

Um framework de rastreamento corporal para reabilitação neuromotora com suporte a aplicativos multimídia

Elvis Ribeiro
elvishribeiro@gmail.com
Universidade Federal de São João
del-Rei (UFSJ)
São João del-Rei, MG, Brasil

Alexandre Brandão
alexandre.brandao@puc-
campinas.edu.br
Universidade Pontifícia Católica de
Campinas (PUC-Campinas)
Campinas, SP, Brasil

Marcelo Guimarães
marcelo.paiva@unifesp.br
Universidade Federal de São Paulo
(UNIFESP)
Osasco, SP, Brasil

Leonardo Rocha
lrocha@ufsj.edu.br
Universidade Federal de São João
del-Rei (UFSJ)
São João del-Rei, MG, Brasil

José Remo Brega
remo.brega@unesp.br
Universidade Estadual Paulista
(UNESP)
Bauru, SP, Brasil

Diego Dias
diego.dias@ufes.br
Universidade Federal do Espírito
Santo (UFES)
Vitória, ES, Brasil

ABSTRACT

Multimedia applications and games play a crucial role in rehabilitation and health, providing an interactive and engaging approach that can improve patient motivation, facilitate progress monitoring, and personalize treatment plans. They offer an innovative physical and cognitive therapy platform, allowing healthcare professionals to explore new forms of treatment and patients to experience a more enjoyable and effective recovery. Despite recent advances in hardware and software, integrated solutions still need to be developed to facilitate the development of new applications, especially those that use body-tracking sensors. This paper presents the framework for a development solution that simplifies the creation of new natural user interface (NUI) applications based on inertial sensors, supporting both tracking and the creation of sessions and data storage. We also present examples of applications developed to show the potential of the solution for developing new applications that use the user's own body as a means of interaction.

KEYWORDS

Realidade Virtual, Jogos Sérios, Multimídia, Reabilitação Neuromotora, Sensores, Rastreamento Corporal, Desenvolvimento de Software

1 INTRODUÇÃO

As aplicações multimídia e jogos são ferramentas de extrema importância na saúde e reabilitação motora. Elas oferecem uma abordagem lúdica e interativa para diversos tipos de tratamento, aumentando a motivação do paciente e promovendo o engajamento em diversos tipos de tratamento. Além disso, permitem o monitoramento preciso do progresso

do paciente e personalização do plano de tratamento. No contexto de reabilitação neuromotora, por exemplo, ao tornar o processo de reabilitação mais agradável e envolvente, essas tecnologias podem contribuir significativamente para a recuperação do paciente [10].

Com o avançar da idade o homem desenvolve doenças que poderiam ser controladas pela prática regular de atividades físicas, como a sarcopenia, osteoporose, obesidade e cardiopatias. O atual cenário de inatividade física [6, 9] está associado a problemas de saúde pública e aumento de doenças não-transmissíveis (aterosclerose, diabetes tipo 2 e carcinomas), considerando a cultura e o estilo de vida como estratégias de prevenção e promoção de saúde. Neste cenário, busca-se atividades que envolvam grandes grupos musculares, como os músculos dos membros inferiores, para promover uma intensa circulação sanguínea e um aumento consequente no gasto energético durante a realização dessas atividades. Por exemplo, movimentos corporais que simulem a caminhada possuem características que contemplam estas exigências.

Contrariando a antiga crença de que o cérebro humano é imutável, Kesselring [7] aponta que devido à neuroplasticidade do cérebro, o sistema nervoso central do ser humano adulto tem uma excelente capacidade de recuperação espontânea. Ademais, os exercícios terapêuticos influenciam positivamente na recuperação, acelerando e fortalecendo-a. Desta forma, o emprego de aplicações multimídia, principalmente jogos sérios, pode ser empregado como ferramenta auxiliar em diversos cenários de reabilitação, entre eles a reabilitação da capacidade neuromotora de pacientes acometidos por um Acidente Vascular Cerebral (AVC), ou como incentivo na reabilitação de pacientes que apresentam dificuldades na movimentação de membros inferiores.

A busca de novas modalidades de entretenimento, que atendam requisitos necessários ao aumento significativo de atividade física, são de grande interesse social, melhor aceito pela população quando inserida de forma lúdica e apresentada em ambientes interativos e imersivos de RV. Maloney et al. [8] indicam que os jogos interativos digitais são potencialmente benéficos ao aumento da realização de atividades

físicas na população infantil. Como mostrado por Guimaraes et al. [5], o cansaço físico é um fator limitante ao tempo de interação do usuário com tecnologias virtuais baseada em gestos, evidenciando que um maior grau de fortalecimento da musculatura do corpo poderia colaborar com o aumento de tempo de interação dos usuários com as iminentes tecnologias suportadas por gestos corporais, tais como o controle de televisores inteligentes por meio de movimentos com as mãos, sendo assim um movimento natural ao cotidiano do usuário.

As aplicações de multimídia vêm desempenhando um papel importante nos dias atuais e estão presente nas mais diversas áreas, incluindo como ferramenta no auxílio de reabilitação [1, 3, 15]. A interação é parte essencial do engajamento do usuário com o ambiente virtual, podendo ser alcançada por meio de controles, toques ou até mesmo gestos. A solução apresentada no trabalho utiliza-se da interação natural do usuário (NUI), sendo estes captados por meio de sensores inerciais embarcados. A interação entre o usuário e o sistema deve ser, idealmente, o mais natural possível. Em sistemas de realidade virtual (RV), por exemplo, em que a imersão impossibilita o uso de teclados, mouses e telas sensíveis ao toque, a interação é realizada por meio de soluções específicas como *joysticks*, gestos e voz. Em casos onde o usuário é incapaz de operar um *joystick*, ou quando se deseja estimular a movimentação corporal, a interação por meios de gestos corporais se mostra uma excelente escolha.

Tecnologias de rastreamento corporal vêm sendo utilizadas largamente na indústria de jogos [4]. Dispositivos de rastreamento óticos, tal como o *Kinect* da Microsoft ou soluções *Mocap*¹, utilizam visão computacional para rastrear o corpo humano [14]. Porém, o uso do *Kinect* apresenta limitações como liberdade, precisão e oclusão, o que limita o movimento do usuário ao campo de visão do dispositivo e impossibilita a captura de movimentos do usuário em posição lateral (se utilizado apenas um dispositivo). Tais problemas são mitigados quando empregadas as soluções *Mocap*, visto que utilizam múltiplas câmeras de captura e diversos marcadores anexados ao corpo do usuário, porém o preço elevado é um fator obstante na escolha de uma solução boa e razoavelmente barata. Neste trabalho, utilizamos o *biomechanical sensor node* (BSN) como dispositivo de interação.

O BSN [2] é um dispositivo de rastreamento corporal inovador desenvolvido por Brandão e sua equipe. Ele utiliza uma rede de sensores colocados estrategicamente no corpo para capturar movimentos e posturas em tempo real, permitindo que o usuário possa controlar ambientes virtuais por meio da NUI. Esses dados são então processados e utilizados para criar uma representação digital precisa do usuário. O BSN tem aplicações potenciais em uma variedade de campos, incluindo reabilitação física, esportes e entretenimento interativo. Sua precisão e facilidade de uso o tornam uma ferramenta valiosa para profissionais e pesquisadores dessas áreas.

A principal justificativa desse trabalho está relacionada a dificuldade em se simular a interação do usuário dentro de

um ambiente virtual de maneira intuitiva e imersiva. Outro benefício, no que tange o uso de ambientes virtuais, é a possibilidade do usuário realizar o treinamento em um ambiente controlado e seguro, visto que o ambiente virtual não gera perigo real, quando comparado a um ambiente real de treinamento. Portanto, pesquisas voltadas a meios de interação de ambientes virtuais são importantes ao desenvolvimento e difusão de novas aplicações.

Apresentamos neste trabalho a definição do framework de rastreamento corporal, que possibilita a criação de aplicações de NUI utilizando o dispositivo BSN, assim como a criação e armazenamento de sessões de fisioterapia, contexto apresentado como exemplo para a criação de aplicações voltadas à reabilitação neuromotora. Outras aplicações exemplo também são apresentadas.

2 METODOLOGIA

Desenvolver um framework envolve uma série de etapas metodológicas. Primeiro, é necessário identificar e entender claramente o problema ou a necessidade que o framework se propõe a resolver. Em seguida, é importante realizar uma análise aprofundada do domínio do problema para identificar padrões comuns e abstrações. Com base nessa análise, o próximo passo é projetar a arquitetura do framework, definindo suas principais classes e interfaces, bem como suas interações. A implementação do framework deve ser feita de forma modular e extensível, permitindo que os desenvolvedores personalizem e estendam sua funcionalidade conforme necessário. Por fim, é crucial fornecer documentação detalhada e exemplos de uso para ajudar os desenvolvedores a entender e utilizar o framework efetivamente. É importante notar que o desenvolvimento de um framework é um processo iterativo que requer refinamento e evolução contínuos com base no feedback dos usuários e nas mudanças nas necessidades do domínio.

O primeiro passo foi levantar quais requisitos comuns as aplicações beneficiadas pelo uso do framework possuem. Foram levantados alguns requisitos funcionais, tais como: conexão de múltiplos BSNs – a possibilidade de sincronizar vários BSNs para controlar diferentes partes do corpo humano; interface de fácil utilização – uma interface intuitiva, que permita a descoberta e conexão dos dispositivos BSN; e configuração remota – a possibilidade de realizar a configuração a partir de outro dispositivo (*smartphone* ou *desktop*).

Adotamos a arquitetura Modelo-Visão-Control (MVC) e seguimos o paradigma orientado a eventos. O MVC é um padrão de design amplamente utilizado na programação de software que separa os componentes de um sistema em três partes distintas. Dessa forma, o asset fica completamente encapsulado, deixando toda a parte de configuração dos BSN transparente para o programador/usuário.

2.1 Modelo

O Modelo é o módulo responsável por fazer a gerência dos dispositivos BSN, a coleta de dados e a rotação dos

¹Rastreamento corporal através de marcadores presos ao corpo do usuário e diversas câmeras de alta definição circundando o ambiente.

objetos virtuais. É composto pela API² de *BLE* Bluetooth-HardwareInterface, pela classe *BSNHardwareInterface*. Ela não armazena os dados do BSN, mas sim uma lista de uma nova classe, a classe *BSNDevice*, que abstrai um dispositivo BSN e a *RotatableObject*, que é a classe que de fato está disponível para ser usada pelo programador.

A classe *BSNHardwareInterface* é responsável apenas por realizar a comunicação com o *BluetoothHardwareInterface* e por armazenar uma lista de *BSNDevices*. Após receber o comando *FindBSN*, por meio da *ConfigurationAPI*, é iniciado o processo de descoberta. Sempre que um *beacon*³ é encontrado, a *BSNHardwareInterface* recebe uma resposta contendo o nome e o endereço MAC do dispositivo, em seguida adiciona-o à lista de BSNs e envia uma resposta à *ConfigurationAPI*, informando que o dispositivo foi encontrado. Esse processo é assíncrono e sempre é executado ao encontrar um novo *beacon*, toda a comunicação sendo feita por meio de *callbacks*.

O procedimento de conexão de um BSN é análogo ao de descoberta. A *ConfigurationAPI* envia o comando de conexão, passando como parâmetro o endereço do dispositivo que deseja conectar. Esse comando de conexão é repassado até o dispositivo BLE, que eventualmente responde o sucesso de conexão informando todos os serviços e características disponíveis. Nesse momento o objeto *BSNDevice* cadastra seus *delegates* para receberem os dados sempre que forem atualizados no BSN.

A classe *BSNDevice* representa um BSN na aplicação, contendo seu nome, endereço e um campo booleano que indica se está conectada. Ela conta também com um objeto da classe *RotatableObject*, responsável por manipular objetos 3D no Unity⁴, possuindo métodos que de fato lidam com os dados do BSN. Portanto, a *BSNDevice* não lida com os dados propriamente dito, apenas os repassa à *RotatableObject*. Sendo assim, é possível intercambiar o objeto controlado por um BSN em tempo de execução.

A classe *RotatableObject* oferece os métodos que recebem dados que são chamados pela *BSNDevice* a cada *notify*⁵ do BSN, a aceleração linear, dados brutos e vetor de gravidade, sendo eles *LinearAccHandler(Vector3 linAcc)*, *RawDataHandler(Vector3 accelerometer, Vector3 gyroscope, Vector3 compass)* e *GravityVectorHandler(Vector3 gravityVector)*, respectivamente. Esses métodos não são implementados e devem ser implementados pelo usuário programador. O método *ResetOffset()* também está disponível e deve ser chamado sempre que se deseja compensar a rotação do BSN.

A fim de sanar a diferença de orientação entre o dispositivo e o ambiente virtual, a classe *RotatableObject* possui duas funcionalidades: a troca de um eixo com outro e a inversão do sentido de um eixo. Ambas funcionalidades são úteis para

corrigir a orientação do eixo dependendo da posição em que o BSN é anexado ao corpo do usuário.

Surge uma outra questão quando queremos que a posição inicial do BSN seja diferente da posição padrão – *T-pose*⁶. Sempre que inicializado, o BSN precisa ser mantido em repouso na horizontal por aproximadamente 30 segundos antes de começar a utilizá-lo, a fim de calibrar os sensores. No caso em que o objeto controlado é a perna de um avatar, o BSN é anexado verticalmente na coxa do usuário, gerando uma rotação imprevisível na coxa quando a rotação deveria ser zero. Tendo isso em vista, é necessário a aplicação de um *offset* sobre a rotação do BSN, de tal modo que:

$$Q_{objeto} = Q_{offset} * Q_{BSN}. \quad (1)$$

O Q_{offset} deve ser calculado sempre que se deseja compensar a rotação, ou seja, definir a rotação atual como rotação zero. O cálculo é dado a partir da Equação 1, multiplicando o Inverso da $Q_{rotação\ do\ BSN}$ em ambos os lados da equação.

$$Q_{objeto} * Q_{BSN}^{-1} = Q_{offset} * Q_{BSN} * Q_{BSN}^{-1} \quad (2)$$

$$Q_{offset} = Q_{objeto} * Q_{BSN}^{-1} \quad (3)$$

Ao ser adicionada a um *GameObject* no Unity, a classe *RotatableObject* oferece campos de configuração no *Inspector*. Outros dois campos são criados. O campo *Simplified Name* é um apelido que é dado ao objeto que é mostrado na interface de configuração; já o campo *Precision Points* delimita o número de casas decimais que são utilizadas na rotação. Seu valor padrão é dois, obtido após testes empíricos onde foi possível observar que mais de duas casas decimais é majoritariamente ruído.

2.2 Visão

O módulo Visão é composto por uma interface criada no Unity com auxílio do *asset* de ícones e animações *Modern UI Pack* [11]. Este módulo possui duas classes: *UIController*, uma classe que gerencia a interface; e *NetConfigurationServer*, que realiza a comunicação de rede.

Como a proposta foi criar um *asset* de integração em que fosse possível funcionar em novos projetos e também projetos legados, a interface foi projetada para ser o menos invasiva possível. A interface possui um botão cuja função é ativar e desativar a interface de configuração, que se encontra inicialmente desativada (Figura 1a).

A tela de configuração é composta por um botão de iniciar busca, um painel onde são listados os BSNs encontrados e o botão que compensa (atribui o *offset*) a rotação de todos os BSNs. O botão de busca permanece desabilitado até que se encontre um servidor de configuração (apresentado da Seção 2.3). Após iniciada a busca, cada BSN encontrado é adicionado no painel. O item que representa o BSN encontrado conta com o nome e o endereço MAC do dispositivo, como também um menu suspenso para escolha de qual objeto deseja-se controlar e um botão de conexão.

⁶Na animação por computador, a T-pose é uma pose padrão para o esqueleto de um modelo 3D antes de ser animado.

²*Application Programming Interface*

³Sinal do transmissor BLE do BSN.

⁴O Unity é uma plataforma de desenvolvimento em tempo real, líder no mercado mundial, que permite a criação de jogos e simulações 2D e 3D para diversas plataformas (PC, consoles, mobile, VR e AR), utilizando um editor visual e programação através de scripting, oferecendo ferramentas profissionais capazes de atender aos requisitos de qualquer jogo.

⁵Envio de dados de um dispositivo BLE.

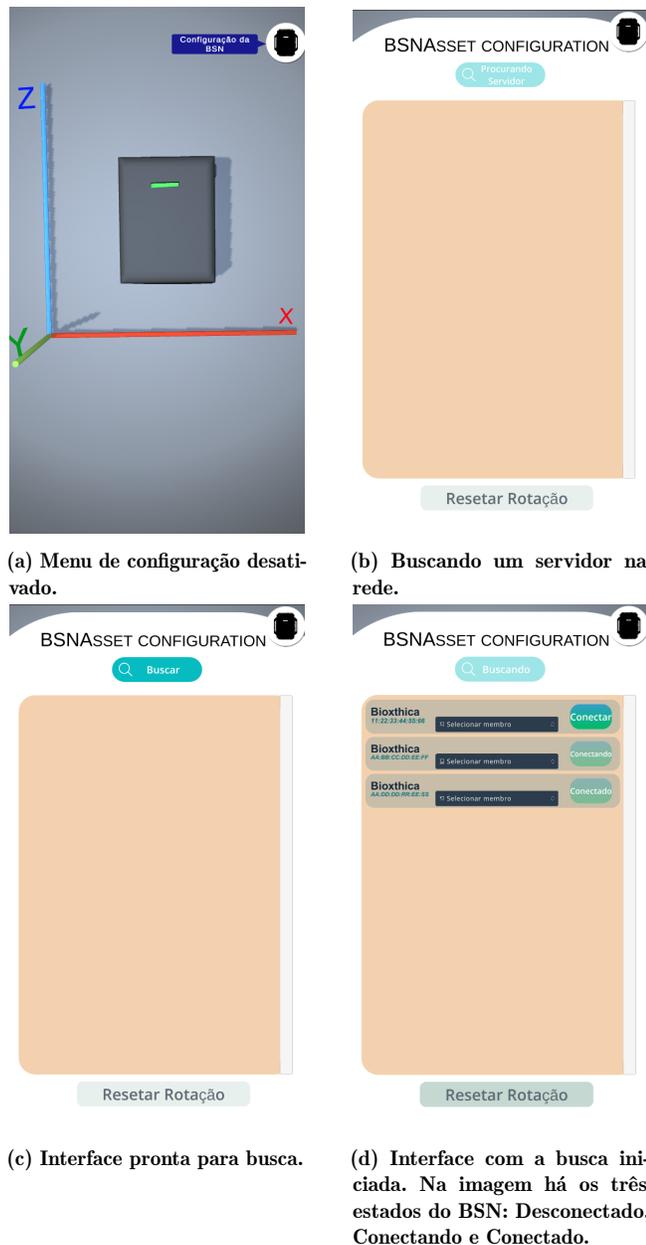


Figure 1: Telas da interface do BSNAsset

A classe `UIController` gerencia a entrada do usuário e projeta na interface de usuário as informações recebidas pelo Controller. Ela trabalha em conjunto com a `NetConfigurationClient`, que se comunica em rede com a `NetConfigurationServer`. Inicialmente, a `NetConfigurationServer` envia mensagens de *broadcast* na rede com o *token* da aplicação em busca de um servidor, que após receber é enviada uma requisição de conexão (passos 2 e 3 do diagrama de sequência). Em seguida o cliente solicita a lista de `RotatableObjects` e os armazena em uma lista (passo 4). A partir desse momento

toda interação é disparada pelo usuário final por meio da interface (passos 5, 6 e 7).

2.3 Controle

O Controle é a camada responsável por receber comandos e aplicá-los ao Modelo, como também retornar à Visão o estado atual do Modelo. É composto por uma Interface de Programação de Aplicação (API) de configuração que dispõe de métodos necessários para uma sessão de uso do *asset*.

Em conjunto com a `ConfigurationAPI`, a classe `NetConfigurationServer` atua como uma classe que aguarda comandos da rede, permitindo a configuração remota dos BSNs, escutando sob um *socket* UDP gerenciado pela biblioteca *Ruffles* [12]. Inicialmente, a `ConfigurationAPI` aguarda por *broadcasts* na rede na porta 5556, contendo um *token*. Se este *token* recebido pelo *broadcast* for o esperado, este é enviado para o dispositivo de origem e imediatamente aguarda pela requisição de conexão.

Após conectado, a `ConfigurationAPI` aguarda por mensagens do cliente, respeitando o protocolo apresentado na Tabela 1. Os dados são separados do comando usando o caractere "/" como separador.

	Mensagem	Dado Recebido
Servidor	Broadcast	Token de identificação da aplicação
	Connection	-
	StartDiscovering	-
	Connect	Endereço MAC
	GetObjNames	-
Cliente	SetObj	Endereço MAC e nome do objeto
	AllBsn	JSON contendo um resumo de todos os BSNs conectados
	ObjNames	Lista dos nomes dos RotatableObjects disponíveis

Table 1: Mensagens que o servidor e cliente de configuração aguardam

3 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho consistem em implantações diretas do `BsnAsset` como alternativa de interação em projetos de RV, como o *Mazze* e o *Simulador de Pênalti*, duas aplicações que permitem demonstrar o funcionamento da solução tanto para membros superiores, quanto para membros inferiores. É apresentada também uma solução quer permite a criação e gravação de sessões (no contexto de neuroreabilitação/fisioterapia).

3.1 Mazze

O *Mazze* é um jogo composto de um labirinto gerado aleatoriamente (obtido em [16]), dentro do qual são posicionadas

moedas douradas e uma esfera (Figura 2). O objetivo do jogo é coletar todas as moedas no menor tempo possível, deslocando a esfera pelo labirinto.

Durante o jogo, o usuário rotaciona o BSN para controlar o labirinto, que também é rotacionado, reproduzindo de forma fidedigna o movimento realizado pelo usuário, movendo a esfera pelos corredores. O BSN deve ser posicionado horizontalmente, podendo estar situado no dorso ou palma da mão. Como é utilizada apenas a rotação do dispositivo (ângulos de Euler), o *BSNAsset* foi utilizado apenas da forma *plug-and-play*, pois apenas necessita indicar que o labirinto deve ser controlado pelo dispositivo.

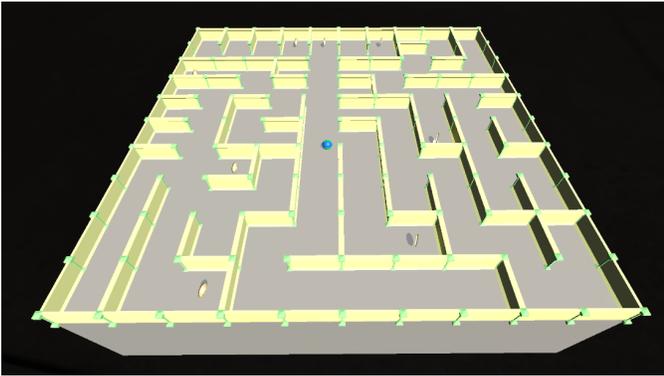


Figure 2: Estado inicial do jogo Mazze

O Mazze pode ser utilizado em processos de reabilitação motora das mãos. Assim, o paciente estará se exercitando à medida que joga

3.2 Simulador de Pênalti

O Simulador de Pênalti possibilitou o uso de todos os recursos disponibilizados pelo *BSNAsset*. Nesta aplicação, são utilizados os dados brutos do BSN, disponíveis via API do *asset*. O jogo consiste em um campo de futebol virtual com um goleiro e o usuário, como pode ser observado na Figura 3.

Durante a simulação o usuário controla a perna e canela do avatar com um par de BSNs colocados na parte anterior da coxa (porção medial) e perna (porção distal), respectivamente. A movimentação dos membros é feita utilizando o modo *plug-and-play* do *asset*, que apenas indica no *Unity* que estes objetos devem ser controlados pelo BSN. Por sua vez, a força do chute é obtida a partir da API do *asset*, que fornece os dados do acelerômetro do dispositivo.

No momento em que o pé do avatar entra em contato com a bola, a força do chute é calculada multiplicando a aceleração obtida do acelerômetro do BSN por um valor pré-definido (representando a massa). Em seguida, a força é aplicada na bola como um impulso na mesma direção e em sentido contrário à normal da colisão.

A defesa do goleiro é feita calculando-se a posição em que a bola chegará no gol usando equações de movimento balístico. Em seguida, é disparada a animação em que o goleiro mais



Figure 3: Cenário do Simulador de Pênalti

se aproxima da bola. Entretanto, como as animações foram criadas de forma determinística, os pontos que o goleiro consegue defender são limitados. Desta maneira, o profissional da saúde pode usar o simulador para execução de exercícios referentes às pernas de forma lúdica.

3.3 Recorder e Recorder Controller

O ReBase [17] foi criado para ser uma base de dados não-relacional utilizada para armazenar sessões de reabilitação neuromotora contendo informações da sessão e os movimentos executados pelo paciente durante o exercício. Em [17] é apresentado uma estrutura de armazenamento como também é fornecido uma API para gravação e recuperação desses dados.

Visando consumir essa API de gravação utilizando dados de rotação de um avatar em 3D, foram criados dois *assets*, sendo eles: Recorder, e Recorder Controller. Os *assets* são distribuídos em forma de pacotes que podem ser utilizados de forma desacoplada em diferentes dispositivos, desde que estejam sob a mesma rede LAN, ou no mesmo dispositivo, como apresentado em 3.4.

A vantagem de se utilizar o Recorder Controller em um dispositivo separado é permitir que aplicações em RV sejam utilizadas pelo paciente através do uso de Óculos VR, uma vez que o controle de gravação é feito remotamente.

3.3.1 Recorder. O Recorder é uma ferramenta criada para reconhecer, interpolar e salvar os dados de rotação de um avatar 3D, podendo ser utilizada independente do método de rastreamento corporal, desde que o avatar onde a movimentação for aplicada esteja dentro do padrão definido pelo Recorder.

O fluxo de execução do Recorder inicia quando o comando de iniciar a gravação da sessão de movimentos é recebido pelo módulo de comunicação em rede. Em seguida os dados são armazenados com um *sample rate* igual à taxa de quadros (ou Frames per second (FPS)) atual da aplicação.

Uma vez que o ReBase não oferece possibilidade de gravar o timestamp juntamente com a amostra, é necessário fixar um

sample rate fixo, de modo que a recuperação dos dados gravados mantenha a velocidade real do movimento. Além disso, sabemos que o FPS de uma aplicação depende diretamente do hardware que ela está sendo executada, impossibilitando o uso desses dados não confiáveis.

Sendo assim, ao fim da gravação de um movimento, as amostras devem passar por um processo chamado de *resampling*. Esse processo garante que independente do tamanho do array de entrada, a saída terá o tamanho especificado, sendo necessário utilizar interpolação linear para garantir semelhança entre o array de entrada e o de saída.

3.4 Mobility Tests

Em sua dissertação, Otoboni [13] realizou uma análise comparativa entre o sistema de rastreamento corporal ótico VICON e a solução utilizando BSN. Seus testes se basearam na execução da tarefa *Sit-to-Stand* que consiste em um exercício onde o paciente levanta e senta em uma cadeira sem apoio das mãos. Para esse comparativo, obteve-se os ângulos goniométricos do Quadril (ângulo formado no eixo látero-lateral pelo abdômen e coxa) e do Joelho (ângulo formado no eixo látero-lateral pela coxa e perna) obtidos por um conjunto de 3 BSNs posicionadas no abdômen, coxa e perna (plano frontal) juntamente com as respectivas rotações obtidas pelo VICON.

Sendo assim, surgiu-se a demanda de uma aplicação para captura desses dados com os seguintes requisitos:

- Aplicação simples, sem RV;
- possibilidade de conexão de 3 BSNs simultaneamente;
- e
- dados devem ser gravados em um arquivo no formato CSV (comma-separated Values) contendo as informações de rotação brutas (Acelerômetro e Giroscópio) e os valores dos ângulos goniométricos do quadril e do joelho.

Buscando atender aos requisitos da demanda, foi criado o aplicativo BSN Mobility Tests, utilizando todos os assets criados anteriormente: BSNAsset, Recorder, Recorder Controller, todos funcionando em um único aparelho, uma vez que não temos necessidade do paciente interagir com a aplicação. Além dos assets citados, um gravador de arquivos CSV foi criado de modo que exportasse os dados da sessão simultaneamente com a gravação no ReBase.

Finalmente, Otoboni [13] apresenta uma correlação regular/forte entre as rotações em ambas as soluções, reafirmando a validade do uso de BSNs na área da saúde.

3.5 Body Tracking

A partir da demanda do BSN Mobility Tests surgiu a necessidade da criação de uma aplicação que pudesse realizar o rastreamento corporal completo utilizando BSNs. Proporcionando gravação de dados de acelerômetro, giroscópio e rotação 3D, além de possibilitar a gravação de dados de rotação de cada articulação do corpo humano (ângulos goniométricos).

A aplicação permite o usuário utilizar livremente as articulações do corpo humano, limitando o uso a grupos de

articulações: superior direito – braço direito, antebraço direito; superior esquerdo – braço esquerdo, antebraço esquerdo; inferior direito – coxa direita, perna direita; e inferior esquerdo – coxa esquerda, perna esquerda.

Os BSNs devem ser posicionadas no corpo humano de acordo com a Figura 4. Nos braços, os BSNs devem ser posicionados com o led voltado para cima e com a face do dispositivo voltada para fora do corpo. Nas pernas, as BSNs devem ser posicionadas com o led voltado para cima e com a face do dispositivo voltada para frente do corpo.



(a) Posicionamento das BSNs nos braços.

(b) Posicionamento das BSNs nas pernas.

Figure 4: Posicionamento das BSNs no corpo humano.

3.5.1 Gráficos. A seguir, apresentaremos os gráficos gerados a partir dos dados coletados pelo BSN Body Tracking. Os gráficos foram gerados utilizando o software Excel, e os dados utilizados foram coletados de um usuário realizando movimentos de flexão e extensão dos membros superiores e inferiores.

3.5.2 Rosca direta. A rosca direta é um exercício de musculação que trabalha os músculos do bíceps braquial. O movimento consiste em flexionar o cotovelo, aproximando a mão do ombro. O movimento é realizado com os braços estendidos ao lado do corpo, com os cotovelos flexionados e os punhos em supinação.

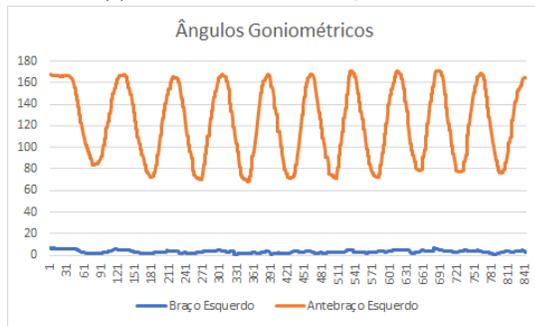
A coleta de dados foi realizada com o usuário realizando um total de 10 repetições do exercício com o braço direito (Figura 5a) e 10 repetições do exercício com o braço esquerdo (Figura 5b).

Nos gráficos da Figura 5 é possível observar que os ângulos goniométricos do cotovelo diminuí conforme o usuário realiza a flexão do cotovelo, e aumenta conforme o usuário realiza a extensão do cotovelo, variando entre 180° e 90°, aproximadamente.

Os gráficos da Figura 6 representam os dados de acelerômetro coletados durante a execução do exercício. É possível observar que os dados de acelerômetro do braço direito e do braço esquerdo são semelhantes, assim como os dados de



(a) Rosca direta com o braço direito.



(b) Rosca direta com o braço esquerdo.

Figure 5: Gráficos goniométricos da rosca direta.

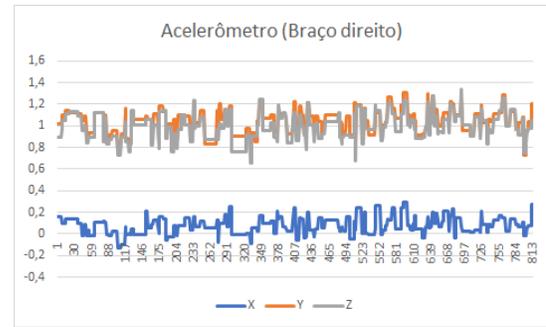
acelerômetro do antebraço direito e do antebraço esquerdo. Os acelerômetros de ambos antebraços apresentam valores mais altos que os acelerômetros dos braços, pois os antebraços executaram um movimento de rotação durante a execução do exercício, enquanto os braços permaneceram estáticos.

3.5.3 Marcha estacionária. A marcha estacionária é um exercício que consiste em simular a marcha sem sair do lugar. O movimento é realizado suspendendo o joelho até que fique alinhado com o quadril, e em seguida voltando a posição inicial.

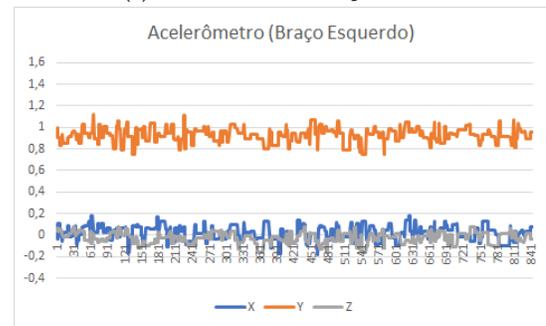
A coleta de dados foi realizada com o usuário realizando um total de 10 repetições do exercício com a perna direita 7a e 10 repetições do exercício com a perna esquerda 7b.

Nos gráficos da Figura 7 é possível observar que os ângulos goniométricos do joelho e do quadril diminuem conforme o usuário realiza a flexão do joelho, e aumenta conforme o usuário realiza a extensão do joelho, variando entre 180° e 90° , aproximadamente.

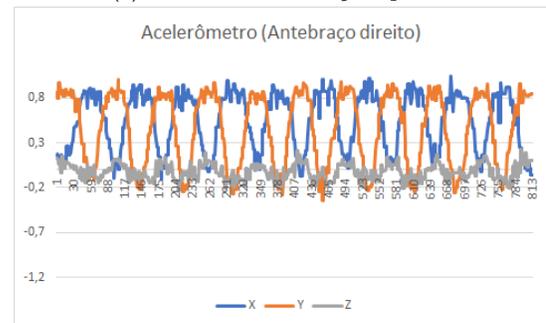
Os gráficos da Figura 8 representam os dados de acelerômetro coletados durante a execução do exercício. É possível observar que os dados de acelerômetro da perna direita e da perna esquerda são semelhantes, assim como os dados de acelerômetro da canela direita e da canela esquerda. Os acelerômetros de ambas as pernas fazem uma troca de eixo, representando uma rotação do dispositivo. Em contrapartida, os acelerômetros das canelas não apresentam rotação, porém



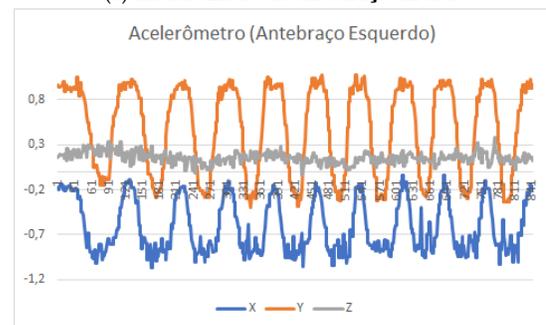
(a) Acelerômetro do braço direito



(b) Acelerômetro do braço esquerdo



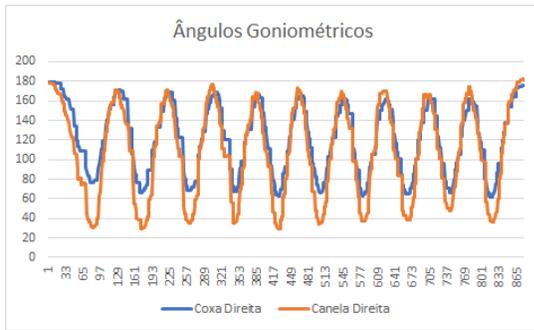
(c) Acelerômetro do antebraço direito



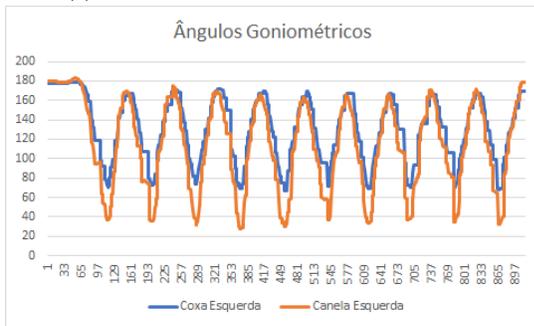
(d) Acelerômetro do antebraço esquerdo

Figure 6: Gráficos de acelerômetro da rosca direta

apresentaram variações nos eixos Y e Z, causados pelo movimento de sobe e desce da canela.



(a) Marcha estacionária com a perna direita



(b) Marcha estacionária com a perna esquerda

Figure 7: Gráficos da marcha estacionária

4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

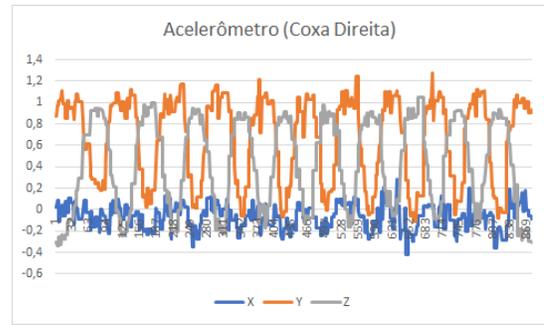
Com o crescimento da RV presente nas casas e consultórios médicos, ela se mostra um excelente incentivo para o exercício físico e ajuda na reabilitação de pacientes com dificuldades neuromotoras causadas por várias patologias (como o acidente vascular cerebral). A inevitabilidade de criar inúmeras aplicações para uso específico se torna uma grande possibilidade. Entretanto, embora os óculos de RV facilitem e tornem a imersão mais acessível, um método de interação natural ainda é visto como um desafio no desenvolvimento de aplicações de RV.

A necessidade de criar um método de interação natural que seja suficientemente genérico para funcionar em várias aplicações de RV e que ofereça espaço para a inserção de particularidades de cada projeto tem governado este trabalho e incentivado a criação do BSNAsset.

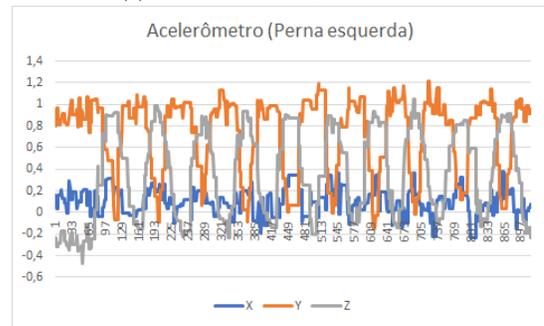
Propusemos e desenvolvemos um asset que nos permite realizar a conexão de múltiplos dispositivos, rastrear o corpo humano e mover um avatar virtual. A solução desenvolvida é fácil de importar e usar em qualquer projeto da Unity. Como mostramos, é possível gerar aplicações de rastreamento corporal completo, interagindo com membros superiores e inferiores.

AGRADECIMENTOS

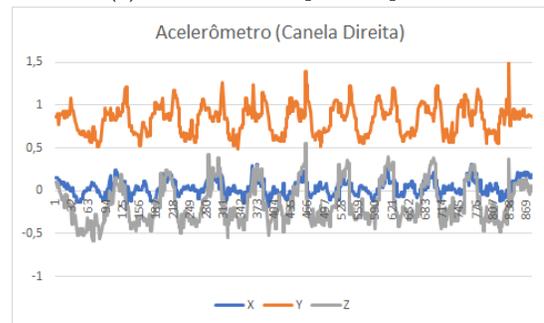
Os autores agradecem o financiamento em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -



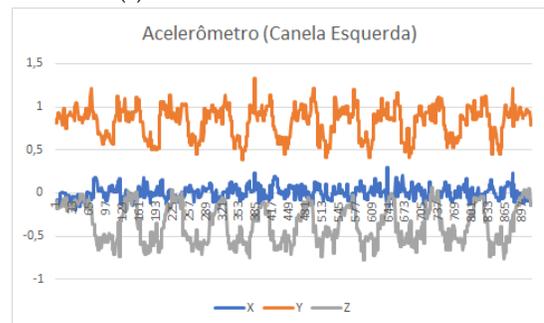
(a) Acelerômetro da perna direita



(b) Acelerômetro da perna esquerda



(c) Acelerômetro da canela direita



(d) Acelerômetro da canela esquerda

Figure 8: Gráficos de acelerômetro da marcha estacionária

Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas

Gerais (FAPEMIG). Também agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelos recursos disponibilizados através dos projetos PROAPEM (368/2022 - P: 2022-NGKM5) e PDPG (129/2021 - P: 2021-GL60J), fundamentais para a realização deste trabalho.

REFERENCES

- [1] Alberto Luiz Aramaki, Rosana Ferreira Sampaio, Ana Caroline Silva Reis, Alessandra Cavalcanti, et al. 2019. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review. *Arquivos de neuro-psiquiatria* 77 (2019), 268–278.
- [2] Alexandre Fonseca Brandão, Diego Roberto Colombo Dias, Sávyo Toledo Machado Reis, Clovis Magri Cabreira, Maria Cecilia Moraes Frade, Thomas Beltrame, Marcelo de Paiva Guimarães, and Gabriela Castellano. 2020. Biomechanics Sensor Node for Virtual Reality: A Wearable Device Applied to Gait Recovery for Neurofunctional Rehabilitation. In *International Conference on Computational Science and Its Applications*. Springer, 757–770.
- [3] Desiderio Cano Porras, Petra Siemonsma, Rivka Inzelberg, Gabriel Zeilig, and Meir Plotnik. 2018. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait. *Neurology* 90, 22 (2018), 1017–1025. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000005603> Publisher: Wolters Kluwer Health, Inc. on behalf of the American Academy of Neurology _eprint: <https://n.neurology.org/content/90/22/1017.full.pdf>.
- [4] Gisela Miranda Difini, Marcio Garcia Martins, and Jorge Luis Victória Barbosa. 2021. Human pose estimation for training assistance: a systematic literature review. In *Proceedings of the Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*. 189–196.
- [5] M P Guimaraes, V F Martins, G J C Brasil, and L C Trevelin. 2011. Um Modelo de Processo de Desenvolvimento de Interfaces de Gesto: Definição e um Estudo de Caso. In *XXXVII Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI)*, Vol. 1. 378–390.
- [6] P C Hallal, A E Bauman, G W Heath, H W Kohl, I-Min Lee, and M Pratt. 2012. Physical activity: more of the same is not enough. *Lancet* 380 (2012), 189–190.
- [7] J Kesselring. 2001. Neurorehabilitation: a bridge between basic science and clinical practice. *European journal of neurology* 8, 3 (2001), 221–225.
- [8] A E Maloney, K A Threlkeld, and W L Cook. 2012. Comparative effectiveness of a 12-week physical activity intervention for overweight and obese youth: Exergaming with “Dance Dance Revolution. *Games for health journal: Research, development and clinical applications* (2012), 1–8.
- [9] D C Malta and J B Silva. 2012. Policies to promote physical activity in Brazil. *Lancet* 380 (2012), 195–196.
- [10] Alfredo Manuli, Maria Grazia Maggio, Daniele Tripoli, Martina Gulli, Antonino Cannavò, Gianluca La Rosa, Francesca Sciarone, Giuseppe Avena, and Rocco Salvatore Calabrò. 2020. Patients’ perspective and usability of innovation technology in a new rehabilitation pathway: An exploratory study in patients with multiple sclerosis. *Multiple sclerosis and related disorders* 44 (2020), 102312.
- [11] Michsky. 2021. Modern UI Pack. <https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/modern-ui-pack-150824>
- [12] MidLevel. 2021. Ruffles. <https://github.com/MidLevel/Ruffles>
- [13] Gabriele Biscegli Otoboni. 2022. *Comparação entre sensores inerciais e sistema de análise de movimento VI na avaliação da tarefa de Sit-to-Stand em adultos jovens saudáveis*. Master’s thesis. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).
- [14] Alexandra Pfister, Alexandre M West, Shaw Bronner, and Jack Adam Noah. 2014. Comparative abilities of Microsoft Kinect and Vicon 3D motion capture for gait analysis. *Journal of medical engineering & technology* 38, 5 (2014), 274–280.
- [15] Luis GS Rodrigues, Diego RC Dias, Marcelo P Guimarães, Alexandre F Brandão, Leonardo CD Rocha, Rogério L Iope, and José RF Brega. 2021. Upper limb motion tracking and classification: A smartphone approach. In *Proceedings of the Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*. 61–64.
- [16] styanton. 2021. Maze Generator. <https://assetstore.unity.com/packages/tools/modeling/maze-generator-38689>
- [17] Tiago Trotta Lara Barbosa, Marcelo de Paiva Guimarães, Alexandre Fonseca Brandão, Leonardo Chaves Dutra da Rocha, Rogério Luiz Iope, José Remo Ferreira Brega, and Diego Roberto Colombo Dias. 2021. ReBase: Data Acquisition and Management System for Neuromotor Rehabilitation Supported by Virtual and Augmented Reality. In *Symposium on Virtual and Augmented Reality (Virtual Event, Brazil) (SVR’21)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 182–186. <https://doi.org/10.1145/3488162.3488225>