle-Escada2	858,300	57,327	14,972	<,001	,000
SaiEle-ExtremI1	875,475	57,327	15,271	<,001	,000
SaiEle-ExtremI2	884,775	57,327	15,434	<,001	,000
SaiEle-ExtremI3	900,600	57,327	15,710	<,001	,000
SaiEle-Escada3	972,150	57,327	16,958	<,001	,000
SaiEle-ExtremB3	997,950	57,327	17,408	<,001	,000
SaiEle-Saida	-1204,350	57,327	-21,008	<,001	,000
ExtremB2-EntElev	43,050	57,327	,751	,453	1,000
ExtremB2-Escada1	191,775	57,327	3,345	<,001	,054
ExtremB2-Chegada	191,775	57,327	3,345	<,001	,054
ExtremB2-Escada2	464,925	57,327	8,110	<,001	,000
ExtremB2-ExtremI1	-482,100	57,327	-8,410	<,001	,000
ExtremB2-ExtremI2	-491,400	57,327	-8,572	<,001	,000
ExtremB2-ExtremI3	-507,225	57,327	-8,848	<,001	,000
ExtremB2-Escada3	578,775	57,327	10,096	<,001	,000
ExtremB2-ExtremB3	-604,575	57,327	-10,546	<,001	,000
ExtremB2-Saida	-810,975	57,327	-14,146	<,001	,000
EntElev-Chegada	148,725	57,327	2,594	,009	,626
EntElev-Escada1	-148,725	57,327	-2,594	,009	,626
EntElev-Escada2	-421,875	57,327	-7,359	<,001	,000
EntElev-ExtremI1	-439,050	57,327	-7,659	<,001	,000
EntElev-ExtremI2	-448,350	57,327	-7,821	<,001	,000
EntElev-ExtremI3	-464,175	57,327	-8,097	<,001	,000
EntElev-Escada3	-535,725	57,327	-9,345	<,001	,000
EntElev-ExtremB3	-561,525	57,327	-9,795	<,001	,000
EntElev-Saida	-767,925	57,327	-13,395	<,001	,000
Chegada-Escada1	,000	57,327	,000	1,000	1,000
Chegada-Escada2	-273,150	57,327	-4,765	<,001	,000
Chegada-Escada3	-387,000	57,327	-6,751	<,001	,000
Chegada-ExtremB3	-412,800	57,327	-7,201	<,001	,000
Escada1-Escada2	-273,150	57,327	-4,765	<,001	,000
Escada1-ExtremI1	-290,325	57,327	-5,064	<,001	,000
Escada1-ExtremI2	-299,625	57,327	-5,227	<,001	,000
Escada1-ExtremI3	-315,450	57,327	-5,503	<,001	,000
Escada1-Escada3	-387,000	57,327	-6,751	<,001	,000
Escada1-ExtremB3	-412,800	57,327	-7,201	<,001	,000
Chegada-ExtremI2	-299,625	57,327	-5,227	<,001	,000
Chegada-ExtremI3	-315,450	57,327	-5,503	<,001	,000
Chegada-Saida	-619,200	57,327	-10,801	<,001	,000
Escada1-Saida	-619,200	57,327	-10,801	<,001	,000
Chegada-ExtremI1	-290,325	57,327	-5,064	<,001	,000
Escada2-ExtremI1	-17,175	57,327	-,300	,764	1,000
Escada2-ExtremI2	-26,475	57,327	-,462	,644	1,000
Escada2-ExtremI3	-42,300	57,327	-,738	,461	1,000
Escada2-Escada3	-113,850	57,327	-1,986	,047	1,000
Escada2-ExtremB3	-139,650	57,327	-2,436	,015	,980
Escada2-Saida	-346,050	57,327	-6,036	<,001	,000
ExtremI1-ExtremI2	-9,300	57,327	-,162	,871	1,000
ExtremI1-ExtremI3	-25,125	57,327	-,438	,661	1,000
ExtremI1-Escada3	96,675	57,327	1,686	,092	1,000
ExtremI1-ExtremB3	122,475	57,327	2,136	,033	1,000
ExtremI1-Saida	-328,875	57,327	-5,737	<,001	,000
ExtremI2-ExtremI3	-15,825	57,327	-,276	,783	1,000
ExtremI2-Escada3	87,375	57,327	1,524	,127	1,000
ExtremI2-ExtremB3	113,175	57,327	1,974	,048	1,000
ExtremI2-Saida	-319,575	57,327	-5,575	<,001	,000
ExtremI3-Escada3	71,550	57,327	1,248	,212	1,000
ExtremI3-ExtremB3	97,350	57,327	1,698	,089	1,000
ExtremI3-Saida	-303,750	57,327	-5,299	<,001	,000
Escada3-ExtremB3	-25,800	57,327	-,450	,653	1,000
Escada3-Saida	-232,200	57,327	-4,050	<,001	,003
ExtremB3-Saida	-206,400	57,327	-3,600	<,001	,021

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 17 – Valores médios encontrados ao longo do experimento de monitoramento de equilíbrio

POSIÇÃO DO BEACON	POSTURA CORPORAL	EIXOS		
		X	Y	Z
PULSO DIREITO	Estável	-0,999	5,704	3,087
	Para direita	0,629	4,223	-0,771
	Para esquerda	-1,65	3,626	0,816
	Para frente	4,285	0,965	0,835
	Para trás	-1,802	3,198	2,836
	Pegando algo do chão	0,502	3,119	-2,662
	Agachado	-1,25	2,58	2,133
PULSO ESQUERDO	Estável	-1,526	2,823	2,711
	Para direita	0,503	3,94	0,295
	Para esquerda	-1,682	3,319	1,72
	Para frente	3,206	0,802	0,176
	Para trás	-2,266	2,972	3,031
	Pegando algo do chão	-0,239	2,925	-2,141
	Agachado	-1,551	2,316	1,649
PESCOÇO	Estável	-0,653	-0,013	2,843
	Para direita	1,394	1,084	0,654
	Para esquerda	0,057	0,965	1,419
	Para frente	3,827	-2,085	0,439
	Para trás	-1,356	0,06	3,075
	Pegando algo do chão	0,527	0,213	-1,595
	Agachado	-1,08	-0,678	1,254
BOLSO	Estável	-0,069	-0,289	4,311
	Para direita	1,595	1,047	3,34
	Para esquerda	1,068	0,143	3,145
	Para frente	4,317	-2,047	1,857
	Para trás	-0,063	0,111	2,975
	Pegando algo do chão	1,72	0,332	-1,84
	Agachado	-0,226	-0,402	1,957
CINTURA FRENTE	Estável	-1,167	-0,615	4,274
	Para direita	0,628	0,784	3,886
	Para esquerda	0,867	-1,056	3,999
	Para frente	3,495	-2,386	2,24
	Para trás	-0,66	-0,002	2,629
	Pegando algo do chão	0,91	-0,032	-2,731
	Agachado	-1,261	-0,76	1,8
CINTURA ATRÁS	Estável	-1,292	2,504	3,973
	Para direita	-0,213	3,721	4,024
	Para esquerda	0,089	1,643	3,578
	Para frente	3,413	0,74	2,711
	Para trás	-0,823	2,05	3,344
	Pegando algo do chão	0,075	2,773	-3,409
	Agachado	-2,335	2,064	1,047
CINTURA DIREITA	Estável	-1,38	2,36	3,232
	Para direita	-0,521	6,326	5,065
	Para esquerda	-0,734	4,612	3,873
	Para frente	1,945	3,382	2,723
	Para trás	-1,971	4,768	3,52
	Pegando algo do chão	-1,087	5,145	-3,403
	Agachado	-3,295	4,486	0,978
CINTURA ESQUERDA	Estável	-0,677	4,387	2,077
	Para direita	-1,293	9,251	5,259
	Para esquerda	-0,96	7,725	4,193
	Para frente	1,104	6,15	2,817
	Para trás	-3,22	7,298	3,878
	Pegando algo do chão	-1,708	7,875	-3,49
	Agachado	-4,111	7,109	0,602

Fonte: Autor.

Apêndice 18 – Comparações do Método Pairwise das posturas corporais em relação ao eixo X

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
Estável-PegandoC	-52,881	36,164	-1,462	,144	1,000
Estável-ParaDire	-56,838	36,164	-1,572	,116	1,000
Estável-Agachado	62,328	36,164	1,724	,085	1,000
Estável-ParaTrá	-66,031	36,164	-1,826	,068	1,000
Estável-ParaEsqu	-78,122	36,164	-2,160	,031	,646
Estável-ParaFren	-103,888	36,164	-2,873	,004	,085
PegandoC-ParaDire	3,956	36,164	,109	,913	1,000
PegandoC-Agachado	9,447	36,164	,261	,794	1,000
PegandoC-ParaTrá	13,150	36,164	,364	,716	1,000
PegandoC-ParaEsqu	25,241	36,164	,698	,485	1,000
PegandoC-ParaFren	51,006	36,164	1,410	,158	1,000
ParaDire-Agachado	5,491	36,164	,152	,879	1,000
ParaDire-ParaTrá	-9,194	36,164	-,254	,799	1,000
ParaDire-ParaEsqu	-21,284	36,164	-,589	,556	1,000
ParaDire-ParaFren	-47,050	36,164	-1,301	,193	1,000
Agachado-ParaTrá	-3,703	36,164	-,102	,918	1,000
Agachado-ParaEsqu	-15,794	36,164	-,437	,662	1,000
Agachado-ParaFren	-41,559	36,164	-1,149	,250	1,000
ParaTrá-ParaEsqu	12,091	36,164	,334	,738	1,000
ParaTrá-ParaFren	37,856	36,164	1,047	,295	1,000
ParaEsqu-ParaFren	-25,766	36,164	-,712	,476	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 19 – Comparações do Método Pairwise das posturas corporais em relação ao eixo Y

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
ParaTrá-Estável	8,866	36,163	,245	,806	1,000
ParaTrá-ParaFren	23,681	36,163	,655	,513	1,000
ParaTrá-PegandoC	-41,294	36,163	-1,142	,254	1,000
ParaTrá-Agachado	46,066	36,163	1,274	,203	1,000
ParaTrá-ParaEsqu	50,919	36,163	1,408	,159	1,000
ParaTrá-ParaDire	66,388	36,163	1,836	,066	1,000
Estável-ParaFren	-14,816	36,163	-,410	,682	1,000
Estável-PegandoC	-32,428	36,163	-,897	,370	1,000
Estável-Agachado	37,200	36,163	1,029	,304	1,000
Estável-ParaEsqu	-42,053	36,163	-1,163	,245	1,000
Estável-ParaDire	-57,522	36,163	-1,591	,112	1,000
ParaFren-PegandoC	-17,613	36,163	-,487	,626	1,000
ParaFren-Agachado	22,384	36,163	,619	,536	1,000
ParaFren-ParaEsqu	27,238	36,163	,753	,451	1,000
ParaFren-ParaDire	42,706	36,163	1,181	,238	1,000
PegandoC-Agachado	4,772	36,163	,132	,895	1,000
PegandoC-ParaEsqu	9,625	36,163	,266	,790	1,000
PegandoC-ParaDire	25,094	36,163	,694	,488	1,000
Agachado-ParaEsqu	-4,853	36,163	-,134	,893	1,000
Agachado-ParaDire	-20,322	36,163	-,562	,574	1,000
ParaEsqu-ParaDire	15,469	36,163	,428	,669	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.

Apêndice 20 – Comparações do Método Pairwise das posturas corporais em relação ao eixo Z

Sample 1-Sample 2	Estatística de teste	Erro Padrão	Estatística de Teste Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
PegandoC-Agachado	1,844	36,164	,051	,959	1,000
PegandoC-ParaTrá	34,303	36,164	,949	,343	1,000
PegandoC-ParaFren	41,522	36,164	1,148	,251	1,000
PegandoC-ParaDire	60,172	36,164	1,664	,096	1,000
PegandoC-ParaEsqu	75,000	36,164	2,074	,038	,800
PegandoC-Estável	112,025	36,164	3,098	,002	,041
Agachado-ParaTrá	-32,459	36,164	-,898	,369	1,000
Agachado-ParaFren	-39,678	36,164	-1,097	,273	1,000
Agachado-ParaDire	-58,328	36,164	-1,613	,107	1,000
Agachado-ParaEsqu	-73,156	36,164	-2,023	,043	,905
Agachado-Estável	-110,181	36,164	-3,047	,002	,049
ParaTrá-ParaFren	7,219	36,164	,200	,842	1,000
ParaTrá-ParaDire	25,869	36,164	,715	,474	1,000
ParaTrá-ParaEsqu	40,697	36,164	1,125	,260	1,000
ParaTrá-Estável	77,722	36,164	2,149	,032	,664
ParaFren-ParaDire	18,650	36,164	,516	,606	1,000
ParaFren-ParaEsqu	33,478	36,164	,926	,355	1,000
ParaFren-Estável	70,503	36,164	1,950	,051	1,000
ParaDire-ParaEsqu	-14,828	36,164	-,410	,682	1,000
ParaDire-Estável	51,853	36,164	1,434	,152	1,000
ParaEsqu-Estável	37,025	36,164	1,024	,306	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é ,050.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Fonte: Autor.