



**ESCOLA BAHIANA DE MEDICINA E SAÚDE PÚBLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS EM SAÚDE**

ISAMAR VILLAS BÔAS PERRELLI MAIA

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO SOFTWARE PARA O TESTE TIMED
UP AND GO AUTOMATIZADO UTILIZANDO CAPTURA TRIDIMENSIONAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SALVADOR
2021**

ISAMAR VILLAS BÔAS PERRELLI MAIA

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO SOFTWARE PARA O TESTE TIMED
UP AND GO AUTOMATIZADO UTILIZANDO CAPTURA TRIDIMENSIONAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Tecnologias em Saúde da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública para obtenção do título de Mestre em Tecnologias em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Almeida Matos

Co-orientadora: Prof.^a Dra. Cristiane Maria Carvalho Costa Dias

**SALVADOR
2021**

ISAMAR VILLAS BÔAS PERRELLI MAIA

“DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO SOFTWARE PARA O TESTE TIMED UP AND GO AUTOMATIZADO UTILIZANDO CAPTURA TRIDIMENSIONAL”

Dissertação apresentada à Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Tecnologias em Saúde.

Salvador, de de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luciano Sérgio Hocevar
Doutor em Engenharia Química
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB

Prof. Dr. Handerson Jorge Dourado Leite
Doutor em Saúde Coletiva
Instituto Federal da Bahia, IFBA

Prof.^a Dra Kátia Nunes Sá
Doutora em Medicina e Saúde Humana
Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, EBMSP

AGRADECIMENTOS

Acredito piamente que este trabalho é mais uma semente que brota e que deve continuar para que, de forma efetivamente pragmática, torne-se útil à nossa sociedade.

A lista é muito extensa das pessoas a quem devo gratidão por esse caminho de muitos aprendizados. Pessoas que torceram por mim, que me apoiaram, amigos, colegas do mestrado e de trabalho, orientadores e familiares. Pessoas que acreditaram. Seus nomes não caberiam na totalidade de páginas deste trabalho. Agradeço pela paciência, tolerância e compreensão da minha falta e ausência em muitos momentos de precisão. Ao professor Marcos que, de forma intencional ou não, me inseriu no contato humano com pessoas muito carentes de atenção e assistência, o que me obrigou a refletir muito sobre o papel e propósito das nossas profissões em nossas vidas e nas dessas pessoas, além de compreender melhor a realidade, condições sócio-econômicas e desafios de muitos deficientes. Agradeço a Professora Cristiane Dias que me fez entender, sob outra perspectiva, a relevância da assistência, do empenho, e do comprometimento e preocupação para quem muito precisa, e a relação deste contexto com a Academia. À Prof^a Carolina Aguiar, também a minha gratidão, por ter me orientado a continuar o trabalho, em meio a pandemia, em um momento particular de desânimo, e por ter me dissuadido a não desistir. A todos os professores que, com entusiasmo, me fizeram ter um olhar mais humano para o próximo e da importância e seriedade de nossas profissões no auxílio das pessoas que muito precisam. A todos eles, ofereço sinceramente a minha admiração.

Agradeço imensamente às mães e familiares dos participantes dessa pesquisa, pela paciência e apoio na coleta deste trabalho, e em especial ao LarVida e ao Projeto Crescer, duas instituições que prontamente ofereceram apoio incondicional, sempre que foi necessário.

Ofereço este trabalho à minha tia Rose Meyre Villas Bôas, que faleceu no ano passado de Covid-19, no Rio de Janeiro. Ela tinha paralisia cerebral e, apesar de 16 anos mais velha, seu retardamento mental, por conta da deficiência e conseqüente comportamento infantil, me permitiu ter ótimas recordações do convívio e brincadeiras com ela em minha infância. Sinto-me privilegiado por tê-la conhecido. Muito obrigado, tia Rose.

“O que fazemos em vida ecoa na eternidade.”
General Maximus Decimus Meridius

RESUMO

Atualmente, os equipamentos e softwares para avaliação da funcionalidade e eficiência das terapias reabilitadoras de pessoas com limitação funcional locomotora disponíveis no mercado são de alto custo, com análise em 2D e dependem da marcação de pontos no corpo do paciente. Urge, portanto, o desenvolvimento de um software que combine esses recursos tecnológicos com o baixo custo, proporcionando uma rápida e ampla adoção de um procedimento simples e automatizado para a medição e acompanhamento terapêutico das crianças com PC. **Objetivo Geral:** Desenvolver um software para avaliação da autonomia funcional em jovens com paralisia cerebral por meio da coleta de dados e análise automatizada do teste *Timed Up and Go*, através do Microsoft Kinect. **Metodologia Aplicada:** Utilizou-se a Metodologia de Desenvolvimento de Software através de um processo “Iterativo e Incremental”, que teve como base as melhores práticas do Scrum. Na construção do software, o algoritmo registra todas as fases do procedimento, os tempos e posições (análise espaço-temporal), calculando as velocidades e os tempos entre essas etapas analisando-se a posição do ponto de interesse do corpo humano do participante, apresentados em um relatório após finalização do teste TUG. Na validação clínica, utilizou-se o KINECT V2 da Microsoft Windows e o programa Life Metrics (versão 1), acoplados a um notebook e foram aplicados na realização do Teste TUG. Esta pesquisa foi executada por uma equipe multidisciplinar formada por médicos, fisioterapeutas e engenheiros. **Resultados:** Foi realizada comparação entre parâmetros do teste TUG convencional e do automatizado nos dois grupos de pacientes avaliados, com PC e não-PC, grupo comparação. Detectou-se diferenças significativas entre os grupos com PC e grupo comparação, do teste automatizado, nos parâmetros tempo de ascensão ($p < 0.001$), no tempo de descenso ($p < 0.001$), tempo de meia volta ($p < 0.001$), velocidade média ($p = 0,009$) e total do TUG ($p = 0,012$). Valores estaticamente significantes também foram observados no método não-automatizado para os mesmos parâmetros. Houve forte correlação significativa para o tempo total de TUG entre os métodos, TUG e 3D-TUG ($r = 0,886$, $p < 0,001$). Uma forte correlação também foi observada quanto a velocidade média entre os métodos ($r = 0,882$, $p < 0,001$). **Conclusão:** Os resultados deste estudo apresentam um nível de validade e confiabilidade, sendo eficiente em discriminar pacientes com PC e do grupo controle e correlacionando de forma equivalente ao TUG convencional apresentando como vantagem alguns parâmetros que não são medidos pelo método manual. Esses resultados indicam de forma abrangente que o Kinect V2 pode ser utilizado como uma ferramenta portátil de avaliação e de baixo custo para rastrear e observar a progressão da marcha em crianças com PC.

Palavras- chaves: Reabilitação; Biomecânica; Kinect; Paralisia Cerebral.

ABSTRACT

Currently, equipment and software for evaluating the functionality and efficiency of rehabilitation therapies for people with motor functional limitations available on the market are expensive, with 2D analysis and depend on marking points on the patient's body. Therefore, there is an urgent need to develop software that combines these technological resources with low cost, providing a quick and wide adoption of a simple and automated procedure for the measurement and therapeutic follow-up of children with CP. **General Objective:** Develop a software to assess functional autonomy in young people with cerebral palsy through data collection and automated analysis of the Timed Up and Go test, using Microsoft Kinect. **Applied Methodology:** The Software Development Methodology was used through an “Iterative and Incremental” process, which was based on Scrum's best practices. In building the software, the algorithm records all phases of the procedure, times and positions (spatial-temporal analysis), calculating the speeds and times between these steps, analyzing the position of the point of interest of the participant's human body. in a report after completion of the TUG test. In clinical validation, the KINECT V2 from Microsoft Windows and the Life Metrics program (version 1) were used, coupled to a notebook and applied in the performance of the TUG Test. This research was carried out by a multidisciplinary team formed by physicians, physiotherapists and engineers. **Results:** A comparison was made between conventional and automated TUG test parameters in the two groups of patients evaluated, with CP and non-CP, comparison group. Significant differences were detected between the groups with CP and the comparison group, in the automated test, in the parameters ascent time ($p<0.001$), in descent time ($p<0.001$), half-turn time ($p<0.001$), average speed($p=0.009$) and total TUG time($p=0.012$). Statistically significant values were also observed in the non-automated method for the same parameters. There was a strong significant correlation for the total time of TUG between the methods, TUG and 3D-TUG ($r=0.886$, $p<0.001$). A strong correlation was also observed for the mean speed between the methods ($r=0.882$, $p<0.001$). **Conclusion:** The results of this study have a level of validity and reliability, being efficient in discriminating patients with CP and the control group and correlating in an equivalent way to conventional TUG, with the advantage of some parameters that are not measured by the manual method. These results comprehensively indicate that Kinect V2 can be used as a low-cost, portable assessment tool to track and observe gait progression in children with CP.

Keywords: Rehabilitation; Biomechanics; Kinect; Cerebral Palsy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - sistema operacional Microsoft Windows.....	21
Figura 2 - Posição da câmera 3D-TUG em relação ao participante	22
Figura 3 - Captura de imagens dos pontos do participante pelo dispositivo Kinect V2	26
Figura 4 - Total percorrido pelo participante no teste TUG com sinalizações para contorno, retorno e cadeira	27
Figura 5 - Imagem da câmera Kinect V2	28
Figura 6 - Dados extraídos pelas câmeras referentes aos sensores enumerados nos 24 pontos do corpo humano identificados pelo Kinect V2	29
Figura 7 - Diagrama de coordenadas da câmera colorida evidenciando os vértices superior esquerdo e inferior direito.....	30
Figura 8 - Gráficos de dispersão correlacionando método automatizado e não automatizado quanto a tempo de conclusão do TUG1 e velocidade média.....	35
Figura 9 - Gráficos de dispersão correlacionando método automatizado e não automatizado quanto cadência e tempo de ascensão.....	36
Figura 10 - Gráficos de dispersão correlacionando método automatizado e não automatizado quanto ao tempo de meia-volta e descensão.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de Especificações Técnicas entre as versões do Kinect	15
Tabela 2 - Características socioeconômicas e da função motora grossa dos sujeitos recrutados nos dois grupos em análise. PC = Paralisia Cerebral; GMFCS=Gross <i>Motor Function</i>	33
Tabela 3 - Análise da diferença das médias entre os testes TUG convencional e 3D-TUG entre as populações com Paralisia Cerebral (PC) e população controle.....	34
Tabela 4 - Comparação entre os métodos automatizado e não automatizado entre os parâmetros colhidos durante o Teste <i>Up-and-Go</i>	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCC	Coeficiente de Correlação e Concordância
CSV	Comma Separated Values
CV	Coeficiente de Variação
GMFCS	Sistema de Classificação da Função Motora Grossa
GMFCS	Gross Motor Function Classification System
ICC	Coeficiente de Correlação Interclasse
IIQ	Intervalo InterQuartil
LoA	Limits of Agreement
MK	Microsoft Kinect estatísticas
OMS	Organização Mundial de Saúde
PC	Paralisia Cerebral
RGB	Red, Green and Blue
SPSS	Statistical Package for the Social Science, software da IBM
TUG	<i>Timed Up and Go</i>
VM	Velocidade Média

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.1	Objetivos Específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Tecnologias aplicadas à saúde: do entretenimento a ferramenta diagnóstica	14
3.2	Aplicação da câmera Kinect na área da saúde	16
3.3	Avaliação ortopédica e fisioterápica em pacientes com Paralisia Cerebral	17
3.4	Validação do Kinect V2 aplicadas ao teste TUG em crianças portadoras de PC	17
3.5	Precisão do teste TUG automatizado	18
3.6	Validação de TUG (não-automatizado) com PC	18
3.7	Automatização do teste TUG através do Microsoft Kinect	19
4	METODOLOGIA	20
4.1	Desenvolvimento do Produto	20
4.1.1	Cálculo do Campo de Visão para Cobertura do trajeto do TUG	21
4.2	Validação do Produto	23
4.3	Critérios de inclusão e exclusão	23
4.4	Aspectos Éticos	24
4.5	Procedimento de coleta de dados	24
4.6	Observação dos participantes	25
4.7	Funcionamento de captura dos dados	27
4.8	Plano de análise estatística	32
5	RESULTADOS	33
5.1	Correlação entre o tempo médio do TUG Convencional e os parâmetros do TUG Kinect entre as populações	34
6	DISCUSSÃO	38
7	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES	41
8	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43
	ANEXOS	47

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico das duas últimas décadas influenciou diretamente no desenvolvimento de novos dispositivos de câmeras e sensores, originalmente usados para entretenimento doméstico, como os videogames. Em função das características destes dispositivos atrelados ao baixo custo, viu-se a potencialidade de utilizá-los também na área de saúde, dada a sua alta precisão(1,2).

Uma aplicação já muito difundida das câmeras e sensores de vídeo-game, como é o caso do Kinect, do fabricante Microsoft, é no apoio à avaliação e acompanhamento das terapias de ortopedia e fisioterapia em indivíduos com dificuldades motoras (3-6). Para o uso deste recurso, são desenvolvidos muitos algoritmos de captura de informação utilizados em conjunto com este equipamento. No mercado e na academia, existem muitos softwares para análise de cinemática do corpo humano, dentre eles, há o VICON(7), que é o Padrão Ouro, Qualisys, Polhemus, MationStar, MVN e o CVMob(8), dentre outros.

Até o momento, todos estes softwares dependem de marcadores físicos ou sensores fixados ao corpo do indivíduo ou, ainda, métodos manuais de definição de pontos na imagem do paciente para medição e análise. Estes softwares, utilizados em diversas ferramentas de avaliação motora, como o teste *Timed Up and Go*” (TUG) (9), podem ser automatizadas (10), o que incrementa a qualidade do acompanhamento e diminuem o desconforto do paciente.

O TUG, proposto por Podsiadlo e Richardson (1991), é um dos instrumentos clínicos mais utilizados para avaliação do equilíbrio e mobilidade funcional, podendo ser utilizados em populações acometidas por diferentes patologias que interfiram diretamente nas tarefas motoras essenciais. Trata-se de um teste simples e de fácil aplicabilidade, capaz de quantificar em segundos o equilíbrio de mobilidade funcional do paciente por meio a velocidade de realização do teste, que consiste no tempo gasto para se levantar de uma cadeira (transferência para posição em pé), andar (estabilidade na deambulação) e voltar (mudanças na direção de marcha). Por trata-se de um teste utilizado para avaliação ou medição estritamente espaço-temporal, este não fornece elementos necessários para uma análise mais abrangente (11). Outros parâmetros ou indicadores de avaliação permitem mensurar e comparar com maior precisão e qualidade o resultado ou impacto da evolução das terapias ou de intervenções cirúrgicas ortopédicas.

Com a utilização de softwares associado a câmera Kinect, é possível obter alguns destes parâmetros, além de não precisar de marcadores físicos para captura dos indicadores. Através de um software de captura tridimensional e medição para automação deste procedimento de avaliação, é possível medir, presencialmente ou à distância, com precisão suficiente e com baixo custo, vários indicadores além do tempo, tais como a velocidade média de marcha, o tempo de levantamento(ascensão), a cadência da marcha, o tempo de sentar, o tempo de meia-volta em uma trajetória de marcha e o tempo de descensão ao sentar numa cadeira.

A obtenção de múltiplos parâmetros independentes do movimento no teste *Timed up and Go*, possibilitada pelo uso de um sistema capaz de fornecer informações clínicas úteis sobre o desempenho do paciente, é fundamental para detectar problemas de equilíbrio, coordenação e mobilidade, além de nortear as estratégias aplicadas à avaliação, diagnóstico e reabilitação funcional na detecção de problemas de equilíbrio, coordenação e mobilidade(11). Com os parâmetros cinemáticos da mudança da posição sentada para a ortostática e depois caminhando, por meio do software, é possível detectar se há adequação nos parâmetros de marcha espaço-temporais, uma vez que esses parâmetros apresentaram correlações significativas com mobilidade funcional prejudicada (12).

É relevante a detecção precoce de problemas de equilíbrio, coordenação e mobilidade, para nortear as estratégias aplicadas à reabilitação funcional. Portanto, este recurso pode permitir uma inserção social com uma possível de promoção de autonomia funcional, além de se obter um indicador de eficiência das terapias existentes. Esta pesquisa propôs o desenvolvimento de um software de baixo custo, com robustez e estabilidade necessária e suficiente, para captura de imagens tridimensionais e avaliação automatizada do teste "*Timed up and GO*", em tempo real, em crianças com PC na capital e Região do Recôncavo do Estado da Bahia. Além disto, foi realizada validação clínica inicial com um grupo de crianças com PC tendo em vista ser esta condição um alvo da utilização rotineira do TUG. Este software fornece múltiplos parâmetros do teste que não podem ser medidos na realização convencional, além de ser de baixo custo, passível de utilização mobile e acessível em qualquer ambiente clínico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Desenvolver um software de captura tridimensional de imagem baseado no Microsoft Kinect para avaliação automática do teste *Timed Up and Go*.

2.1 Objetivos Específicos

- a) Validar o software desenvolvido, *3D-TUG*, em comparação com o método convencional utilizando um grupo de crianças e adolescentes acometidos por paralisia cerebral;
- b) Comparar os dados de pacientes com PC com um grupo considerado sem anormalidades clínicas utilizando o software *3D-TUG*;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Tecnologias aplicadas à saúde: do entretenimento a ferramenta diagnóstica

Jogos ativos baseados em realidade virtual, que converte os movimentos dos usuários em comandos de jogos, começaram a ganhar popularidade a partir de 2006(13). Como as atividades capturadas pelas câmeras dos games exigem ampla movimentação, estimulam o equilíbrio 4 e a coordenação motora 5, com efeitos diretos nas habilidades físicas e cognitivas, várias investigações começaram a abordar a aplicação terapêutica de *exergames*.

A câmera Kinect V2 apresenta vários resultados positivos na validação de diferentes parâmetros de movimento, tais como: equilíbrio postural; função motora do membro superior e do membro inferior; habilidade motora grossa; marcha; tônus muscular; mobilidade; força e amplitude de movimento. Por estas características, a Kinect V2 vem sendo utilizada em diversas intervenções na avaliação e tratamento de pacientes com alguma deficiência física, tais como acidente vascular cerebral, distúrbios vestibulares, outras alterações de equilíbrio, problemas ortopédicos, entre outros(14).

Outra condição que reforça a utilização da câmera Kinect V2 é o fato de possuírem sistemas ópticos sem marcadores. Isso diminui muito o tempo no processo de fixar os marcadores nas posições requeridas, além de diminuir o desconforto para o paciente. O método de determinação da posição 3D para um certo objeto na cena é descrito pelos inventores do Kinect como processo de triangulação(15). Basicamente, um único feixe de infravermelho é dividido por refração depois de sair de uma lente desenvolvida para essa finalidade. Esta refração cria uma nuvem de pontos em um objeto que é então transmitido de volta para um receptor. Através de um *firmware* incorporado no equipamento, o Kinect determina a posição tridimensional de um objeto na sua linha de visão por este processo.

As vantagens deste método é que ele permite o registro 3D sem um complexo conjunto de múltiplas câmeras; acelera o processo de diagnóstico por não ter que fixar marcadores, proporciona um conforto aos participantes em função da rapidez e da eficiência, sem necessidade de contato corporal, além de um custo muito menor do que os laboratórios de movimento tradicionais e aparelhos de visão robótica.

O Kinect produz informações analíticas dos pacientes presentes na imagem, chamado de mapa de usuário, os quais incluem as pessoas detectadas na imagem e detectam os membros e ligamentos do usuário e fazem sua representação. Para esta detecção, o Kinect utiliza a técnica de reconhecimento em tempo real do movimento humano através de imagens de profundidade(16) construídas através da análise da configuração de pontos da luz infravermelha do sensor.

Atualmente, a versão do Kinect V1 foi descontinuada em todo o mundo. A sua sucessora (Kinect V2), é encontrada apenas no Brasil, utilizada para recreação (games) como para fins de intervenção e diagnóstico na área de saúde (17). A terceira geração destas câmeras - Azure - foi criada em 2019, com venda restrita aos Estados Unidos e sem destinação ao mercado de jogos. Esta câmera foi promovida como um kit sensores de inteligência artificial avançados para construção de computadores modelos de visão e fala. A Tabela 1(18) mostra a comparação das três versões do Kinect até o momento.

Tabela 1 - Comparativo de Especificações Técnicas entre as versões do Kinect

Sensor Kinect	v1 (XBox 360)	v2 (Xbox One)	Azure Kinect (ainda não disponível no Brasil, em Junho 2021)
Resolução Câmera Colorida	1280 x 720 pontos (12 qps)	1920 x 1080 pontos (30 qps)	3840 x 2160 pontos (30 qps)
	640 x 480 pontos (30 qps)		
Resolução Câmera Profundidade	320 x 240 pontos (30 qps)	512 x 424 pontos (30 qps)	NFOV unbinned 640 x 576 @ 30fps NFOV binned 320 x 288 @ 30qps WFOV unbinned 1024x1024 @ 15qps WFOV binned 512 x 512 @ 30qps
Tecnologia de detecção de profundidade	Projeção de padrão de luz estruturada	ToF(<i>Time of Flight</i>) ou Tempo de Vôo	ToF(<i>Time of Flight</i>) ou Tempo de Vôo

Tabela 1 - Comparativo de Especificações Técnicas entre as versões do Kinect (Continuação)

Sensor Kinect	v1 (XBox 360)	v2 (Xbox One)	Azure Kinect (ainda não disponível no Brasil, em Junho 2021)
Campo de Visão (imagem de profundidade)	57°H 43°V	70°H 60°V	NFOV unbinned 75° x 65° NFOV binned 75° x 65° WFOV unbinned 120° x 120°WFOV binned 120° x 120°
Distância de medição especificada	0,4 a 4m	0,5 a 4,5m	NFOV unbinned 0,5 ~ 3,6m NFOV binned 0,5 ~ 5,46m WFOV unbinned 0,25~2,21m WFOV binned 0,25 ~ 2,88m
	430g (sem cabos e fonte de alimentação)	610g (sem cabos e fonte de alimentação)	440g (sem cabos e fonte de alimentação)
Peso	750g (com cabos e fonte de alimentação)	1390g (com cabos e fonte de alimentação)	520g (com cabos e fonte de alimentação não é necessária)

Fonte: Tölgyessy et al. (21)

3.2 Aplicação da câmera Kinect na área da saúde

Com as restrições que os sistemas de câmeras ainda enfrentavam tais como imprecisão e análise de imagem, a Microsoft lançou em 2010 o sensor Kinect. Nos anos subsequentes, foi possível demonstrar com os trabalhos desenvolvidos, que o dispositivo Kinect apresentava um desempenho competitivo elevado quanto ao rastreamento dos movimentos do corpo humano, bem como outros sistemas ópticos já validados como Optitrack e Vicon.

Em função das características do sensor Kinect V2 anteriormente mencionadas, um grande volume de pesquisas utilizando este equipamento na área da saúde também iniciaram. Devido a sua acurácia, suficiente para detecção de movimentos grossos, o Kinect V2 tornou-se adequado para reabilitação de pacientes com diagnóstico de AVC, para medir os movimentos sintomáticos de indivíduos com a doença de Parkinson e em exames e avaliações em indivíduos com paralisia cerebral.

3.3 Avaliação ortopédica e fisioterápica em pacientes com Paralisia Cerebral

O termo paralisia cerebral (PC) descreve um grupo não progressivo de distúrbios do desenvolvimento, movimento e da postura, secundário a lesões ou anomalias decorrentes do cérebro em fase inicial do seu desenvolvimento, com vários tipos e graus de comprometimento motor (Assumpção). Dentre essas alterações observáveis, as principais encontradas em pacientes pediátricos com PC são: deformidades de pé, tornozelo, coluna, sendo a escoliose a mais comum; displasia de quadril e comprometimento de membros inferiores (6-7). Além do comprometimento das funções motoras, os indivíduos com PC podem apresentar outros problemas associados, tais como deficiência visual, auditiva, mental, dificuldades de aprendizagem, alterações na função sensorial, distúrbios da percepção, problemas comportamentais, déficit de comunicação e a presença de crises convulsivas. Relatos epidemiológicos mostram que em países desenvolvidos a incidência de PC é cerca de 1,5 a 5,9 por 1000 nascidos vivos. Segundo Rebel et al. há estimativa de 20.000 novos casos de PC por ano no Brasil(19). Estima-se que a incidência de PC nos países em desenvolvimento seja de 7:1000 nascidos vivos.

O prognóstico da criança com PC pode ser influenciado pelo grau do comprometimento motor e pode ser classificado e avaliado e por instrumentos específicos como o GMFCS - Sistema de Classificação da Função Motora Grossa (do inglês, Gross Motor Function Classification System) e o - Medição da Função Motora Grossa (do inglês, Gross Motor Function Measure) respectivamente (10).

3.4 Validação do Kinect V2 aplicadas ao teste TUG em crianças portadoras de PC

Há trabalhos que analisaram com o apoio do Kinect a marcha de pacientes jovens com PC, e seus resultados foram comparados com registros de imagens em vídeo, que produziram os mesmos resultados. Esses resultados mostram o potencial do Kinect para analisar a marcha em populações de pacientes frágeis, de forma não-intrusiva e com custo muito baixo. Mais importante, em relação aos parâmetros espaciais, o Kinect foi útil mesmo para o pior caso os participantes classificados no nível III da escala GMFCS, os quais apresentam como característica uma grande variabilidade de marcha, com padrões anormais (9).

3.5 Precisão do teste TUG automatizado

Este método não-intrusivo de avaliação de marcha apresenta alto grau de precisão. Em estudos como o de Vernon et al. (20), analisando diferentes componentes funcionais, foi possível obter variáveis com alto nível de confiabilidade ($ICC_{(2,k)} > 0.90$). É notório que utilizar o Kinect para procedimentos de avaliação, de forma isolada, de vários componentes do TUG, pode fornecer informações de credibilidade e aplicabilidade clínica. Clark et al (21) também pode verificar, em seus estudos sobre o equilíbrio, com indivíduos com histórico de AVC, valores satisfatórios de confiabilidade dos resultados ($ICC_{(2,k)} > 0.80$), nas variáveis espaço-temporais derivadas do Kinect, como por exemplo, o tamanho do passo, assimetria da largura do passo, velocidade step length, velocidade de balanço do pé, e assimetria da velocidade de balanço do pé.

O Kinect V2 é um recurso tecnológico de baixo custo, facilmente transportável e que não necessita sensores ou marcadores presos ao corpo do paciente. Por não ser intrusivo e não gerar desconforto, é adequado para jovens com PC, síndrome de Down, Parkinson e outras deficiências de ordem neurológica que estabelecem um transtorno na marcha(22). Vários estudos recentes vem comprovando a viabilidade do Kinect V2. Clark et al (21) analisou e comparou os resultados do sensor Kinect com dados obtidos com outro sistema, mas baseado em marcadores com análise de movimentos em 3D e concluiu que o ângulo do tronco lateral obtido pelo Kinect, com calibração individualizada ($p < 0.001$), apresentou um erro de apenas $0.8 \pm 0.8^\circ$. Gabel et al(16) propôs um sistema de análise de marcha sem marcadores com o mesmo dispositivo Kinect, resultando numa maior precisão para todo corpo humano, propondo assim um sistema sem marcadores para análise contínua da marcha em ambiente doméstico.

3.6 Validação de TUG (não-automatizado) com PC

A mobilidade funcional é definida como a habilidade do indivíduo de controlar o seu corpo de forma eficiente e independente para execução de tarefas cotidianas. O teste de "*Timed UP and GO*" ou comumente chamado pelo seu acrônimo "TUG", é um teste simples de mobilidade funcional para adultos e não é comum a sua aplicação em crianças(23). Muitos estudos apontam um alto grau de reprodutibilidade do teste TUG em crianças e adolescentes,

apresentando coeficiente de confiabilidade intra-sessão alto, bem como a confiabilidade intra e inter-examinador (13).

O teste de "*Timed Up and Go*" foi aplicado com sucesso em crianças com PC, deambulantes, para avaliação do equilíbrio, controle postural antecipatório e mobilidade funcional. Foi possível diferenciar o desempenho entre crianças nos níveis de 1 a 3, de GMFCS(*Gross Motor Function Classification System*), com os diferentes subtipos de PC, apresentando-se como um teste responsivo e confiável(24).

3.7 Automatização do teste TUG através do Microsoft Kinect

O teste de TUG com o Kinect foi validado como marcador clínico em pacientes com deficiência que afetam diretamente os movimentos de marcha, como a doença de Parkinson. Em todos os casos foi possível definir correlações do tempo com o nível de gravidade, moderado a severo. Em adultos e idosos, foi possível identificar grupos de caidores e não-caidores, em estudo para avaliação de risco de queda(25).

Desta forma, esta pesquisa pretendeu mostrar os benefícios do uso do Kinect V2 por meio de testes com crianças com Paralisia Cerebral com a validação do software para fornecer indicadores ou parâmetros que apoiam clinicamente o acompanhamento da evolução terapêutica para melhoria da qualidade da marcha.

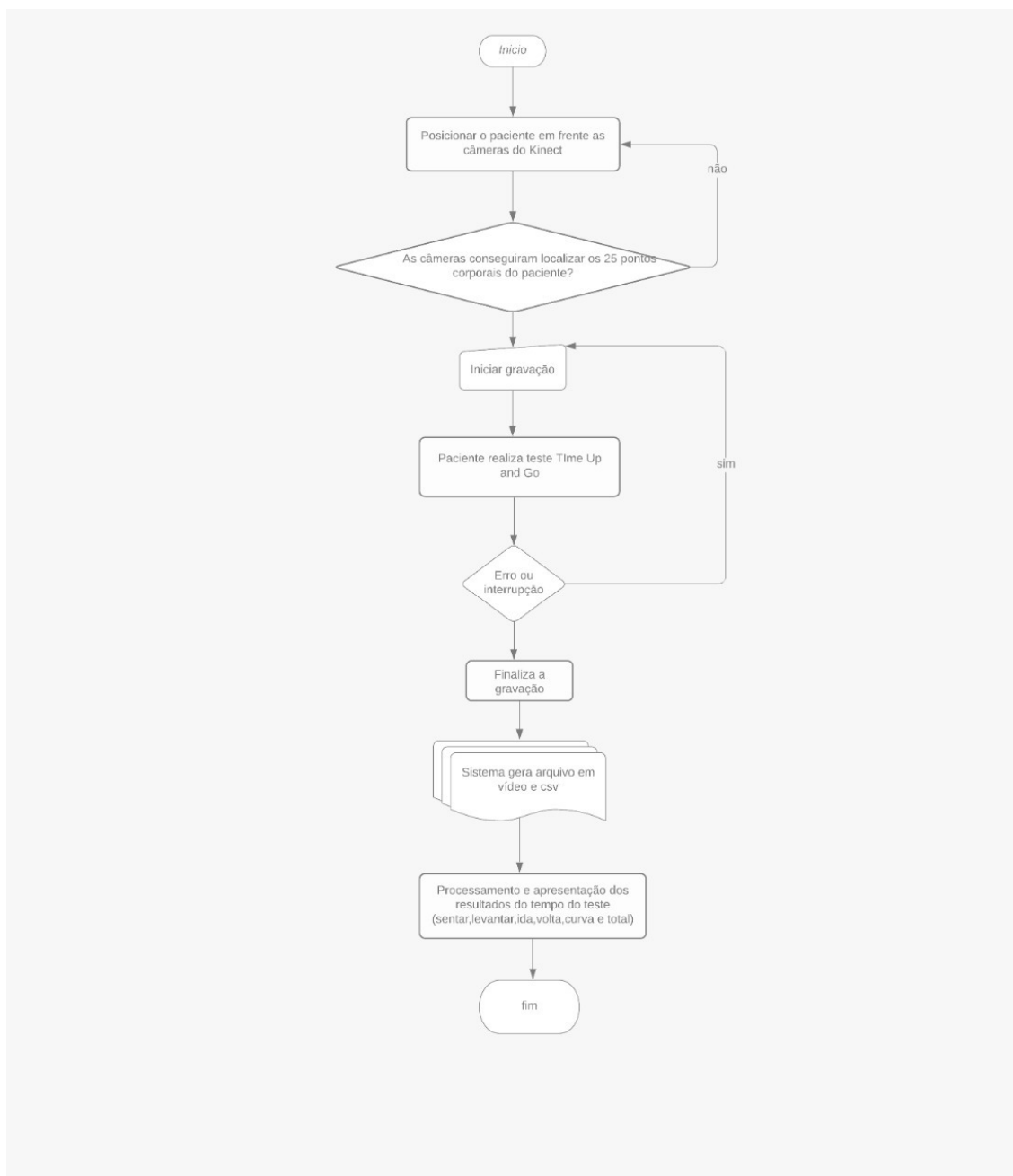
Até o momento, só existe apenas poucos trabalhos que apresentam TUG sendo realizado pelo Kinect em crianças e jovens com PC. Espera-se que com esta dissertação, o Kinect seja validado como ferramenta auxiliar para diagnose e tratamento em crianças com PC por meio da avaliação de diversos parâmetros. Desta forma, o objetivo deste trabalho desenvolver um software para avaliação da autonomia funcional em jovens com paralisia cerebral por meio da coleta de dados e análise automatizada do teste *Timed Up and Go*, através do Microsoft Kinect.

4 METODOLOGIA

O presente estudo foi modelado para o desenvolvimento e validação de um software para avaliação automatizada do teste clínico conhecido como “*Time Up and Go* (TUG)”, utilizando como amostra de validação jovens com quadro leve de Paralisia Cerebral (PC), entre Junho de 2019 e Junho de 2021, nas instalações físicas da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública e no Hospital Santa Izabel, em Salvador, Bahia, Brasil. A esse software foi dado o nome de 3D-TUG.

4.1 Desenvolvimento do Produto

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta tecnológica para avaliação automatizada do teste clínico “*Time Up and Go*” (TUG) e validar esta ferramenta em jovens com paralisia cerebral, demonstrando assim sua utilidade para uso em ortopedia, fisioterapia e neurociências. A primeira etapa do processo foi pesquisar trabalhos utilizando a câmera do dispositivo "Microsoft Kinect v2" em procedimentos de análise de marcha e posteriormente, foi testada a câmera acoplada a um notebook de tecnologia Intel, com software da Microsoft. O projeto foi desenvolvido baseando-se na metodologia *Scrum*, utilizando uma visão computacional com imagens em 3D e ocorreu em 3 etapas: 1) escrita do projeto e planejamento 2) projeto de concepção, em que foram ajustados os recursos disponíveis e necessários; e 3) modelagem, nessa fase foi construído um protótipo do software, o 3D-TUG, compatível ao sistema operacional Microsoft Windows, na versão em português e inglês (**Figura 1**). A plataforma de desenvolvimento foi a "*Microsoft Visual Studio Community*", com a linguagem de programação DotNet e C-Sharp. As bibliotecas de desenvolvimento de software do fabricante Microsoft, "Kinect V2 SDK" e "KinectEX" foram utilizadas para acesso aos recursos e funcionalidades dos sensores e câmera do dispositivo Microsoft Kinect v2.

Figura 1 - sistema operacional Microsoft Windows

4.1.1 Cálculo do Campo de Visão para Cobertura do trajeto do TUG

O sensor tem capacidade para captura dos pontos de posição "X,Y,Z" de cada junção do corpo humano, em uma faixa de distância compreendida entre 0,5m e 4,5m. O campo de visão está estabelecido em uma abertura angular horizontal de 70° e vertical de 60°. Como é necessário

capturar pontos do corpo humano do paciente durante a sua trajetória de 3 metros conforme o procedimento do TUG, sem perda de dados, a calibração do ambiente com o posicionamento da câmera em relação a essa trajetória é muito relevante. Para tanto, utilizamos a fórmula a seguir (Figura 2):

$$DTT = 2 * DCT * \text{TAN}(CVH/2)$$

DCT = Distância linear entre a câmera e a trajetória

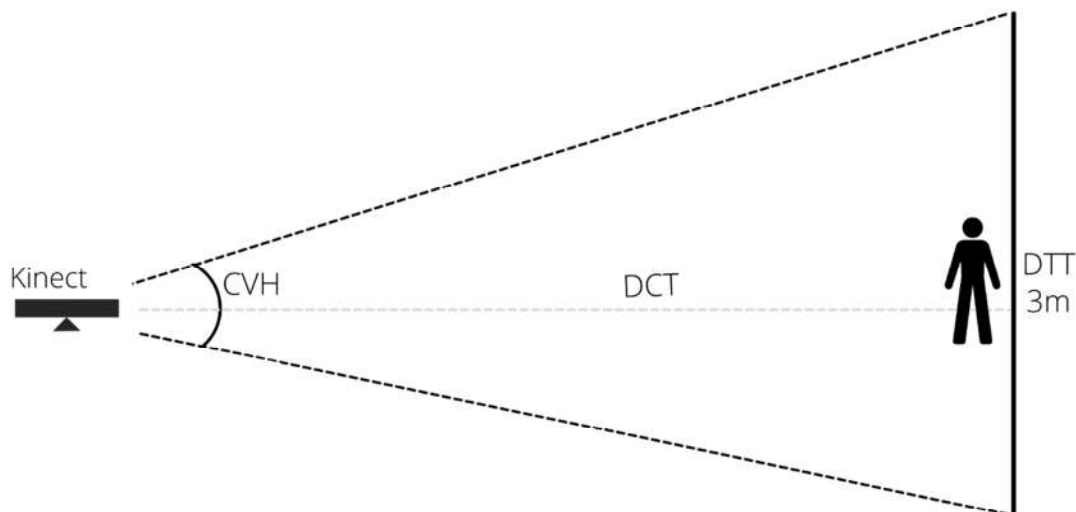
DTT = Distância linear Total da Trajetória (3 m)

CV = Campo de visão ou ângulo de abertura entre o ponto da câmera e os dois pontos, inicial e final, da trajetória.

Distância mínima necessária da trajetória = 3 m

CVH = Ângulo do Campo de Visão horizontal

Figura 2 - Posição da câmera 3D-TUG em relação ao participante



$$DTT = 2 * DCT * \tan (CVH/2)$$

Em suma, aplicando a fórmula, para uma distância perpendicular de 2,5m entre a câmera e a trajetória, teremos um alcance de cobertura de captura da imagem para uma trajetória de 3,5m. Fora deixado uma margem adicional de 0,5m, para compensar qualquer dificuldade de alinhamento da posição do tripé da câmera durante a utilização do software.

4.2 Validação do Produto

Para validar o sistema (3D-TUG) foi optado pela realização de um teste comparando o novo procedimento com o procedimento convencional. Além disto, para estabelecer uma referência realista, optou-se também por utilizar duas populações diferentes para o teste: um grupo com alguma deficiência motora e outro grupo considerado assintomático. Assim, dessa forma, haveria validação em relação ao padrão outro (teste convencional) e, também, em relação à capacidade de discriminar grupos diferentes. Estes dois tipos foram considerados como validações concorrente e preditiva em relação ao 3D-TUG.

Para realização deste estudo, as populações escolhidas foram crianças e jovens, entre 5 a 18 anos, divididos em dois grupos: com PC (n=11) e sem nenhuma comorbidade neurológica, motora ou biomecânica (n=19). Foram selecionados participantes com PC que têm acompanhamento médico no Centro Médico da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública (CMB) e no Hospital Santa Isabel. Os componentes do grupo sem paralisia cerebral foram voluntários e participantes do Projeto Crescer, localizado em Salvador, Bahia, que preencheram os critérios de inclusão.

4.3 Critérios de inclusão e exclusão

Para este trabalho, foi definido como critério de inclusão, ser criança ou jovem diagnosticados com PC, com idade de 5 a 18 anos, de ambos os sexos, avaliados com o índice de I a III, conforme "Sistema de Classificação Motora Grosseira" ou "*Gross Motor Function Classification System*"(GMFCS). Além disso, os participantes deviam ter capacidade motora suficiente para caminhar por 10 metros, sem nenhum dispositivo assistivo. Foram excluídas, crianças e jovens com o diagnóstico de PC, com doenças associadas(neurológicas e ortopédicas), com cirurgia ortopédica de extremidades inferiores ou rizotomia dorsal seletiva no último ano, com queixas de dores nas extremidades inferiores que impossibilitaram a função motora de levantar e sentar.

O procedimento do 3D-TUG e do TUG convencional foi realizado em ambos os grupos separadamente, porém utilizando o mesmo ambiente, equipamentos e examinadores. Após os testes, os dados foram utilizados para comparação estatística de validação do 3D-TUG. Os procedimentos e equipamentos utilizados são descritos a seguir.

4.4 Aspectos Éticos

Para realização deste estudo, o projeto foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Institucional sob o número de registro (96891118.1.0000.5544) e sob parecer número 3.126.428. O projeto foi iniciado, condicionado à aprovação do CEP - Comitê de Ética de Pesquisa, da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública e do Hospital Santa Izabel. É premissa deste projeto, o sigilo pessoal dos jovens recrutados. Além disso, os participantes foram informados, em detalhes, sobre os objetivos, procedimentos, riscos e benefícios da pesquisa e que terão a garantia da preservação de suas identidades e da possibilidade de desistirem da participação na pesquisa a qualquer momento, sem nenhum prejuízo do seu tratamento. Todos que aceitaram participar do estudo assinaram, diretamente ou pelo seu responsável, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

4.5 Procedimento de coleta de dados

As medidas extraídas dos participantes deste estudo foram de todo o corpo, resultando em 25 pontos coletados. Os pontos compreendem três eixos (X, Y e Z), que levaram a sete parâmetros: ascensão, descensão, cadência, velocidade média, tempo total e tempo de meia-volta, descritos respectivamente abaixo:

- **Ascensão:** Tempo compreendido entre o disparo do sinal sonoro de início do teste e o instante quando a componente vertical da altura do ponto da cabeça do participante atinge seu valor máximo. Dessa forma, considera-se que o participante está completamente de pé;
- **Descensão:** Tempo compreendido entre o instante que o deslocamento do participante atinge a posição de menor valor da variável horizontal, X, e o tempo em que o avaliador encerra o procedimento com o pressionar da tecla da barra de espaço;
- **Cadência:** Quantidade de passos divididos pelo tempo total;

- **Velocidade Média:** Medida constante de espaço do deslocamento total de execução do teste, 6 metros, dividido pelo Tempo total entre o disparo do sinal sonoro e a finalização do procedimento;
- **Tempo total:** Medida de tempo em segundos, compreendida entre o instante do disparo do sinal sonoro, indicando o início do teste, e o instante final da descensão, quando o avaliador pressiona a barra de espaço concluindo o procedimento;
- **Tempo de meia-volta:** Medida de tempo em segundos, compreendida entre o instante em que o participante atinge o valor máximo da componente horizontal de posição(X) e o instante em que essa componente inicia a redução do seu valor em direção à posição inicial.

Para a avaliação, o sistema foi testado em participantes com PC e em um grupo sem comorbidades biomecânicas, para estabelecer uma referência realista para comparação entre as populações e entre os métodos convencionais e o automatizado para avaliação do TUG.

A medicação automática aconteceu através do software acoplado a câmera conforme cálculo de visão acima descrito. Inicialmente, a sala foi preparada com medições de fita métrica para o posicionamento correto da câmera em relação a trajetória do paciente. Quanto a medicação do TUG convencional, esta foi realizada por meio da utilização de cronômetro manual através dos vídeos gerados pelo programa 3D-TUG por um único participante para diminuir o viés temporal das análises.

4.6 Observação dos participantes

Uma câmera do dispositivo Kinect V2 (Microsoft) foi instalada em um tripé com a altura de 1 metro e distância de 2,5m de distância vertical do trajeto do participante. A essa distância, é possível a captura dos 25 pontos dos corpos do participante, estando dentro do alcance horizontal e vertical do equipamento (**Figura 3**), de acordo com a especificação do campo de visão da câmera, dos sensores e do procedimento de avaliação que foi aplicada neste estudo (TUG). A câmera foi calibrada manualmente, rotacionada em direção ao início do trajeto, de forma que todo ele fosse capturado.

Figura 3 - Captura de imagens dos pontos do participante pelo dispositivo Kinect V2



Fonte: Google Imagens

Calibração: Na preparação do procedimento, o participante recebe todas as instruções necessárias para a realização do teste T.U.G. (*Timed Up an GO*). Após isso, ele é orientado a sentar-se na cadeira e em seguida, a levantar-se com os braços abertos, para a calibração do equipamento, que identifica através do seu sensor os pontos do corpo que serão registrados. Com os pontos já detectados, visíveis na imagem do software, o paciente volta a sentar-se na cadeira.

Realização do TUG: O avaliador inicia a gravação digital e de imagem do trajeto ao pressionar a tecla de barra de espaço do computador, ativando um sinal sonoro, marco para o indivíduo iniciar a caminhada (TUG). Dado o comando, o sujeito levanta-se da cadeira e caminha por 3 metros (Figura 4), cujo limite está marcado por uma fita adesiva, fixada ao solo. Ao atingir essa marca, o participante contorna a fita e retorna em direção a cadeira, percorrendo outros três metros na volta. Ao chegar na altura da cadeira, senta-se novamente e apoia as costas no encosto em seu encosto. Nesse momento, o avaliador pressiona a letra "Z", encerrando o teste e promovendo a gravação dos dados.

Figura 4 - Total percorrido pelo participante no teste TUG com sinalizações para contorno, retorno e cadeira



Perçu<http://ciruspar.pr.gov.br/wp-content/uploads/2021/05/RETIFICACAO-2-Pregao-Eletronico-RP-12-2021-Equipamentos-de-radiocomunicacao-para-o-SAMU-192-Sudoeste-PR-Copia-Copia.pdf> total percorrido pelo participante no teste TUG com sinalizações para contorno, retorno e cadeira
Fonte: Google Imagens

As medidas extraídas dos participantes deste estudo foram de todo o corpo, resultando em 25 pontos coletados. Os pontos compreendem três eixos (X, Y e Z), que levaram aos sete parâmetros: ascensão, descenso, cadência, velocidade média, tempo total e tempo de volta.

O software grava todos os pontos capturados, nas coordenadas (X,Y,Z) no decorrer do tempo, bem como registra o vídeo, em cores, em padrão RGB, com resolução de 640x480, no disco do computador pessoal. Os dados dos pontos são gravados em estrutura de arquivo, em formato CSV. As variáveis acima descritas foram registradas entre o trajeto de ida e de retorno. Concomitante a contagem do tempo pelo software, o avaliador deve fazer o registro manual do tempo, através de um cronômetro registrando a duração do teste, para fins de comparação e validação, tendo em vista que o teste convencional é feito apenas com a cronometragem do tempo de teste pelo observador. A cadeira utilizada pelas sessões de coleta possui as dimensões de 91 cm de altura, 55 cm de largura e 45 de profundidade, com apoio de braço e seu material é de madeira maciça.

4.7 Funcionamento de captura dos dados

O funcionamento do dispositivo Kinect V2 é descrito segundo Jamhoury (26). Trata-se de um instrumento da Microsoft, utilizado no vídeo games Xbox One, que dispõe de duas câmeras - uma câmera colorida, padrão RGB, com resolução de 1920x1080 pixels e uma câmera de

profundidade, de 512 x 424 pixels. Por meio deste dispositivo, é possível rastrear até seis esqueletos de única vez e a posição espaço temporal de 25 articulações de cada (**Figura 5**).

Figura 5 - Imagem da câmera Kinect V2



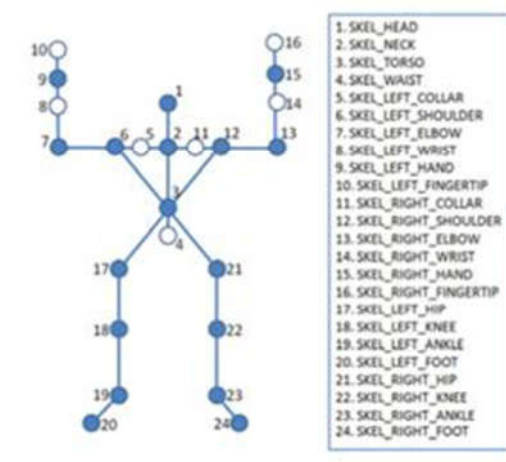
Fonte: Google Imagens

A tecnologia de detecção de profundidade usada no Kinect v2, proporciona o cálculo de profundidade com base na tecnologia de *Time of Flight* (tempo de vôo). O equipamento dispõe de emissor de Infravermelho que consiste em um diodo de laser de infravermelho ou *infra-red* (IR), para emitir luz IR modulada, projetada ao campo de visão do sensor. A luz refletida é coletada pelo sensor de profundidade. Um temporizador é utilizado para sincronizar as ações do emissor de feixe de infravermelho e o sensor de profundidade. A profundidade de cada pixel ou ponto pode ser calculada baseando-se na mudança de fase entre a luz emitida e a luz refletida. No Kinect V2, o emissor de Infravermelho é periodicamente ligado e desligado alternadamente. Então, a captura da luz é classificada em duas condições, quando o emissor está ligado e desligado, respectivamente. A condição "A" é quando o emissor está ligado e a condição B é quando ele está desligado. "A" contém a luz do emissor mais a luz do ambiente. B contém somente a luz do ambiente. Subtraindo-se B de A(A-B), tem apenas a luz modulada refletida, originada do emissor de infravermelho, que é utilizado para o cálculo da profundidade do ponto, com alta precisão. Além disso, a magnitude de (A-B) fornece uma imagem do infravermelho em alta qualidade, sem a luz do ambiente(27).

A extração de dados referentes ao corpo humano realizada através do Kinect é referente às articulações e não a posição anatômica dos ossos. Os dados extraídos pelas câmeras e

sensores são numerados de 0 a 24. Os dados espaço-temporais são guardados em memória numa matriz a cada 100 milissegundos. Ao final da captura da imagem do procedimento de TUG, a matriz é armazenada de disco em formato csv. Em seguida, os dados dos parâmetros objeto desse estudo são apresentados em tela. A câmera possui 11 propriedades de análise relativas a cada articulação: cor (x, y); profundidade (x, y); câmera (x, y, z); e orientação (x, y, z, w), dos quais, foram utilizados neste estudo a câmera (x, y, z) (Figura 6).

Figura 6 - Dados extraídos pelas câmeras referentes aos sensores enumerados nos 24 pontos do corpo humano identificados pelo Kinect V2

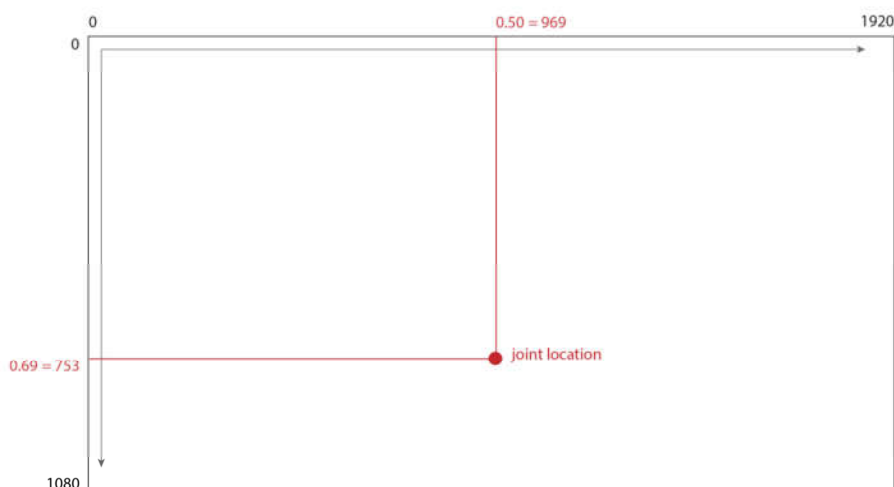


Fonte: Google Imagens

As coordenadas de cor (x, y) são as da articulação em imagem da câmera colorida. A posição de um ponto de espaço de cor descreve a posição de um ponto 2D na imagem colorida. Portanto, uma posição no espaço de cores é a localização de uma linha/coluna de um pixel. Nesta função, onde $x = 0$ e $y = 0$, corresponde ao o ponto no canto superior esquerdo da imagem colorida (**Figura 7**) e o canto inferior direito corresponde a função e $x = 1919$, $y = 1079$.

O dispositivo Kinect v2 apresenta erro de 11 a 15mm que, independentemente da sua dimensão, não apresenta relevância para este trabalho. Para o desenvolvimento do produto, o que é medido é o tempo entre o início de um dado movimento e a sua finalização. Ainda que exista uma baixa precisão nessa medida instantânea de espaço, o que realmente importa é a detecção do momento do inicial e final do movimento e a medição deste intervalo de tempo.

Figura 7 - Diagrama de coordenadas da câmera colorida evidenciando os vértices superior esquerdo e inferior direito



Fonte: Google Imagens

Os valores coletados em porcentagem pelo sensor do Kinect V2 para as coordenadas (x, y), são definidos em uma escala de 0 a 1, com base na resolução da câmera (1920x1080 pixels). Dessa forma, utilizando porcentagens, é possível garantir o posicionamento correto dos pontos na tela de resolução 2D disponível, mapeando-se em coordenadas X,Y, mesmo que seja necessária a alteração da altura e largura da tela, na apresentação da interface gráfica. Dessa forma, por exemplo, o valor 0,5048322081565857 para X, e 0,6968181729316711, para Y, equivale a posição (1920 x 0,5048322081565857) de largura e 1080 x 0,6968181729316711, na imagem de resolução 1920x1080, em 2D. Ou seja, a posição do ponto seria 969, em X, e aproximadamente 753, em Y.

As coordenadas de profundidade (x, y) são as das articulações na imagem da câmera de profundidade. Espaço de profundidade é o termo usado para descrever uma localização 2D na imagem de profundidade. Considera-se uma localização de linha/coluna de um ponto ou pixel, onde x é a coluna e y é a linha. Portanto, x = 0, y=0 corresponde ao canto superior esquerdo da imagem e x= 511, y=423 é o canto inferior direito da imagem (**Figura 5**).

Da mesma forma que é definido para as coordenadas da imagem colorida, colorX e colorY, o Kinect V2 retorna um valor entre 0 e 1 em porcentagem, para as coordenadas de profundidade (x, y). No caso da variável de profundidade, por exemplo, se depthX é 0,4810877740383148

e $depthY$ é 0,6604436039924622 e, considerando a resolução da imagem de profundidade sendo 512 x 424, teremos a posição na imagem para o valor x , $0,4810877740383148 \times 512$ e para o valor y é $0,6604436039924622 \times 424$. Portanto, a posição x , neste caso, seria aproximadamente 246 e y teria o valor de 280.

Para a posição do esqueleto no espaço, as coordenadas da câmera do Kinect V2 baseiam-se no sensor infravermelho para encontrar pontos 3D das articulações no espaço. As coordenadas do espaço da câmera são processadas de maneira diferente das coordenadas de cor e profundidade, uma vez que se referem a um sistema de coordenadas 3D atribuídos pelos sensores do equipamento Kinect V2. O alcance de profundidade do Kinect é de oito metros, mas o alcance de rastreamento do esqueleto é de 0,5m a 4,5m e não é possível a detecção de um esqueleto a menos de 1,5m em função do campo de visão da câmera, portanto, o valor da posição Z da câmera, ($cameraS$), ou profundidade varia entre 1,5 e 4,5m. O sistema de coordenadas é definido da seguinte forma:

A origem ($x = 0$, $y = 0$, $z = 0$) está localizada no centro da imagem definida pelo sensor de Infra-Vermelho do Kinect. As coordenadas X e Y podem ser positivas ou negativas, pois se estendem em ambas as direções do sensor. A coordenada Z sempre será positiva, à medida que cresce a partir da posição física do sensor. O valor de X (largura) é positivo à esquerda, o valor de Y (altura) é positivo na direção de inclinação do sensor e o valor de Z (profundidade) aumenta na direção de maior distância à do sensor. Todas as coordenadas espaciais extraídas pela câmera são medidas em metros.

No espaço, os valores X , Y e Z variam conforme exemplo. A variável $cameraX$ é -0,05251733213663101, a $cameraY$ -0,4374599754810333 e $cameraZ$ 2.19180965423584. Neste caso, os valores X e Y são negativos. Portanto, a posição da articulação está cerca de 0,05 metros à direita do sensor, 0,43 metros abaixo do sensor e 2,19 metros à frente do sensor. Diferem as medidas das coordenadas 2D (cor e profundidade) e as coordenadas 3D (câmera). Os valores de cor e profundidade são fornecidos como porcentagens de uma escala definida de 0-1 em suas respectivas resoluções. Na medida espacial, os três valores - coordenadas da câmera (x , y , z), as medidas são em metros e podem ser escalados conforme a conveniência do projeto. É possível aplicar um fator multiplicador de 1000, por exemplo, e serão obtidos valores como -53, -437, 2191, obtendo-se, portanto os valores em milímetros, sem casa

decimal e de mais referência. Dessa forma, também é mais fácil relacioná-los com os pixels ou pontos das coordenadas 2D, quando necessário.

Neste trabalho, uma vez capturados os dados 3D, dos eixos X, Y, Z, o algoritmo desenvolvido grava em disco, em arquivo, através de laço lógico contínuo com frequência de 100ms, em cada linha desse arquivo os valores dessas coordenadas dos 25 pontos do corpo humano, fornecidas pelo sensor Kinect, registrados em cada coluna respectivamente dessa linha. Dessa forma, a cada segundo, são registradas 10 blocos de informação daquele instante e cada bloco ou linha possui 25 colunas com os dados de cada parte do corpo humano respectivamente.

O formato do arquivo registrado é do tipo CSV (*Comma Separated Values*). Os arquivos no formato CSV(28) são regulamentados pela norma IETF RFC 4180(29), que estabelece uma ordenação de bytes com um formato de terminador de linha, separando valores com vírgulas. Cada novo bloco de dados é registrado numa nova linha.

Complementarmente ao registro dos dados em arquivos, para efeito de validação ou dirimir quaisquer dúvidas, também é registrada a imagem em vídeo do procedimento analisado.

4.8 Plano de análise estatística

A análise primária constitui-se em averiguar se o método automatizado e não-automatizado produzem resultados equivalentes em relação às medidas que são comuns aos dois testes (Tempo e Velocidade): esta análise foi considerada validação concorrente. Foi também avaliada a capacidade dos dois testes em diferenciar pacientes PC e não-PC (validade preditiva ou discriminatória). Ademais, foram também testadas variáveis coletadas pelo Kinect de forma a averiguar se elas são capazes de distinguir pacientes PC e não-PC. Para tanto, as variáveis numéricas foram classificadas em não normais e normais através da análise de histograma e teste de Kolmogorov-Smirnov. As variáveis numéricas normais foram expressas em média e desvio padrão e as variáveis numéricas não-normais foram expressas em mediana e intervalo interquartil (IIQ). Para verificar o grau de correlação entre as variáveis analisadas, foi utilizado o teste de correlação de Pearson. Para comparação entre os testes convencional e 3D-TUG nas duas populações, foi usado o teste t de Student de amostras pareadas. A significância estatística foi sempre definida pelo valor de $p < 0,05$.

5 RESULTADOS

Os dois grupos de pacientes conseguiram executar o procedimento sem dificuldades e tanto a calibração quanto o teste final transcorreram sem complicações técnicas. O grupo assintomático (Comparação) era um pouco mais jovem que o grupo PC maior renda e menor prevalência de queda (Tabela2).

A **Tabela 2** apresenta a estatística descritiva de características socioeconômicas e da função motora grossa dos participantes deste estudo. Foram coletados dados de participantes de ambos os sexos, com idade entre cinco a 18 anos, moradores de Salvador e Região Metropolitana, em sua maioria, de baixa renda (até três salários-mínimos). Entre os participantes do grupo PC, destaca-se o maior quantitativo de pacientes com maior autonomia (nível 2).

Tabela 2 - Características socioeconômicas e da função motora grossa dos sujeitos recrutados nos dois grupos em análise. PC = Paralisia Cerebral; GMFCS=Gross *Motor Function*.

Características	Grupo PC¹ (11)	Grupo Comparação (19)	p
Idade	15 ± 7,3	10 ± 2,5	0,009
Sexo masculino	9 (81%)	13 (68%)	0,424
Escolaridade:			
Fundamental	82%	100%	
Médio	18%	0%	
Renda:			
Até 3 SM²	64%	100%	
Mais de 3 SM	36%	0%	
GMFCS			
Nível 1	27%	0%	
Nível 2	73%	0%	
Uso de órtese	18%	0%	
Queda (3 meses)	45%	0%	

Fonte: Banco de dados de coleta dos participantes

Na **Tabela 3**, é demonstrada a diferença entre o PC e o grupo comparação nos diversos parâmetros calculados pelo TUG e 3D-TUG. Foi verificada diferenças estatisticamente significantes entre os todos os parâmetros de ambos os métodos, com exceção da cadência, onde tanto no método automatizado quanto no não-automatizado, não foi possível observar diferença entre os pacientes do grupo PC e do grupo comparação.

Tabela 3 - Análise da diferença das médias entre os testes TUG convencional e 3D-TUG entre as populações com Paralisia Cerebral (PC) e população controle

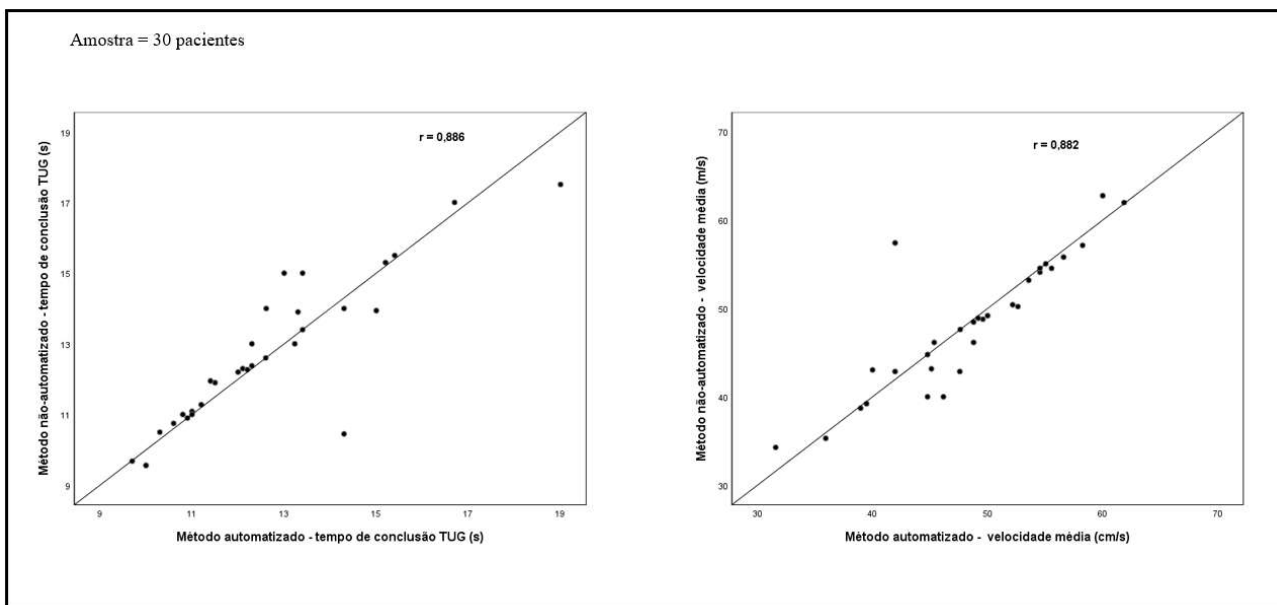
	Grupo PC [†] (11)	Grupo comparação (19)	p
Tempo automatizado	14 ± 2,26 s	12 ± 1,67 s	0,012
Tempo não-automatizado	14 ± 1,88 s	12 ± 1,67 s	0,02
Velocidade média automatizado	44 ± 6,4 cm/s	51 ± 6,6 cm/s	0,009
Velocidade média não-automatizado	43 ± 5,6 cm/s	51 ± 6,7 cm/s	0,002
Cadência automatizado	1,15 ± 0,34 passos/min	1,12 ± 0,168 passos/min	0,755
Cadência não-automatizado	1,15 ± 0,35 passos/min	1,1 ± 0,15 passos/min	0,665
Ascensão automatizado	2,32 IIQ2-2,95 s	1,19 IIQ1,1-1,28 s	< 0,001
Ascensão não-automatizado	2,36 IIQ 1,91-2,85 s	1,18 IIQ1,09-1,35 s	< 0,001
Descensão automatizado	3 IIQ2,69-3,3 s	1,45 IIQ 1,22-1,82 s	< 0,001
Descensão não-automatizado	3,37 IIQ3,08-3,8 s	1,21 IIQ1,13-1,48 s	< 0,001
Contorno automatizado	2,76 IIQ2,3-3 s	1,07 IIQ 1,03-1,15 s	< 0,001

5.1 Correlação entre o tempo médio do TUG Convencional e os parâmetros do TUG Kinect entre as populações

Foi verificada uma forte correlação entre o método automatizado e o não-automatizado quanto ao **tempo** de realização do teste “Up-and-Go” (coeficiente de correlação de Pearson (r)=0,886; P<0,001), como é demonstrado pelo gráfico de dispersão – figura 01. Também foi

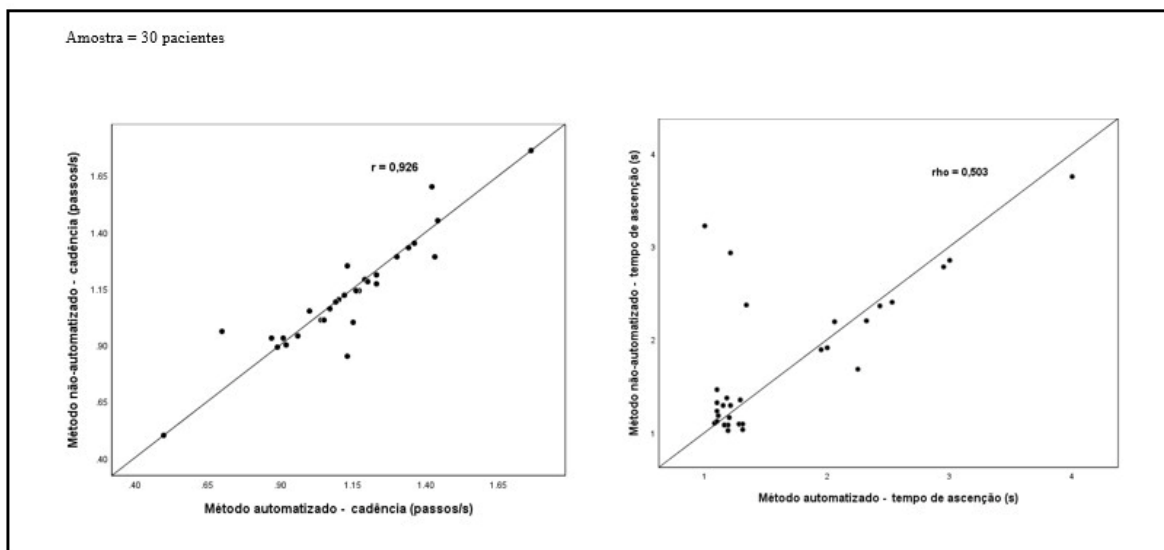
verificado uma forte correlação entre os métodos automatizado e não-automatizado quanto a **velocidade média** de conclusão do teste “Up-and-Go” ($r=0,882$; $P<0,001$), como é demonstrado no gráfico de dispersão. (Figura 8).

Figura 8 - Gráficos de dispersão correlacionando método automatizado e não automatizado quanto a tempo de conclusão do TUG1 e velocidade média.



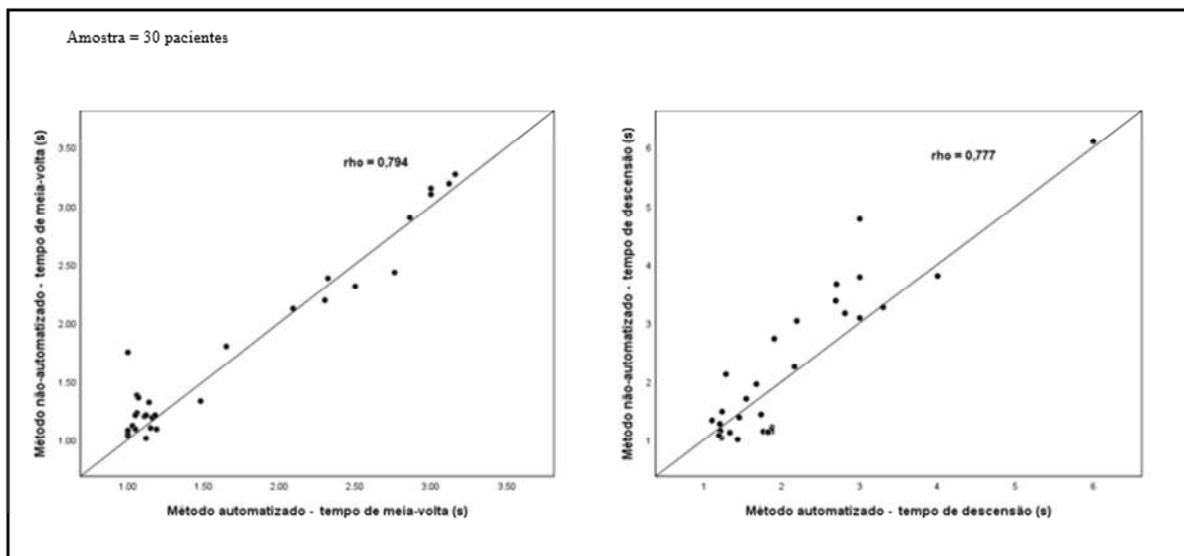
Foi verificado uma forte correlação entre os métodos automatizado e não-automatizado quanto a cadência durante o teste “Timed Up-and-Go” ($r = 0,906$; $P<0,001$), como é demonstrado no gráfico de dispersão – figura 02. Também foi verificado uma moderada correlação entre os métodos automatizado e não-automatizado quanto a ascensão durante o teste “Timed Up-and-Go” (Coeficiente de Correlação de Spearman [ρ] = $0,503$; $P = 0,005$), como é demonstrado no gráfico de dispersão. (Figura 9)

Figura 9 - Gráficos de dispersão correlacionando método automatizado e não automatizado quanto cadência e tempo de ascensão.



Moderada correlação foi observada entre os métodos quanto a **descensão**, durante o teste “Up-and-Go” ($\rho = 0,777$; $P < 0,001$), como é demonstrado no gráfico de dispersão – figura 03. Moderada correlação entre os métodos automatizado e não-automatizado foi visto quanto ao tempo de **meia-volta** durante o teste “Up-and-Go” ($\rho = 0,794$; $P < 0,001$), como é demonstrado no gráfico de dispersão. (Figura 10).

Figura 10 - Gráficos de dispersão correlacionando método automatizado e não automatizado quanto ao tempo de meia-volta e descensão.



Na tabela 4 é visto a diferença entre os métodos TUG e 3D-TUG quanto aos parâmetros colhidos durante os testes. Foi observado ausência de diferença estatisticamente significativa entre os métodos quanto aos parâmetros, exceto pelo tempo de meia volta, que se mostrou significativamente diferente entre os métodos automatizado e não-automatizado.

Tabela 4 - Comparação entre os métodos automatizado e não automatizado entre os parâmetros colhidos durante o Teste *Up-and-Go*

	Automatizado	Não-automatizado	p
Tempo	12,69 ± 2.1	12,74 ± 2.05	0,768
Velocidade média	48,41 ± 7.3	48,22 ± 7.5	0,772
Cadência	1,129 ± 0.24	1,123 ± 0.24	0,741
Ascensão	1,25 IIQ 1,14-2,1	1,36 IIQ 1,12-2,36	0,837
Descensão	1,84 IIQ 1,32-2,7	1,59 IIQ 1,15-3,19	0,376
Tempo de meia volta	1,16 IIQ 1,06-2,37	1,32 IIQ 1,12-2,31	0,045

6 DISCUSSÃO

O sensor Kinect

O presente estudo se propôs a desenvolver e validar um método automatizado para o teste TUG utilizando o sensor KINECT (3D-TUG). O novo método foi testado em pequeno grupo de voluntários (crianças com PC e assintomáticos) para verificar viabilidade técnica e realizar da comparação entre o teste convencional e o novo método (validade concorrente) e avaliar a capacidade de discriminar entre doentes e não doentes (validade preditiva). Os achados do nosso estudo indicaram que o 3D-TUG é uma ferramenta clínica de apoio diagnóstico tão simples e eficiente quanto o teste convencional, sendo mais preciso e oferecendo maior número de variáveis a serem analisadas; além disto, mostrou-se válido tanto em relação ao padrão-ouro quando em relação a detecção de deficiências detectáveis no procedimento.

O sensor “KINECT”, produto da empresa americana Microsoft, é composto por um conjunto de sensores, que captam o sinal de 25 pontos de articulação do corpo humano (26), o que permite o acompanhamento, com imagens em 3D, do movimento do corpo humano, até mesmo em ambientes domésticos, para abordagens de tratamento em locais distantes e de difícil acesso, além da alta aplicabilidade para telemedicina. Diante do alto nível de precisão e captação de pontos, os resultados deste estudo evidenciaram que o software desenvolvido com o sensor Kinect V2 pode ser empregado como uma ferramenta de triagem válida e confiável para auxiliar na investigação dos parâmetros espaço-temporais da marcha e suas alterações progressivas.

Outros quesitos favoráveis a este sensor são o baixo custo, facilidade de transporte e acessibilidade. A configuração do sistema consiste em um microcomputador, do tipo Personal Computer (PC), com o sistema operacional Microsoft Windows 10, ou superior, com um sensor “Kinect” para o *videogame* “Xbox One”, do mesmo fabricante, que se conecta ao computador por uma interface USB. Suas partes principais que incluem diferentes módulos são: (1) Método de acesso: inclui o sensor Kinect, aquisição de dados, processamento de dados; (2) Mecanismo de captura de dados: implementação da captura de dados durante o teste TUG, com indicadores, para um arquivo que pode ser transportado facilmente para outras ferramentas de análises estatísticas. A versão atual do Kinect, Azure Kinect, para desenvolvedores, disponível apenas nos EUA e na China, tem o preço de USD 399,00 (30).

Neste estudo, as variáveis espaço-temporais derivadas do sensor Kinect V2 apresentaram uma excelente concordância com suas contrapartes referenciais. De acordo com os resultados obtidos, estudos anteriores apontaram para uma validade razoável do Kinect V2, ao avaliar parâmetros espaço-temporais de marcha, independentemente da condição de caminhada (em solo ou em esteira), velocidade de caminhada (em uma velocidade auto-confortável ou específica), população (saudáveis ou pacientes com distúrbios de movimento) e também o sistema de captura de movimento referencial (câmeras optoeletrônicas), vídeos ou tapete sensor de imprensa) foi (31-35). Este estudo também demonstrou boa confiabilidade do sensor Kinect V2 para medições espaço-temporais, favorecendo os achados anteriores (6,21,31,36-38).

Em função da deficiência motora crônica causada pela paralisia cerebral em crianças, a terapia de reabilitação pode melhorar o equilíbrio muscular e a marcha. O tempo de ascensão (mudança do estado sentado para a posição ortostática) possui uma correlação direta com o tempo de realização do TUG e a hipótese de que um melhor desempenho na passagem da posição sentada para a ortostática pode favorecer uma marcha mais adequada. O sistema desenvolvido neste estudo, o 3D-TUG, foi capaz de captar vários parâmetros de marcha para além dos captados pelo teste tradicional como o tempo de ascensão. Conhecer os parâmetros biomecânicos que caracterizam essas 2 atividades (tempo de ascensão e a marcha) e suas correlações com a mobilidade funcional pode favorecer um diagnóstico funcional mais fidedigno, podendo auxiliar na análise das populações de pacientes com PC de forma discreta, com custo muito baixo e guiar na escolha de condutas específicas no tratamento fisioterapêutico (12). Em um estudo realizado por Barreira et al. (9), também utilizando crianças com PC como população e testando um software de baixo custo associado a câmera Kinect V2, foi possível evidenciar que os parâmetros da marcha que puderam ser extraídos validaram seu uso para auxiliar na avaliação clínica da marcha.

Diferente da versão anterior do Kinect, do videogame Xbox 360, o Kinect V2 fornece imagens de infravermelho e de profundidade muito melhores. Houve um grande avanço tecnológico com o dispositivo Kinect v2. Um dos pontos relevantes é, por exemplo, uma ferramenta para reconhecimento de gestos baseado em "machine learning", que também pode ter aplicabilidade de suma importância na área de saúde (27).

Outras abordagens, utilizando Kinect, aplicaram o procedimento com a câmera na posição frontal do indivíduo, com um único dispositivo (6), ou ainda utilizando múltiplas câmeras com o objetivo de dirimir problemas de auto oclusão (35). Uma câmera frontal permite a extração de outros parâmetros funcionais como angulação dos ombros, para suporte a diagnóstico de doenças como escoliose. O uso de câmeras múltiplas (9,39) permite resolver problemas relativos a auto oclusão de marcadores dispostos no lado oposto do corpo humano, fora do campo de visão de uma única câmera.

O trabalho atual, com desenvolvimento de software foi validado em jovens com Paralisia Cerebral e, com uma única câmera, estabelece uma condição de maior facilidade de portabilidade do equipamento, o dispositivo Kinect mais um computador pessoal portátil, com uma rápida e simples instalação do recurso para coleta dos dados em qualquer ambiente de atendimento ambulatorial. Além disso, com o Kinect em posição longitudinal à trajetória de caminhada do participante, estabelece condições necessárias e suficientes para captura dos parâmetros de interesse. O mesmo critério foi aplicado por Vernon et al (20), apesar da posição da câmera não estar inteiramente perpendicular a trajetória. Neste caso, validaram com a população de participantes com histórico de AVC. Para validação do seu estudo, foi utilizado como grupo-comparação, participantes saudáveis. Em outro experimento, Clark et al (15), também utiliza a câmera em posição longitudinal a trajetória do TUG, mas com inclinação de 10°. Neste caso, utiliza participantes saudáveis, e como recurso comparativo utiliza outro sistema com marcadores para comparar os dados e verificar a validade concorrente. Mentiplay et al (31) utilizou o mesmo procedimento também com participantes saudáveis. As medidas obtidas por Latorre et al (37), em seu trabalho, também compara pacientes com AVC e, como grupo-comparação, indivíduos saudáveis, e o dispositivo Kinect foi instalado a uma distância também do eixo longitudinal da trajetória da marcha do participante. O procedimento de validação utilizado por Mauntel (40) aplicou testes em sujeitos saudáveis em comparação com valores capturados pelo Kinect e valores obtidos por um sistema de estereofotogrametria, em movimentos do corpo humano, em momento de pouso de salto.

7 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES

O software desenvolvido é uma ferramenta de apoio para acompanhamento das terapias em curso. Não fez parte do escopo deste trabalho a análise das fases da marcha, por definição, ou ainda recursos de apoio ao diagnóstico. No entanto, com este recurso tecnológico e a coleta de mais parâmetros em relação ao teste TUG convencional como o tempo de ascenso e descenso, é possível que em trabalhos futuros esta ferramenta auxilie na detecção dos parâmetros de marcha espaço-temporal.

É possível planejar, para uma versão futura, uma estrutura mais modular de codificação do software e incluir a compatibilização com outras câmeras de mercado que possuam recursos similares ao Microsoft Kinect V2. Uma API (*Application Programming Interface*) única seria desenvolvida como recurso adicional e serviria como intermediária de comunicação com cada driver das câmeras compatíveis e, essa seria auto-detectada no início da execução da software 3D-TUG. De outra forma, a câmera seria escolhida pelo usuário em uma opção de menu de configurações. Além disso, a compatibilidade do dispositivo Kinect restringe-se a sua versão 2, V2. A nova versão, de nome Kinect Azure, ainda não se encontra disponível para aquisição no Brasil.

Em estudos futuros, pode-se envolver mais sensores e algoritmos mais robustos para melhorar o rastreamento do esqueleto e desempenho de detecção de etapas da marcha, evitando-se problemas relativos à oclusão, inerentes à utilização de um único sensor Kinect.

Dado as limitações de recurso financeiro e de tempo, não foram previstos neste trabalho a comparação entre o software 3D-TUG com o padrão-ouro: VICON, portanto não foi possível validar o produto com o padrão-ouro. Esta ferramenta é de altíssimo valor financeiro e está disponível para utilização em uma instituição no sul do país, no Rio Grande do Sul.

Vale ressaltar que a realização de um estudo longitudinal, com mais participantes, seria importante para validar a confiabilidade do sistema. Entretanto, deve-se mencionar que este estudo foi feito com pacientes reais, abrangendo uma amostra de voluntário com a patologia (PC) e saudáveis. Desta forma, foram avaliados todos os problemas potenciais que podem surgir na análise dos pacientes.

8 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo apresentam um nível de validade e confiabilidade razoável na avaliação de parâmetros espaço-temporais obtidos pelo software desenvolvido, utilizando o recurso tecnológico do Sensor Kinect V2 do fabricante Microsoft, sendo eficiente em discriminar pacientes com PC e do grupo controle. Além disso, se correlacionou de forma equivalente ao TUG convencional apresentando como vantagem alguns parâmetros que não são medidos pelo método manual. Esses resultados indicam de forma abrangente que o Kinect V2 pode ser utilizado como uma ferramenta portátil de avaliação e de baixo custo para rastrear e observar a progressão da marcha em crianças com PC.

REFERÊNCIAS

1. Yang Y, Pu F, Li Y, Li S, Fan Y, Li D. Reliability and Validity of Kinect RGB-D Sensor for Assessing Standing Balance. *IEEE Sensors Journal*. 2014 May;14(5): 1633-1638. doi: 10.1109/JSEN.2013.2296509.
2. Funaya H, Shibata T, Wada Y, Yamanaka T. Accuracy assessment of kinect body tracker in instant posturography for balance disorders. *International Symposium on Medical Information and Communication Technology, ISMICT*. 2013:213-217. 10.1109/ISMICT.2013.6521731.
3. Kitsunezaki N, Adachi E, Masuda T, Mizusawa J. KINECT applications for the physical rehabilitation. *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*. 2013: 294-299. doi: 10.1109/MeMeA.2013.6549755.
4. Wochatz M, Tilgner N, Mueller S, Rabe S, Eichler S, John M, Völler H, Mayer F. Reliability and validity of the Kinect V2 for the assessment of lower extremity rehabilitation exercises. *Gait Posture*. 2019 May;70:330-335. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.03.020. Epub 2019 Mar 26. PMID: 30947108.
5. Luhmann T, Hein A, Lohmann O. Skeleton Timed Up and Go. In *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM) (BIBM '12)*. IEEE Computer Society, USA, 2012: 1–5. doi:<https://doi.org/10.1109/BIBM.2012.6392610>
6. Otte K, Kayser B, Mansow-Model S, Verrel J, Paul F, Brandt AU, Schmitz-Hübsch T. (). Accuracy and Reliability of the Kinect Version 2 for Clinical Measurement of Motor Function. *PloS one*. 2016;11(11): e0166532. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166532>.
7. Moura E, Oliveira H, Nagem D. Desenvolvimento de um sistema de captura de baixo custo destinado a determinação da cinemática humana. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde*. 2016:2236-1103. Doi: 10.18816/r-bits.v5i4.8668.
8. Carneiro APGQ. Validação do software de análise do movimento CVMOB para avaliação da marcha humana. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, Salvador. 2015.
9. Barreira CC, Forner-Cordero A, Grangeiro PM, Moura RT. Kinect v2 based system for gait assessment of children with cerebral palsy in rehabilitation settings. *J Med Eng Technol*. 2020 May;44(4):198-202. doi: 10.1080/03091902.2020.1759709. Epub 2020 May 18. PMID: 32420771.
10. Krigger KW. Cerebral palsy: an overview. *Am Fam Physician*. 2006 Jan 1;73(1):91-100. PMID: 16417071.
11. Ofran Y, Karniel N, Tsenter J, *et al*. Functional Gait Measures Prediction by Spatiotemporal and Gait Symmetry in Individuals Post Stroke. *J Dev Phys Disabil*. 2019;31: 611–622. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10882-019-09664-6>.

12. Furtado C, Quixadá APC, Brasil CA, Guimarães M, Amorim T, Vieira JP, Pinto EB. Kinematic Parameters for Changing From Sitting to Standing Position and Gait in Poststroke Hemiparetic Patients. *Journal of Clinical Engineering*. 2018; 43(4):171-177.
13. Kolbjørnsen M. A Comparison of Motion-Sensing Game Technologies for use in Physical Rehabilitation. 2012. Dissertação de Mestrado. Institutt for datateknikk og informasjonsvitenskap.
14. Muro-de-la-Herran A, Garcia-Zapirain B, Mendez-Zorrilla A. Gait analysis methods: an overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications. *Sensors*. Basel, Switzerland. 2014; 14(2), 3362–3394. <https://doi.org/10.3390/s140203362>
15. Clark RA, Pua YH, Bryant AL, Hunt MA. Validity of the Microsoft Kinect for providing lateral trunk lean feedback during gait retraining. *Gait Posture*. 2013; 38: 1064–1066.
16. Gabel M, Gilad Bachrach R, Renshaw E, Schuster A. Full Body Gait Analysis with Kinect. In Proceedings of 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), San Diego, CA, USA, 28 August–1 September 2012; 1964–1967.
17. Cabrera R, Cantero A, Gomez Gonzalez IM, García-Heras J. Kinect as an access device for people with Cerebral Palsy: a preliminary study. *International Journal of Human-Computer Studies*. 2017:108. Doi: 10.1016/j.ijhcs.2017.07.004.
18. Tölgyessy M, Dekan M, Chovanec L, Hubinský P. Evaluation of the Azure Kinect and Its Comparison to Kinect V1 and Kinect V2. *Sensors*. 2021; 21: 413. Doi: 10.3390/s21020413.
19. Rebel MF et al. Prognóstico motor e perspectivas atuais na paralisia cerebral. *Rev. Bras. Cresc. e Desenv. Hum.* 2010; 20(2): 342-350
20. Vernon S, Paterson K, Bower K, McGinley J, Miller K, Pua YH, Clark RA. Quantifying individual components of the timed up and go using the kinect in people living with stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2015 Jan;29(1):48-53. doi: 10.1177/1545968314529475. Epub 2014 Apr 16. PMID: 24743227.
21. Clark RA, Vernon S, Mentiplay BF, et al. Instrumenting gait assessment using the Kinect in people living with stroke: reliability and association with balance tests. *J NeuroEngineering Rehabil*. 2015;12(15). Doi: 10.1186/s12984-015-0006-8.
22. Carey H, Martin K, Combs-Miller S, Heathcock JC. Reliability and Responsiveness of the Timed Up and Go Test in Children With Cerebral Palsy. *Pediatr Phys Ther*. 2016 winter;28(4):401-8. doi: 10.1097/PEP.0000000000000301. PMID: 27661230.
23. Sprint G, Cook DJ, Weeks DL. Toward Automating Clinical Assessments: A Survey of the Timed Up and Go. *IEEE reviews in biomedical engineering*. 2015; 8: 64–77. <https://doi.org/10.1109/RBME.2015.2390646>

24. Shotton J, Fitzgibbon A, Cook M, Sharp T, Finocchio M, Moore R, Kipman A, Blake A. Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images. *Communications of the ACM*. 2011; 56:1297-1304. Doi: 10.1109/CVPR.2011.5995316.
25. Freedman B, Shpunt A, Machline M, Arieli Y. *Depth Mapping Using Projected Patterns*. 2010.
26. Jamhoury L. *Understanding Kinect V2 Joints and Coordinate System*. Medium, 2018. Disponível em: <https://medium.com/@lisajamhoury/understanding-kinect-v2-joints-and-coordinate-system-4f4b90b9df16>. Acesso em: 15/03/2021
27. Lun R, Zhao W. A Survey of Applications and Human Motion Recognition with Microsoft Kinect. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 2015;29: 150330235202000. Doi:10.1142/S0218001415550083.
28. Shafranovich Y. Common format and MIME type for comma-separated values (CSV) files. 2005.
29. Shafranovich Y. Formato comum e tipo MIME para arquivos de valores separados por vírgula (CSV). 2005. Disponível em: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4180>
30. Lardinois F. [Internet]. 2019. [Acesso em 17 mar 2021]. Disponível em: <https://techcrunch.com/2019/07/11/microsofts-399-azure-kinect-ai-camera-is-now-shipping-in-the-u-s-and-china/>.
31. Mentiplay BF, Perraton LG, Bower KJ, Pua YH, McGaw R, Heywood S, Clark RA. Gait assessment using the Microsoft Xbox One Kinect: Concurrent validity and inter-day reliability of spatiotemporal and kinematic variables. *J. Biomech*. 2015;48:2166–2170. doi: 10.1016/j.jbiomech.2015.05.021.
32. Latorre J, Llorens R, Colomer C, Alcañiz M. Reliability and comparison of Kinect-based methods for estimating spatiotemporal gait parameters of healthy and post-stroke individuals. *J. Biomech*. 2018;72:268–273. doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.03.008.
33. Eltoukhy M, Oh J, Kuenze C, Signorile J. Improved kinect-based spatiotemporal and kinematic treadmill gait assessment. *Gait Posture*. 2017;51:77–83. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.10.001.
34. Van Bloemendaal M, Beelen A, Kleissen RF, Geurts AC, Nollet F, Bus SA. Concurrent validity and reliability of a low-cost gait analysis system for assessment of spatiotemporal gait parameters. *J. Rehabil. Med*. 2019;51:456–463. doi: 10.2340/16501977-2559.
35. Dolatabadi E, Taati B, Mihailidis A. Concurrent validity of the Microsoft Kinect for Windows v2 for measuring spatiotemporal gait parameters. *Med. Eng. Phys*. 2016;38:952–958. doi: 10.1016/j.medengphy.2016.06.015.
36. Grobelny A, Behrens JR, Mertens S, Otte K, Mansow-Model S, Kruger T, Gusho E, Bellmann-Strobl J, Paul F, Brandt AU, et al. Maximum walking speed in multiple

- sclerosis assessed with visual perceptive computing. PLoS ONE. 2017;12:e0189281. doi: 10.1371/journal.pone.0189281.
37. Latorre J, Colomer C, Alcañiz M, Llorens R. Gait analysis with the Kinect v2: normative study with healthy individuals and comprehensive study of its sensitivity, validity, and reliability in individuals with stroke. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2019;16:97. doi: 10.1186/s12984-019-0568-y.
 38. Steinert A, Sattler I, Otte K, Röhling H, Mansow-Model S, Müller-Werdan U. Using new camera-based technologies for gait analysis in older adults in comparison to the established GAITRite system. *Sensors.* 2020;20:125. doi: 10.3390/s20010125.
 39. Clark RA, Mentiplay BF, Hough E, Pua YH. Three-dimensional cameras and skeleton pose tracking for physical function assessment: A review of uses, validity, current developments and Kinect alternatives. *Gait Posture.* 2019 Feb;68:193-200. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.029. Epub 2018 Nov 22. PMID: 30500731.
 40. Mauntel TC, Cameron KL, Pietrosimone B, Marshall SW, Hackney AC, Padua DA. Validation of a commercially available markerless motion-capture system for trunk and lower extremity kinematics during a jump-landing assessment. *Journal of Athletic Training.* 2021;56(2): 177–190. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0023.20>

ANEXOS

Anexo A – Parecer Consubstanciado do CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: ANÁLISE AUTOMATIZADA, COM COLETA DE DADOS ATRAVÉS DO MICROSOFT KINECT DO TESTE TIMED UP AND GO EM PARALISIA CEREBRAL

Pesquisador: CRISTIANE MARIA CARVALHO COSTA DIAS

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 96891118.1.0000.5544

Instituição Proponente: Fundação Bahiana para Desenvolvimento das Ciências

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.095.073

Apresentação do Projeto:

Nas últimas décadas, percebe-se o aumento da expectativa de vida e o acentuado crescimento da população com Paralisia Cerebral, ou como os artigos mais recentes denominam como Encefalopatia Não Progressiva da Infância (ENPI). Conseqüentemente, cresce a demanda para avaliação para independência funcional nessa população. Urge o desenvolvimento de equipamentos e softwares que atendam às necessidades dos profissionais de saúde na avaliação da eficiência das terapias reabilitadoras de pessoas com limitação funcional locomotora. Uma ferramenta tecnológica de automação possibilita a realização de procedimentos de avaliação e análise das estratégias aplicadas à reabilitação funcional de uma forma efetiva e segura, presencialmente ou à distância com impacto na inserção social e na qualidade de vida dessa população. Atualmente os produtos disponíveis no mercado com esse intuito possuem um alto custo, com análise em 2D, além disso depende de marcação de pontos no corpo do paciente, inviabilizando a aquisição por profissionais de saúde em serviços públicos, contrapondo a

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275

Bairro: BROTAS

UF: BA

Município: SALVADOR

Telefone: (71)3276-8225

CEP: 40.290-000

E-mail: cep@bahiana.edu.br



Continuação do Parecer: 3.095.073

proposta do Sistema Único de Saúde (SUS), um atendimento universal e integral à população brasileira “uma saúde igualitária para todos”.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

-Desenvolver um dispositivo com software de baixo custo e maior precisão, aplicado no teste Timed up and go (TUG), em pessoas com limitações funcionais locomotoras, por meio da visão computacional, com imagens em 3D.

Objetivo Secundário:

- Analisar os dados coletados de forma automatizada, de pacientes com disfunção motora e ENPI, através do procedimento "Timed Up and Go";
- Avaliar o nível de qualidade motora, em pacientes com déficit de desempenho em habilidades de movimento em Encefalopatia Não-Progressiva da Infância;
- Comparar análises não-automatizadas com automatizadas, para validação do teste automatizado por software, em pacientes com ENPI;
- Pesquisar e desenvolver software sob arquitetura de hardware definida;
- Pesquisar e desenvolver solução voltada para a análise da mobilidade funcional no Teste Timed up and go(TUG);
- Pesquisar e desenvolver protótipo de software, em sistema operacional Microsoft Windows, conectado ao Sensor "Microsoft Kinect", para captura de imagens de movimentos de marcha humana, em 3D;
- Efetivar coleta de dados das imagens de biodinâmica da marcha humana, pelo sensor Kinect, com o uso de recursos baseados em visão computacional;
- Implementar um sistema com um recurso que se permita visualizar, de forma representativa, o esqueleto da pessoa;
- Utilizar metodologias de análise de reconhecimento de padrões, no incremento de recursos

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275

Bairro: BROTAS

UF: BA

Município: SALVADOR

CEP: 40.290-000

Telefone: (71)3276-8225

E-mail: cep@bahiana.edu.br



Continuação do Parecer: 3.095.073

tecnológicos no

apoio a análise de diagnóstico, a partir da marcha da pessoa;

-Desenvolver o dispositivo que se provenha suporte ao diagnóstico e avaliação das terapêuticas através da análise de marcha;

-Desenvolver um recurso para capturas frontais e laterais do corpo humano;

-Comparar análises não-automatizadas com automatizadas, para validação do teste automatizado por software;

-Comparar análises não-automatizadas com automatizadas, para validação do teste automatizado por software.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Segundo a pesquisadora:

-Riscos:

Os riscos da pesquisa estão relacionados com a privacidade, constrangimento, risco de queda. Os riscos serão prevenidos e quando não for possível serão tratados. Os riscos inerentes ao procedimento de TUG é o risco de queda. Para dirimir essa possibilidade, durante o teste, haverá o acompanhamento do fisioterapeuta, a pessoa utilizará calçados próprios no terreno plano para a caminhada. Os riscos relacionados a privacidade e constrangimento serão prevenidos através da aplicação individual dos questionários numa sala reservada.

-Benefícios:

Os benefícios indiretos serão a publicação dos resultados através de papers e congressos. Os benefícios diretos serão a entrega do relatório com os resultados do exame aplicado, para encaminhamento aos profissionais da equipe de saúde, que assistem essas pessoas. Outrossim contribuirá com o diagnóstico e a resposta do processo de reabilitação.

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275

Bairro: BROTAS

UF: BA

Telefone: (71)3276-8225

Município: SALVADOR

CEP: 40.290-000

E-mail: cep@bahiana.edu.br



Continuação do Parecer: 3.095.073

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um estudo observacional, transversal, descritivo e comparativo, a ser realizado a partir de um dispositivo com software de baixo custo e maior precisão, aplicado no teste Timed up and go (TUG), por meio da visão computacional, com imagens em 3D. Aplicado em pacientes com Paralisia Cerebral, com a proposta de validar a efetividade do software a ser desenvolvido. A pesquisa será realizada na Clínica de Fisioterapia da Bahiana. Participantes : crianças com diagnóstico de Paralisia Cerebral, com relatório médico. O recrutamento dos participantes será no Centro de Ortopedia do Hospital Santa Isabel. O teste do TUG consiste em cinco componentes que devem ser executadas pelo participante. Ele deve levantar-se de uma cadeira, caminhar 3 metros, dar meia volta, caminhar de volta e sentar-se novamente. Para o TUG convencional, o examinador, utiliza-se de um cronômetro, registra o tempo, em segundos, que o participante leva para executar o teste. (2). No TUG automatizado, posicionaremos a câmera em posição longitudinal, e ao comando de partida, iniciaremos a contagem de tempo e análise do software, pressionando-se a barra de espaço. Um sinal sonoro será emitido e o procedimento, do mesmo modo que o TUG convencional, deverá ser seguido pelo participante. SENSOR KINECT produto da empresa americana Microsoft, composto por um conjunto de sensores, permite a captura de sinal de 48 pontos de articulação do corpo humano, o que se traduz em um alto nível de precisão. É possível, por exemplo, utilizar este conjunto de sensores para predição de queda e avaliação de controle de postura, no suporte a terapias de reabilitação de deficiências motoras.

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275

Bairro: BROTAS

UF: BA

Telefone: (71)3276-8225

Município: SALVADOR

CEP: 40.290-000

E-mail: cep@bahiana.edu.br



Continuação do Parecer: 3.095.073

Este

equipamento, "Kinect", é de baixo custo e de fácil transporte, permitindo o acompanhamento com imagens em 3D do movimento do corpo humano, até mesmo em ambientes domésticos, para abordagens de tratamento em locais distantes e de difícil acesso. A configuração do sistema consiste em um microcomputador, do tipo "PC", com o sistema operacional Microsoft Windows 10, ou superior, com o pacote de desenvolvimento "Microsoft Kinect SDK v3", com um sensor "Kinect" para o videogame "Xbox one", do mesmo fabricante. O recurso contém três partes principais que também inclui diferentes módulos: 1. Método de acesso: inclui o sensor Kinect, aquisição de dados, processamento de dados; 2. Mecanismo de captura de dados: implementação da captura de dados durante o teste TUG. 3. Apresentação de resultado de dados: gerar resultados e arquivos de registros. Serão coletados automaticamente parâmetros, através do sensor Kinect, com quatro índices de critério de avaliação, em uma matriz de dados (caminhada, retorno, sentar, levantar) para analisarmos o teste. Serão extraídos indicadores de seis eventos de imagens de profundidade: a) Tempo total (em segundos): tempo entre o evento "iniciar movimento" e "finalização do sentar"; b) Tempo de levantamento (em segundos): tempo entre o evento "iniciar movimento" e o evento "iniciar marcha"; c) Velocidade para levantamento (mm/s): velocidade máxima do componente vertical de deslocamento em ascensão, entre o evento "iniciar movimento" e o evento "iniciar marcha"; d) Tempo do sentar (em segundos): tempo entre o evento "iniciar sentar" e o evento "finalizar sentar"; e) Velocidade de sentar (mm/s): velocidade máxima do componente vertical de deslocamento, entre o evento "iniciar sentar" e o evento "finalizar sentar"; f) Tempo de marcha (em segundos): tempo entre o evento "iniciar retorno", adicionado ao tempo entre o evento "concluir retorno" e "iniciar sentar". Se o paciente interromper a marcha, o tempo entre os eventos "iniciar

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275

Bairro: BROTAS

CEP: 40.290-000

UF: BA

Município: SALVADOR

Telefone: (71)3276-8225

E-mail: cep@bahiana.edu.br



Continuação do Parecer: 3.095.073

repouso" e

"finalizar repouso" ser descartado do cálculo;g) Número de paradas: número de vezes que o participante parou o seu avanço;h) Largura da volta (cm): distância entre a posição do "iniciar retorno" e "concluir retorno";i) Tempo de volta (segundos)

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

- Folha de rosto: devidamente preenchida e com assinatura do responsável institucional;
- Cronograma: discrimina as fases da pesquisa com início da coleta previsto para: 05 de novembro de 2018 e com previsão de relatório parcial e final;
- Orçamento: apresentado no valor de R\$ 3198,80 informando a fonte financiadora;
- Riscos e benefícios: adequados;
- TCLE:ajustado após orientações;
- Carta de anuência:apresenta carta assinada pelo chefe do serviço do HSI e do Bahiana Saúde. Foi corrigido o CNPJ da instituição proponente por motivos legalmente justificado.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

este projeto foi anteriormente aprovado através do Parecer Consubstanciado nº 3.004.620 sendo submetida atualmente uma emenda para correção do CNPJ da instituição proponente.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_1270297_E1.pdf	04/12/2018 10:50:17		Aceito
Outros	Resposta_cmcc.docx	07/11/2018 10:11:37	Roseny Ferreira	Aceito
Outros	Resposta.docx	25/10/2018 08:36:20	CRISTIANE MARIA CARVALHO COSTA DIAS	Aceito

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275

Bairro: BROTAS

CEP: 40.290-000

UF: BA

Município: SALVADOR

Telefone: (71)3276-8225

E-mail: cep@bahiana.edu.br



Continuação do Parecer: 3.095.073

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_assentimento.docx	24/10/2018 23:55:12	CRISTIANE MARIA CARVALHO COSTA DIAS	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_atual.docx	24/10/2018 23:54:50	CRISTIANE MARIA CARVALHO COSTA DIAS	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado.docx	02/10/2018 01:17:00	CRISTIANE MARIA CARVALHO COSTA DIAS	Aceito
Outros	Carta_anuencia_atual.pdf	01/10/2018 23:29:24	CRISTIANE MARIA CARVALHO COSTA DIAS	Aceito
Folha de Rosto	Folha_rosto_atual.pdf	28/08/2018 10:30:08	CRISTIANE MARIA CARVALHO COSTA DIAS	Aceito
Outros	Questionarioprojeto.pdf	27/08/2018 14:46:43	ISAMAR VILLAS BOAS PERRELLI MAIA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declacao_EBMSP.jpg	27/08/2018 10:46:43	CRISTIANE MARIA CARVALHO COSTA DIAS	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SALVADOR, 19 de Dezembro de 2018

Assinado por:
Roseny Ferreira
(Coordenador(a))

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275

Bairro: BROTAS

CEP: 40.290-000

UF: BA

Município: SALVADOR

Telefone: (71)3276-8225

E-mail: cep@bahiana.edu.br