



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM COMPUTAÇÃO

LUKAS TELES DE LIMA RAMOS

**FLEXINECT: UM SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE
FLEXIBILIDADE CORPORAL EM TEMPO REAL UTILIZANDO
SENSORES**

CAMPINA GRANDE - PB
2016

LUKAS TELES DE LIMA RAMOS

**FLEXINECT: UM SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE
FLEXIBILIDADE CORPORAL EM TEMPO REAL UTILIZANDO
SENSORES**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Ciência da
Computação da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
à obtenção do título de Bacharel em
Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Frederico
Moreira Bublitz

CAMPINA GRANDE - PB
2016

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

R175f Ramos, Lukas Teles de Lima.
Flexinect [manuscrito] : um sistema para avaliação de flexibilidade corporal em tempo real utilizando sensores / Lukas Teles de Lima Ramos. - 2016.
38 p. : il. color.

Digitado.

Monografia (Graduação em Computação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2016.
"Orientação: Prof. Dr. Frederico Moreira Bublitz, Departamento de Computação".

1. Sistemas - computação . 2. Flexinect. 3. Flexibilidade corporal. 4. Avaliação de flexibilidade. I. Título.

21. ed. CDD 005.43

LUKAS TELES DE LIMA RAMOS

**FLEXINECT: UM SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE
FLEXIBILIDADE CORPORAL EM TEMPO REAL
UTILIZANDO SENSORES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Ciência da Computação da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção
do título de Bacharel em Ciência da
Computação.

Aprovada em 25 de Maio de 2016.



Prof. Dr. Frederico Moreira Bublitz (UEPB)
Orientador(a)



Prof. Dr. Paulo Eduardo e Silva Barbosa (UEPB)
Examinador(a)



Prof. Dr. Andrei Guilherme Lopes (UEPB)
Examinador(a)

A minha família, pela
dedicação, companheirismo e
amizade, DEDICO.

"O temor de Deus é o princípio do conhecimento. Apenas os tolos desprezam a sabedoria e a disciplina." Provérbios 1:7

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Jeová Deus pela sabedoria, discernimento e coragem para realizar esse trabalho como todas as outras coisas.

Aos meu pais pelo apoio, motivação, compreensão e incentivo que me deram, sem os quais eu não teria chegado onde estou.

Ao meu Orientador, Frederico Bublitz, que, durante vários anos vem me orientando na pesquisa e que me ajudou a concluir este trabalho.

A Túlio Costa que me ajudou na realização dessa pesquisa desde o início.

A Professora Marina que me ajudou a realizar uma avaliação e coleta de dados essenciais para este trabalho.

Aos meus amigos da graduação, Bruno Clementino, Fábio Dias, Luana Sousa, Lucas Miranda, Melqui Lima e Sidney Pimentel, que me ajudaram em todos os momentos difíceis do curso, passando juntos por todos eles, pelas conversas agradáveis, pelo companheirismo, e sem os quais também não teria tido o mesmo desempenho durante minha formação.

A todos os meus amigos que me acompanham desde muito tempo e que sempre me dão apoio nas horas difíceis.

A todos que diretamente ou indiretamente me ajudaram a concluir esse trabalho.

RESUMO

FLEXINECT: UM SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE FLEXIBILIDADE CORPORAL EM TEMPO REAL UTILIZANDO SENSORES

A flexibilidade corporal é uma característica que influencia diretamente a saúde e a qualidade de vida, não só de quem pratica atividades físicas com frequência, como também de quem não pratica. Ela é uma medida utilizada para identificar alguns tipos de doenças, prevenir lesões e sugerir movimentos adequados. As atuais técnicas para avaliação da flexibilidade corporal, embora realizem a mensuração com uma boa confiança, estão sujeitas a erros de observação das medições, além de fornecer pouco *feedback* para o paciente durante a realização do movimento. Utilizando a tecnologia atual de sensores é possível utilizá-los para detecção do movimento e posição de uma pessoa. Nessa pesquisa é proposto o Flexinect, um sistema para avaliação de flexibilidade em tempo real que utiliza de sensores para realizar a avaliação com confiança semelhante aos dispositivos de mensuração padrão. O trabalho apresenta a descrição de um programa utilizando o Kinect que realiza a análise do movimento, também mostra uma análise para validação do sistema comparando a análise realizada pelo Flexinect em comparação com o goniômetro.

Palavras-Chave: Flexibilidade. Sensores. Avaliação de Flexibilidade. Flexinect.

ABSTRACT

FLEXINECT: A SYSTEM FOR BODY FLEXIBILITY EVALUATION IN REAL TIME USING SENSORS

The body flexibility is a feature that directly influences the health quality of life, not only of those who practice physical activities often, but also to those who do not practice. It is a value used to identify some types of diseases, prevent injuries and suggest appropriate exercises. Current techniques for the evaluation of body flexibility, although they perform the measurement with high fidelity, they are subject to errors of observation and provide low feedback to the patient during the course of the exercise. Using current sensor technology is possible to use them for detection of motion and a person position. In this research, we propose the Flexinect, a system for real-time flexibility assessment that uses sensors to carry out the assessment with similar confidence to standard measurement devices. The paper presents the description of a program using the Kinect that performs motion analysis, also shows an analysis to system validation comparing the analysis carried out by Flexinect compared with the goniometer.

Key words: Flexibility. Kinect. Flexibility evaluation. Flexinect.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1. Cenário de uso do NuSense | 15 |
| Figura 2- Arquitetura do NuSense..... | 16 |
| Figura 3. Movimentos de flexibilidade do Ombro | 22 |
| Figura 4. Cenário de uso da aplicação..... | 23 |
| Figura 5 - Arquitetura do Flexinect e interação com o NuSense | 24 |
| Figura 6. Medição da angulação para o movimento de abdução (plano XY) | 25 |
| Figura 7 – Exemplo de execução do Flexinect mostrando a angulação alcançada e a sua classificação | 26 |
| Figura 8 – Exemplo de execução do Flexinect exibindo a mensagem no final da avaliação | 26 |
| Figura 9 – Gráfico com a média das mensurações | 28 |
| Figura 10 - Dispersão dos conjuntos de valores do goniômetro e Flexinect | 28 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----|---|
| API | <i>Applicaion Programming Interface</i> |
| SDK | <i>Software Development Kit</i> |
| SO | Sistema Operacional |
| USB | <i>Universal Serial Bus</i> |
| FPS | <i>Frames por segundo</i> |
| RGB | <i>Red Green Blue</i> |
| IR | <i>Infrared</i> |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 Justificativa | 11 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 13 |
| 2.1 Flexibilidade Corporal e Técnicas de Avaliação | 13 |
| 2.2 Funcionamento do Kinect | 13 |
| 2.4 NuSense Framework | 15 |
| 3 TRABALHOS RELACIONADOS | 17 |
| 3.1 Utilização de Sensores para área de Saúde..... | 17 |
| 3.2 Monitoramento de Pacientes | 17 |
| 3.3 Reabilitação | 18 |
| 3.4 Tratamento ou Terapias..... | 19 |
| 3.5 Características relacionadas a saúde encontradas nos trabalhos | 19 |
| 4 METODOLOGIA..... | 21 |
| 5 SOLUÇÃO..... | 22 |
| 5.1 Arquitetura do Flexinect Utilizando o NuSense <i>Framework</i> | 23 |
| 5.2 Cálculo da Angulação Utilizando <i>Joints</i> do Kinect | 24 |
| 5.3 Avaliação da Flexibilidade e Feedback do sistema..... | 25 |
| 6 VALIDAÇÃO DO SISTEMA..... | 27 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 30 |
| REFERÊNCIAS..... | 31 |
| APÊNDICE A – ARQUITETURA DO SISTEMA | 34 |
| APÊNDICE B – REQUISITOS DO SISTEMA..... | 37 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Uma boa condição física é importante para manutenção da saúde e do bem-estar de um indivíduo, tanto dos que praticam esportes e outras atividades que exigem esforço físico, como para os que não praticam. Durante o processo de envelhecimento, a diminuição das aptidões físicas ocorre por diversos fatores como a genética, danos acumulados, estilo de vida além de alterações psicoemocionais (PETREÇA, BENEDETTI & SILVA, 2011). Dentre as aptidões físicas que promovem uma boa qualidade de vida está a flexibilidade corporal.

Os hábitos posturais incorretos, principalmente na postura sentada, estão intimamente ligados à limitação da flexibilidade, causando problemas como a lombalgia (DE ALMEIDA & JABUR, 2007) que afeta cerca de 57% dos trabalhadores que realizam atividades sentados (GRANDJEAN & HÜNTING, 1997). O sedentarismo, que está associado ao estilo de vida moderno, tem causado limitações físicas, o que torna necessária a avaliação da movimentação corporal para a manutenção da saúde. A flexibilidade corporal está relacionada com a recuperação no tratamento de distúrbios musculares articulares (ACHOUR JUNIOR, 2006). Segundo Bower, Ashburn e Stokes (2000), a partir dela é possível determinar a presença de alterações, prever o histórico natural e verificar progressões no tratamento de algumas doenças. A mensuração da flexibilidade também é utilizada para indicação de exercícios de alongamento, que auxiliam na prevenção de lesões, técnica bastante utilizada pelos praticantes de esporte (FARINATTI, 2000).

Como pode ser observado, a mensuração da flexibilidade é de suma importância para várias valências físicas. Por isso é necessário utilizar técnicas confiáveis para avaliação da flexibilidade. Atualmente os dispositivos mais utilizados para mensuração da amplitude articular de movimento são o goniômetro, flexímetro, flexômetro de Leighton e o banco de Wells (Lustosa *et al.*, 2008).

Para realizar a avaliação da flexibilidade de uma articulação corporal, o avaliador instrui o paciente a realizar um movimento e usa o dispositivo de medição para quantificar o alcance desse movimento. Como esses valores são obtidos por meio de observação, essas medidas estão inevitavelmente sujeitas a erros de

observação (SANTOS *et al.*, 2012). Muitos desses dispositivos são pequenos e exigem bastante experiência com manuseio, aumentando a possibilidade de erros durante a medição. Essas medições geralmente são registradas em papel comum ou em uma ficha específica, o que dificulta o processamento posterior desses dados, além de que o paciente pode ter pouco *feedback* durante a avaliação sobre a qualidade do movimento que está realizando dependendo do avaliador.

Existem atualmente várias tecnologias de sensores para a captura do movimento corporal. Sensores como o Microsoft Kinect, fazem uso de diversas câmeras e algoritmos de detecção do movimento para capturar a posição dos pontos referentes ao esqueleto de um indivíduo em tempo real. Essa tecnologia não é invasiva nem requer o uso de equipamentos ou outros sensores no corpo do usuário.

Nesse sentido, propõe-se Flexinect, um sistema para avaliação da flexibilidade corporal usando o Microsoft Kinect, que auxilia os profissionais de saúde a realizar as medições da amplitude das articulações, e que possa garantir confiança semelhante aos dispositivos já existentes, reduzir os erros de observação, classificar as angulações medidas utilizando referências amplamente empregadas e garantindo a persistência dos dados obtidos na avaliação para posterior consulta ou processamento, na qual, por meio do sensor, a avaliação seja realizada de forma mais rápida, sem uso de instrumentos no corpo do paciente e ajudando ele a entender, por meio dos dados fornecidos pela aplicação em tempo real, a qualidade do exercício realizado. Nesta pesquisa incluiu-se a avaliação dos movimentos referentes a articulação do ombro, por ser a articulação com maior mobilidade do corpo, por que é mais adequada para o reconhecimento por câmeras, não exigem o uso de outro tipo de apoio ou banco para o paciente e por ser uma das articulações mais importantes na maioria das atividades da vida diária. Também será utilizado o NuSense framework para auxiliar no desenvolvimento para o Kinect.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para entender alguns pontos discutidos neste trabalho, neste capítulo descrevem-se os conceitos e os métodos para avaliação da flexibilidade corporal, assim como aspectos relacionados ao funcionamento do Microsoft Kinect, seu uso recente no campo da saúde e NuSense *Framework*.

2.1 Flexibilidade Corporal e Técnicas de Avaliação

A flexibilidade pode ser definida como o grau de mobilidade passiva do corpo com auto resistência da unidade músculo-tendão ou outros tecidos do corpo (LAESSOE & VOIGTH, 2004). Gajdosik (2001), argumenta que clinicamente a flexibilidade é o alcance máximo articular e é o maior comprimento do músculo. A medição da flexibilidade possibilita verificar se há correlações com medidas preventivas de lesões, dor, recuperação, melhora no desempenho e independência de movimentos na terceira idade (ACHOUR JÚNIOR, 2002). Existem vários dispositivos e técnicas para avaliação de flexibilidade corporal. Ferramentas como o goniômetro são bastante utilizados na prática clínica para a avaliação da amplitude de movimento e postura. Entre as vantagens da quantificação angular por esse dispositivo, pode-se citar o baixo custo do instrumento e a fácil mensuração para um avaliador experiente (SANTOS, 2011). Outro dispositivo conhecido é o Flexômetro de Leighton. Ele tem a forma de um relógio, com uma alça, que é utilizada para fixar na posição a ser avaliado. Este equipamento utiliza da gravidade para quantificar amplitude de movimento de várias articulações. Sua principal desvantagem é o alto custo e tempo necessário para realizar a medição (PETREÇA, BENEDETTI & SILVA, 2011). Leighton (1987) também definiu medidas de flexibilidade para vários movimentos e articulações que são usadas como parâmetro de classificação para os movimentos listados nela.

2.2 Funcionamento do Kinect

O Microsoft Kinect é um dispositivo físico com tecnologia de detecção de profundidade, uma câmera em cores, um emissor infravermelho e um conjunto de

microfones, que podem identificar a localização, o movimento e as voz de pessoas (MICROSOFT, 2016). Sua primeira versão foi lançada em 2010 e a versão mais atual em 2015. Uma comparação das características de cada versão do Kinect pode ser vista na tabela 1.

Tabela 1 - Comparação entre as versões do Kinect

| Característica | Kinect for Windows 1 | Kinect for Windows 2 |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Câmera em cores | 640 x 480; 30 fps | 1920 x 1080; 30 fps |
| Sensor de profundidade | 320 x 240 | 512 x 424 |
| Distância de profundidade máxima | 4.5 m | 8 m |
| Distância de profundidade mínima | 40 cm | 50 cm |
| Campo de visão de profundidade horizontal | 57 graus | 70 graus |
| Campo de visão de profundidade vertical | 43 graus | 60 graus |
| Motor de inclinação | Possui | Não possui |
| Pontos definidos no esqueleto | 20 pontos | 25 pontos |
| Esqueletos completos identificados | 2 | 6 |
| USB Padrão | 2.0 | 3.0 |
| SO suportado | Windows 7; 8 | Windows 8; 8.1; 10 |
| Preço recomendado no lançamento | \$249 | \$199 |

As câmeras do Kinect funcionam em conjunto para detectar a posição e o movimento dos usuários. Segundo Khoshelham e Elberink (2012), a câmera em cores, ou RGB, é a câmera mais comum, presente na maioria dos dispositivos de fotografia. O sensor de profundidade captura a distância que objetos em estão a partir da câmera. A câmera infravermelha, ou IR, consegue visualizar ambientes em baixa luminosidade. A combinação dos dados RGB e de profundidade permitem que detecte a posição e o movimento de pessoas em frente ao dispositivo. Embora tenha sido

projetado inicialmente para o entretenimento e para jogos, seu potencial tem chamado atenção para outras áreas como HAR (Human Activity Recognition) e a Modelagem 3D (KHOSHELHAM & ELBERINK, 2012). Segundo uma revisão feita por ANN e THENG (2014), a maioria dos pesquisadores em HAR utilizam o Microsoft Kinect em suas pesquisas, motivados principalmente pela facilidade de desenvolver usando o SDK para o dispositivo e pela vasta comunidade de usuários em fóruns. Segundo uma revisão de artigos recentes sobre o uso de sensores para captura do movimento (ANN & THENG, 2014), o Microsoft Kinect é o mais utilizado devido ao baixo custo em relação a outros grupos de sensores, até mesmo dispositivos vestíveis. Com base nesses fatores o Microsoft Kinect foi escolhido para captura do movimento nesta pesquisa.

2.4 NuSense Framework

O NuSense é um *framework* baseado em *plug-ins*, que tem o objetivo de reduzir a dificuldade de desenvolver aplicações para monitoramento, por meio de sensores, de diversos aspectos relacionados a saúde de pacientes. O NuSense auxilia no controle das funções do sensor utilizado, caso haja um *plug-in* desse sensor disponível para o framework. Ele também ajuda no armazenamento e na exportação dos dados para diferentes saídas. Para produzir um sistema utilizando o NuSense o programador deve implementar uma solução em integrada ao framework para os requisitos de uma determinada atividade definida por um profissional de saúde conforme a Figura 1.



Figura 1. Cenário de uso do NuSense

O framework disponibiliza interfaces para o desenvolvedor construir seu programa como descrito na arquitetura da Figura 2. A interface *ISensor* deve ser implementada para controlar os eventos relacionados ao sensor utilizado. A interface *IActivity* fornece o comportamento da classe que contém os padrões a serem monitorados. Para definir o formato e padronizar os dados de saída deve-se implementar a interface *IOutput*. Por último é preciso utilizar a interface *IStorage* que contém os métodos para armazenar os dados analisados. Atualmente o NuSense dá suporte ao Microsoft Kinect na versão 2.0 com um *plug-in* específico para sensor.

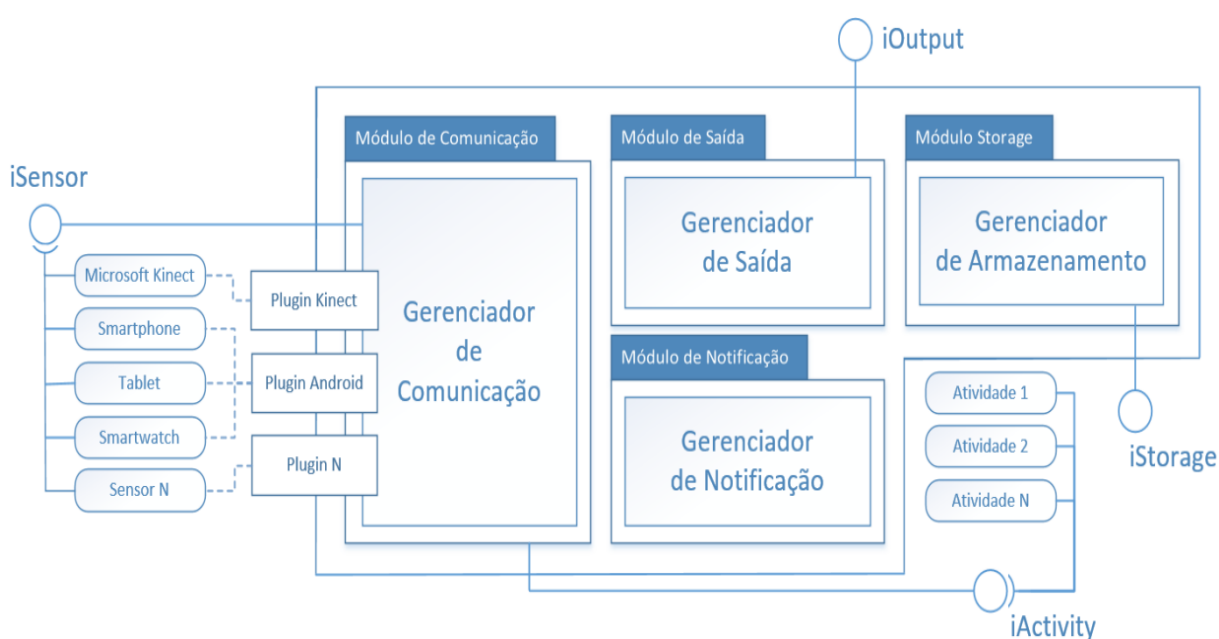


Figura 2- Arquitetura do NuSense

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo aborda outros trabalhos que estão relacionados a esta pesquisa, descrevendo soluções na área de saúde com a utilização do Kinect e suas principais contribuições.

3.1 Utilização de Sensores para área de Saúde

Os sensores para reconhecimento de atividades humanas podem reconhecer a posição e a maioria dos movimentos de uma pessoa. Eles capturam essas ações e interpretam essas informações de maneira quantitativa. Dentre os sensores mais utilizados, eles podem ser classificados como câmeras em cores, sensores de profundidade e dispositivos vestíveis (AGGARWAL & XIA, 2014). A vantagem do Kinect em relação aos outros sensores está no fato de que ele contém a câmera em cores e o sensor de profundidade integrados no mesmo dispositivo, fazendo com que ele seja utilizado amplamente em pesquisas.

As pesquisas recentes utilizando o Microsoft Kinect para área da saúde, podem ser classificadas como: monitoramento de pacientes, reabilitação ou algum tipo de tratamento ou terapia.

3.2 Monitoramento de Pacientes

Sobre monitoramento de pacientes utilizando o Kinect, pode-se destacar o KAD (Kinect Assessment Disorder) que monitora os pacientes durante um teste de caminhada realizado para diagnosticar esclerose múltipla (KASTANIOTIS *et al.*; 2014). Durante a caminhada, são analisados os padrões de movimento e a distância percorrida do paciente para diagnosticar a esclerose múltipla, de acordo com os protocolos do teste.

Smilkstein *et al.* (2014) propôs uma aplicação para monitoramento de motoristas utilizando o Kinect para reconhecer a frequência do batimento cardíaco e

identificar se ele fica sonolento ao dirigir. O algoritmo utilizado foi o proposto por Wu *et al.* (2012) para identificação da frequência cardíaca, que utiliza a câmera em cores do sensor. Além disso Kinect era responsável por identificar e mapear a postura do motorista para ajudar a definir quando ele está dormindo e quando está acordado.

Outra solução para monitoramento é o *CAC Framework* (KONSTANTINIDIS, 2013) focado em assistência domiciliar monitorada por sensores que permite a comunicação de vários dispositivos como o Microsoft Kinect, Wii Balance Board, e o *smartwatch* com o sistema Android. Ele integra os dados obtidos desses sensores permitindo que o desenvolvedor trabalhe em um único formato.

3.3 Reabilitação

Para soluções de reabilitação podemos citar a pesquisa realizada por Ejupi *et al.* (2014), que afirma que o tempo de reação ao mover as pernas para pessoas idosas, pode indicar a chance que ela tem de vir a sofrer uma queda. Em vista disso, propôs uma solução utilizando o Kinect chamada iStoppFalls, um programa que testa o tempo ao pisar em um local no chão, indicando esse local na tela. Além de melhorar o desempenho dos usuários no tempo de reação ao caminhar, ele calcula o desempenho do participante, avalia a chance de queda e indica sua evolução.

Simmons *et al.* (2013), propôs um programa para reabilitação de pessoas com lesão cerebral através de um conjunto de jogos sob medida, estimulando o paciente a realizar movimentos específicos para o tipo de lesão cerebral. Essa solução é capaz de reconhecer os movimentos realizados pelo paciente utilizando o Kinect e medir sua evolução e desempenho para os movimentos realizados.

Roy, Soni e Dubey (2013), desenvolveram uma solução com o foco na reabilitação motora utilizando o Kinect. A plataforma integra outros softwares de modelagem 3D para que outros usuários possam editar ou criar novas aplicações utilizando o programa. A vantagem de utilizá-lo é que ele contém mecanismos para identificar os movimentos realizados e quantificar a evolução do paciente. Ele contém uma série de jogos separados por categoria de movimento, para os membros superiores e inferiores.

3.4 Tratamento ou Terapias

Com relação a tratamento ou terapia, destaca-se uma pesquisa que propõe uma série de exercícios para pacientes com osteoartrite no joelho (JUN *et al.*, 2013). Nela o Microsoft Kinect é utilizado para capturar as posições das articulações do joelho e do quadril durando exercícios de agachamento. Essas capturas são utilizadas para sugerir exercícios específicos para o paciente com a doença, além de medir a evolução dele em avaliações posteriores.

Stone e Skubic (2011) propuseram uma solução para o tratamento de quedas no ambiente doméstico para pessoas idosas. Segundo a pesquisa, pessoas idosas consideram inconveniente o uso de sensores vestíveis para tratamentos, por isso uma solução utilizando câmeras foi mais apropriado. O programa que identifica uma pessoa caminhando, a posição sentada e deitada. Ele utiliza algoritmos para sugerir, a partir dos dados desses testes, exercícios que possam trabalhar grupos articulares específicos para evitar o risco de queda.

3.5 Características relacionadas a saúde encontradas nos trabalhos

Os trabalhos apresentados anteriormente possuem várias características desejáveis para uma solução na área da saúde. Podemos ver na Tabela 2 as características presentes nos principais trabalhos para monitoramento, reabilitação e tratamentos em comparação com o Flexinect.

Tabela 2 – Comparativo das características dos principais trabalhos relacionados

| Características presentes nas pesquisas utilizando o Kinect | Kastaniotis <i>et al.</i> ; 2014 | Ejupi <i>et al.</i> 2014 | Stone e Skubic, 2011 | Flexinect |
|---|----------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------|
| Detecção automática das coordenadas do corpo | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Feedback em tempo real | ✓ | | | ✓ |
| Necessidade de acompanhamento | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Validação automática dos resultados | | | | ✓ |

Pode-se observar pela comparação que grande parte do diferencial do Flexinect se dá pela análise dos dados coletados com *feedback* ao usuário em tempo real e a validação automática dos resultados.

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho é tipo qualitativo de desenvolvimento, onde é desenvolvido um produto para avaliação de flexibilidade em tempo real usando Kinect. As seguintes etapas principais foram seguidas para o desenvolvimento dessa pesquisa.

- Compreensão do estado da arte de avaliação de flexibilidade;
- Revisão de literatura sobre propostas sobre o uso do Kinect para monitoramento, tratamento e cuidados na saúde;
- Definição dos requisitos do sistema;
- Estudo da API Kinect for Windows SDK 2.0;
- Desenvolvimento do sistema para avaliação de flexibilidade em tempo real;
- Avaliação das medições feitas com o Flex Kinect comparadas com medições feitas com o goniômetro

5 SOLUÇÃO

Neste trabalho foi desenvolvido o Flexinect, um sistema para avaliação de flexibilidade corporal utilizando o Microsoft Kinect, com o objetivo de facilitar o processo de avaliação de flexibilidade. Para realizar a medição da flexibilidade com este programa não é necessário usar nenhuma ferramenta diretamente no corpo da pessoa avaliada, basta apenas ficar diante da câmera e realizar o movimento selecionado. Os movimentos implementados para este trabalho foram abdução, adução, extensão, hiperextensão, e rotação externa do ombro, como ilustrado na Figura 3.

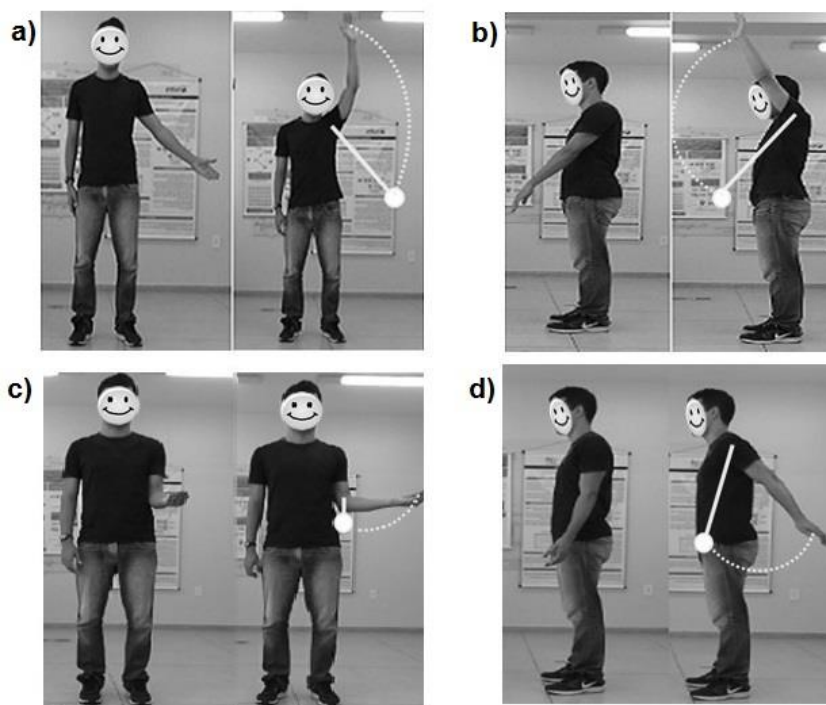


Figura 3. Movimentos de flexibilidade do Ombro: **a)** abdução; **b)** extensão; **c)** rotação externa; **d)** hiperextensão;

Como apresentado no cenário da Figura 4, para realizar a avaliação utilizando o sistema, primeiro o avaliador seleciona o movimento a ser realizado, o paciente se posiciona em frente a câmera e fica parado até que a angulação inicial seja identificada. Ao capturar a angulação inicial sistema apresenta uma mensagem para o paciente iniciar o movimento e apresenta a angulação alcançada em tempo real durante o movimento para que o avaliador observe seu desempenho no movimento. A angulação máxima alcançada fica registrada na avaliação. Ao finalizar a captura do

movimento o programa apresenta a avaliação da flexibilidade com a angulação inicial e a angulação máxima alcançada no movimento.

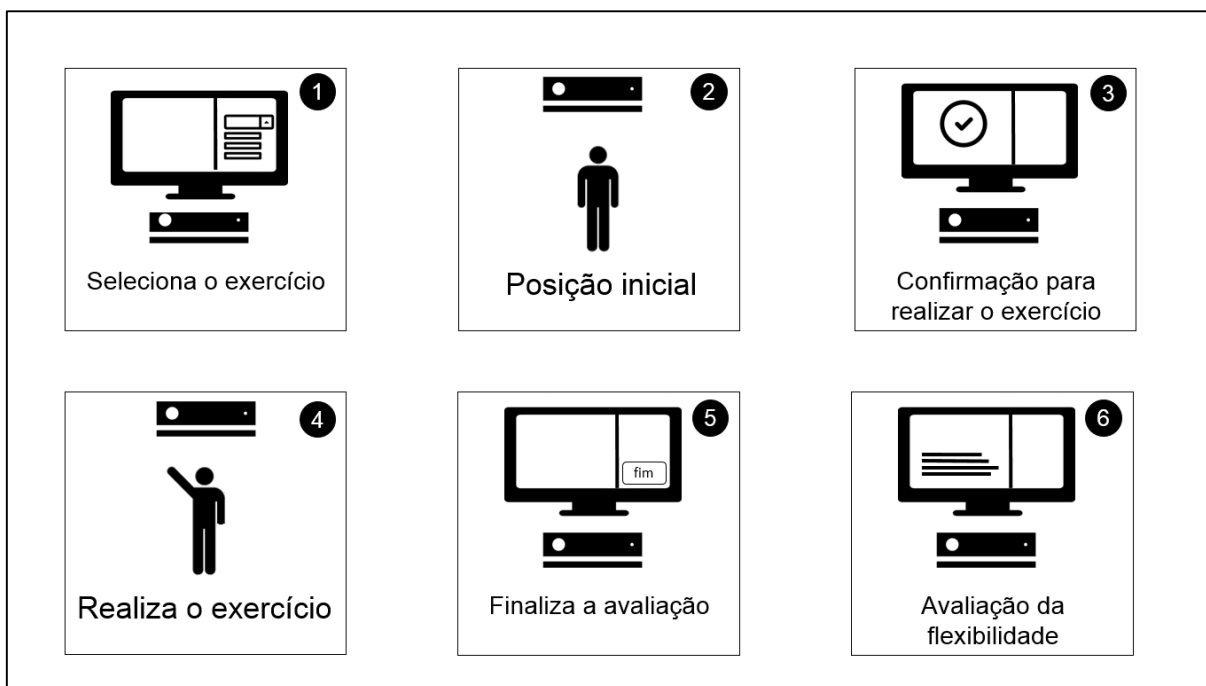


Figura 4. Cenário de uso da aplicação

5.1 Arquitetura do Flexinect Utilizando o NuSense *Framework*

Para auxiliar no desenvolvimento do Flexinect, foi utilizado o NuSense *Framework*, que contém um *plugin* para o Microsoft Kinect 2.0. Com ele, não é necessário implementar um controlador para as câmeras e funções do sensor. O *framework* ainda provê interfaces para definir o armazenamento dos dados, a saída e as atividades a serem monitoradas.

A implementação das interfaces fornecidas pelo *framework* como as outras classes do sistema, como as que definem os padrões de movimento a serem analisados e o cálculo da angulação para cada um deles estão descritos no Apêndice A, assim como o diagrama de atividades que apresenta o processo para realizar uma avaliação utilizando o sistema. As classes foram implementadas de uma forma que fica mais simples implementar outros movimentos no sistema por causa da classe 'Atividade', que serve de modelo para as outras classes, 'Abducao', 'Extensao', 'RotacaoExterna' e 'Hiperextensao', que definem o movimento a ser realizado. A classe 'SensorKinect' controla os eventos e câmeras do Kinect. A classe

‘Armazenamento’ gerencia os dados analisados durante a execução do sistema e armazena separando os dados de um paciente e os exercícios que ele realizou. A classe ‘TelaPrincipal’ contém as informações que são exibidas na interface do Flexinect. A interação dessas classes com as interfaces do *framework* pode ser vista na Figura 5. Complementando a arquitetura do sistema, no Apêndice B encontra-se o documento de requisitos do sistema.

O Flexinect foi desenvolvido utilizando o Microsoft Visual Studio 2013, e o .NET 4.5. Para poder utilizar o NuSense, foi utilizado o Kinect 2.0, que é o sensor suportado pelo *framework*.

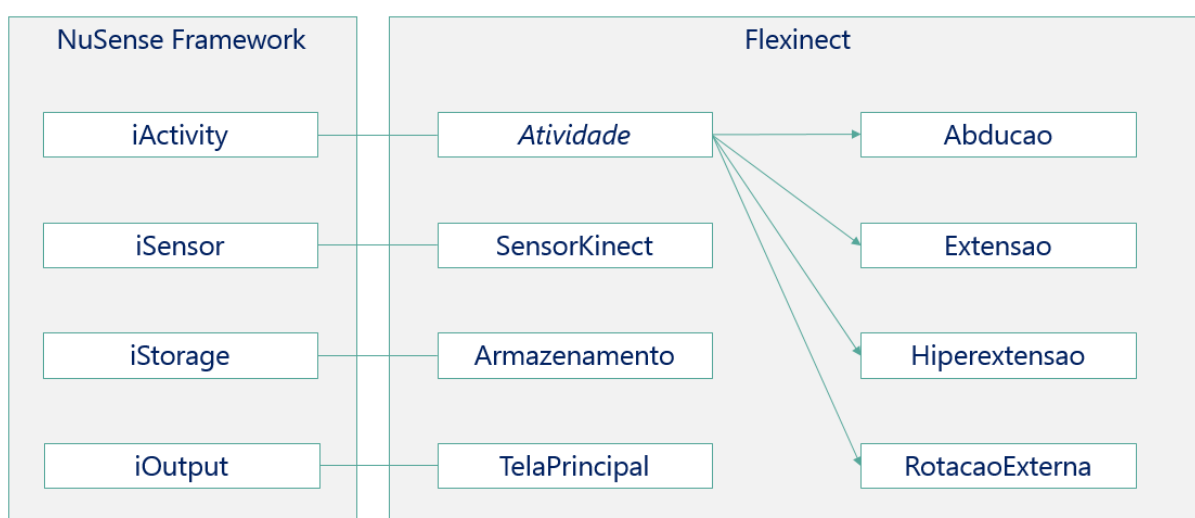


Figura 5 - Arquitetura do Flexinect e interação com o NuSense

5.2 Cálculo da Angulação Utilizando *Joints* do Kinect

Cada movimento tem uma direção diferente de movimento, por isso a maneira de calcular a angulação é diferente. Os movimentos para o ombro são representados por um espaço bidimensional, similar a análise do movimento feita pelos dispositivos físicos. Segundo Pagmas e Morris (2007), medições estáticas, definindo um plano coordenado de duas dimensões, são mais precisas que outros tipos de medições. A angulação formada abaixo do ombro é calculada usando as posições da articulação do ombro e do cotovelo. Tomando a articulação do ombro como referência para o cotovelo, podemos calcular a elevação dada por θ com respeito a um plano, XY, XZ ou YZ. Podemos ver um exemplo dessa angulação na Figura 6. A mesma aplicação pode ser feita no plano YZ, para os movimentos de extensão e hiperextensão, como

também para o plano XZ, para o movimento de rotação externa. Os pontos em cada um dos eixos são utilizados para calcular o ângulo utilizando arco seno.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{|Cx - Ox|}{\sqrt{((Cx - Ox)^2 + (Oy - Cy)^2)}} \right)$$

Cx : coordenada X do cotovelo; Cy : coordenada Y do cotovelo;
 Ox : coordenada X do ombro; Oy : coordenada Y do ombro.

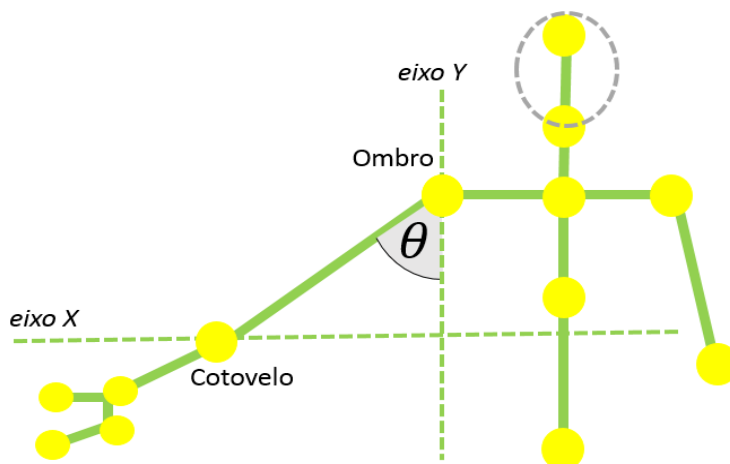


Figura 6. Medição da angulação para o movimento de abdução (plano XY)

Os pontos referentes a localização da pessoa que está diante do sensor estão num sistema de coordenadas onde os valores para X e Y variam entre -1 e 1, enquanto a coordenada Z retorna a distância em centímetros entre o usuário e o dispositivo. Antes de fazer o cálculo da angulação, é necessário normalizar os valores para o mesmo sistema. Foi utilizado uma variação de 0 a 100 para as três coordenadas deixando a medição independente da resolução da tela de exibição.

5.3 Avaliação da Flexibilidade e Feedback do sistema

Após o avaliador finalizar a verificação, no fim do movimento, o sistema informará o valor angular da flexibilidade alcançada para aquele movimento, que é dado pela angulação máxima alcançada menos o valor da angulação inicial do movimento. Esses três valores são apresentados no fim verificação, junto com a classificação da flexibilidade baseada na tabela de Leighton. A classificação da flexibilidade definida por Leighton (1987), separa os valores das angulações em baixo, abaixo da média, média, acima da média e alta. A Figura 7 mostra a execução do

sistema durante a realização de um movimento a angulação alcançada e a sua classificação.

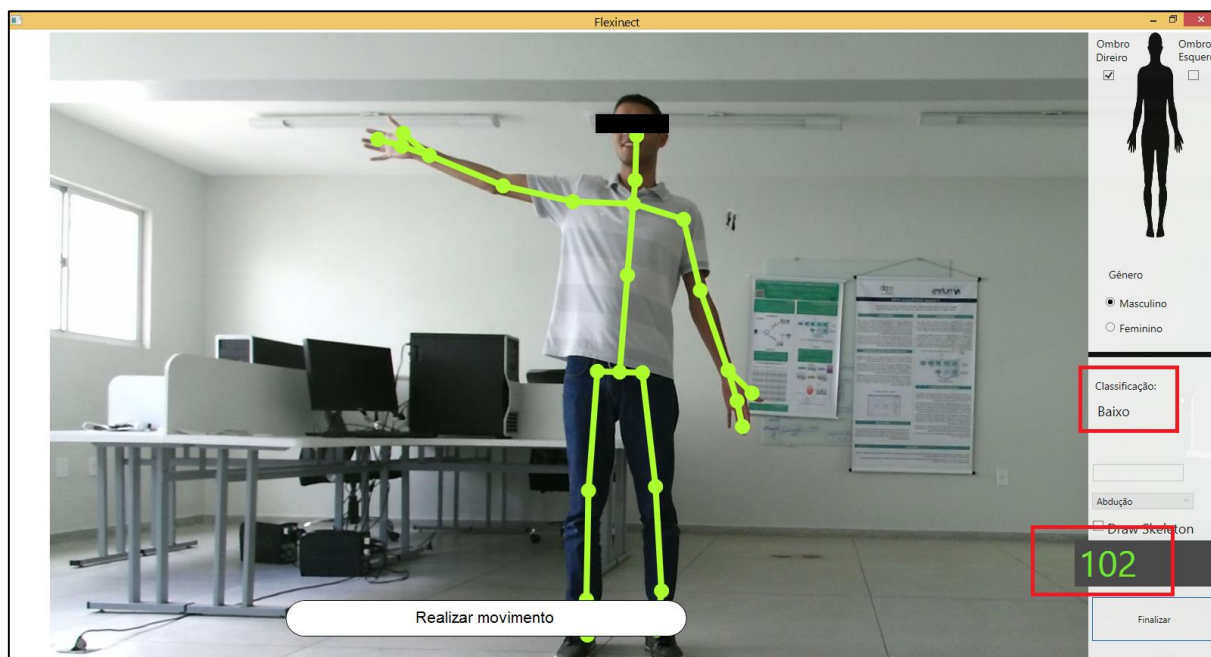


Figura 7 – Exemplo de execução do Flexinect mostrando a angulação alcançada e a sua classificação

Quando um movimento é finalizado, é possível selecionar o outro lado do ombro para ser analisado, alterar o movimento ou alterar o gênero, entre masculino e feminino, já que a classificação da flexibilidade definida por Leighton é diferente para homens e mulheres. Na Figura 8 é possível ver a mensagem mostrada no final de um movimento com o valor da angulação inicial, a angulação máxima e a classificação do movimento.



Figura 8 – Exemplo de execução do Flexinect exibindo a mensagem no final da avaliação

6 VALIDAÇÃO DO SISTEMA

Com o objetivo de verificar a validade do sistema proposto, realizou-se uma avaliação da medição com o Flexinect. Essa avaliação consiste na comparação dos valores mensurados com o sistema e com outro dispositivo confiável. Segundo Santos (2011) existem testes que atestam que a confiabilidade do goniômetro para articulações dos membros superiores é considerada boa ou excelente, além de ter baixo custo e ser mais simples que outros dispositivos. Em vista disso, o goniômetro foi utilizado como padrão ouro.

O teste foi realizado em ambiente controlado e apenas por membros do mesmo grupo de pesquisa. No total 8 pessoas realizaram a avaliação com o goniômetro e com Flexinect para os movimentos de abdução, extensão, hiperextensão e rotação externa. Um avaliador experiente da área de saúde conduziu a avaliação utilizando o goniômetro. As mensurações realizadas com o goniômetro e com o Flexinect não foram realizadas no mesmo dia, porém em horários e condições de temperatura semelhantes. Os valores obtidos nos testes estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores obtidos como o teste utilizando o goniômetro e o Flexinect

| Abdução /adução | | Extensão/Flexão | | Hiperextensão | | Rotação Externa | |
|------------------------|---------|------------------------|---------|----------------------|---------|------------------------|---------|
| Flexinect | Goniôm. | Flexinect | Goniôm. | Flexinect | Goniôm. | Flexinect | Goniôm. |
| 189 | 182 | 212 | 229 | 90 | 94 | 82 | 70 |
| 174 | 178 | 177 | 184 | 42 | 66 | 85 | 84 |
| 190 | 198 | 215 | 217 | 70 | 74 | 70 | 78 |
| 206 | 210 | 193 | 190 | 118 | 103 | 90 | 80 |
| 190 | 193 | 200 | 210 | 70 | 79 | 71 | 70 |
| 203 | 193 | 179 | 182 | 55 | 64 | 89 | 86 |
| 195 | 182 | 185 | 193 | 69 | 64 | 70 | 65 |
| 168 | 150 | 175 | 184 | 40 | 56 | 63 | 53 |

Para atestar a semelhança da avaliação realizada com o Flexinect e o goniômetro foi realizada uma análise dos valores obtidos nos testes de validação, contendo um gráfico com a comparação das médias dos valores obtidos para cada movimento, um gráfico de dispersão para visualizar a relação entre as duas séries e o cálculo do coeficiente de correlação de Person das duas amostras em cada movimento. Uma informação importante que pode ser extraída dos valores obtidos é

que a maior diferença entre as medições foi de 24° e a menor diferença foi de 1° . Na Figura 9 é apresentada a média dos valores obtidos com o goniômetro e o Flexinect em cada movimento proposto.

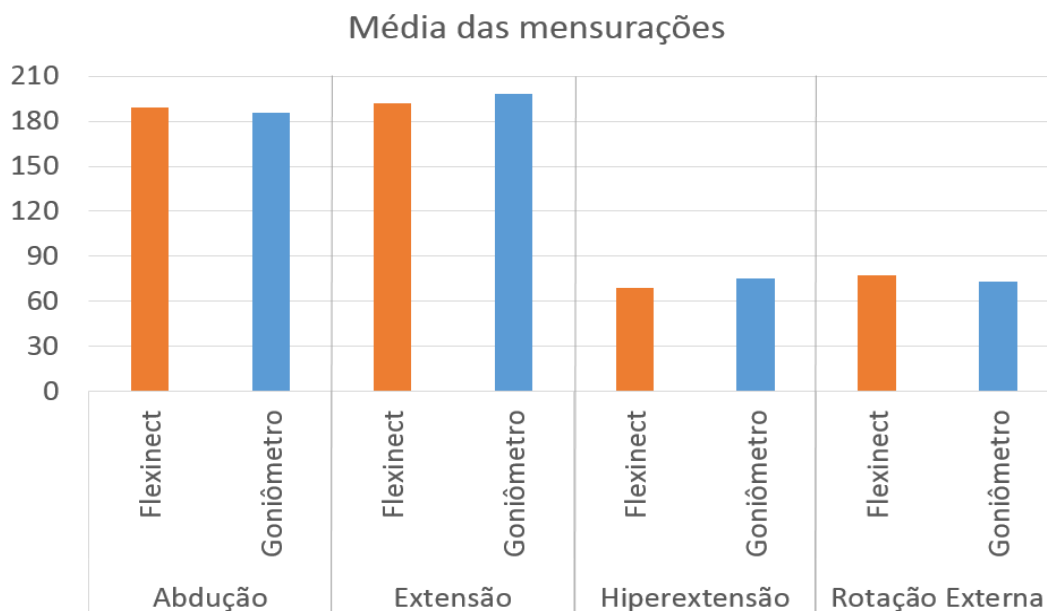


Figura 9 – Gráfico com a média das mensurações

Na Figura 10 mostra a dispersão dos conjuntos de valores de cada movimento, tendo como referência a medição do goniômetro para a reta (série) e os pontos mostrando a proximidade do conjunto de valores das medições do Flexinect para a série. Pode-se observar que os valores medidos com o Flexinect seguem uma relação próxima à série que representa as medições com o goniômetro.

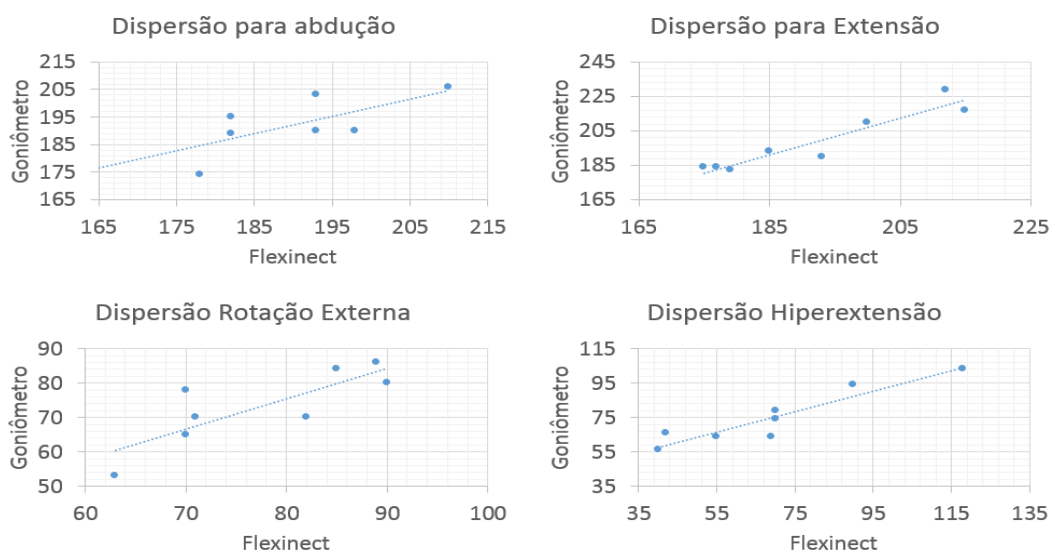


Figura 10 - Dispersão dos conjuntos de valores do goniômetro e Flexinect

Foi utilizado também o coeficiente de correlação de Pearson (r) que indica o grau de correlação entre duas variáveis como em outras validações de dispositivos para avaliação da flexibilidade corporal (PETREÇA, 2011; SANTOS, 2011).

Tabela 4 - Correlação entre as medições como goniômetro e o Flexinect

| Coeficiente de correlação de Pearson | Abdução | Extensão | Hiperextensão | Rotação Externa |
|---|----------------|-----------------|----------------------|------------------------|
| r | 0,85 | 0,94 | 0,93 | 0,81 |

O Coeficiente de Correlação de Pearson (r) define a associação linear entre duas variáveis quantitativas, variando entre -1 e 1. O valor 0 indica que não há correlação, o valor 1 indica uma correlação perfeita e o valor -1 indica uma correlação linear inversa perfeita. Por padrão, indica-se que r menor 0,2 ou -0,2 apresenta associação muito baixa, entre 0,2 ou -0,2 e 0,3 ou -0,3 baixa, entre 0,4 ou -0,4 e 0,69 ou -0,69 moderada, entre 0,7 ou -0,70 e 0,89 ou -0,89 alta e entre 0,9 ou -0,9 e 1 ou -1 muito alta (SANTOS, 2011). Na Tabela 4 podemos observar a correlação dos valores obtidos com o goniômetro e o Flexinect. Essa correlação pode ser considerada alta para os movimentos de abdução e rotação externa e muito alta para os movimentos de extensão e hiperextensão.

Com base nos dados obtidos e na análise feita, pode-se considerar que as medições realizadas com o Flexinect têm valores semelhantes ao do goniômetro e a qualidade da mensuração está em fase de aprimoramento.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um programa para avaliação de flexibilidade corporal para as articulações do ombro, que é capaz de mensurar o alcance máximo do movimento e classificar com base na tabela de Leighton o movimento feito. Ela auxilia os profissionais de saúde que trabalham com algum tipo de medição da flexibilidade corporal a evitarem erros de observação e armazenamento persistente dos dados avaliados. O Flexinect também melhora o entendimento do paciente sobre o movimento que ele está realizando por mostrar em tempo real o valor da angulação alcançada e a classificação do movimento.

A maneira como os movimentos foram implementados foram detalhados, assim como a maneira de realizar a avaliação utilizando o Flexinect. Foi apresentado a maneira como o sistema foi desenvolvido em conjunto com o NuSense, do ponto de vista de classes, atividades e requisitos do sistema. Também foi demonstrado como o programa calcula a angulação e utiliza os pontos do esqueleto fornecido pelo Microsoft Kinect para realizar o cálculo.

A validação do Flexinect mostrou uma comparação de medições com o goniômetro para os movimentos propostos na pesquisa. Esse teste mostrou que, para os valores medidos, o sistema tem uma confiança semelhante ao goniômetro na medição.

Como trabalhos futuros, deseja-se desenvolver mais movimentos para o Flexinect, incluindo outras articulações e movimentos, como também movimentos em que ocorra sobreposição de pontos do esqueleto provido pelo Kinect. Também pretende-se fazer melhorias na apresentação das informações na tela para facilitar a utilização, visualização e consulta dos resultados das avaliações.

REFERÊNCIAS

- ACHOUR JUNIOR, A. **Exercícios de alongamento: anatomia e fisiologia**. São Paulo, 2002.
- ACHOUR JUNIOR, A. **Validação de testes de flexibilidade da coluna lombar**. 2006.
- AGGARWAL, J. K.; XIA, L. Human activity recognition from 3d data: A review. **Pattern Recognition Letters**, n. 48, p. 70-80, 2014.
- ANN, O. C.; THENG, L. B. Human activity recognition: A review. **Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 2014 IEEE International Conference on**. IEEE, p. 389-393, 2014
- BOWER, E.; ASHBURN, A.; STOKES, M. Princípios de conduta fisioterapêutica e medidas de resultado final. **Neurologia para fisioterapeutas**. São Paulo: Premier, p. 49-63, 2000.
- DE ALMEIDA, T. T.; JABUR, M. N. Mitos e verdades sobre flexibilidade: reflexões sobre o treinamento de flexibilidade na saúde dos seres humanos. **Motricidade**, v. 3, n. 1, p. 337-344, 2007.
- EJUPI, A., BRODIE, M., GSCHWIND, Y. J., SCHOENE, D., LORD, S., & DELBAERE, K. Choice stepping reaction time test using exergame technology for fall risk assessment in older people. In: **Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE**. IEEE p. 6957-6960, 2014.
- FARINATTI, P. T. V. Flexibilidade e esporte: uma revisão da literatura. **Rev Paul Educ Fís**, v. 14, n. 1, p. 85-96, 2000.
- GAJDOSIK, R. L. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implication. **Clinical Biomechanics**, Oxford, v. 16, p. 87-101, 2001.

GRANDJEAN, E.; HÜNTING, N. Ergonomics of Posture: Review of Various Problems of Standing and Sitting. **Applied Ergonomics**, V. 8, n. 3, p. 135 - 40, 1997.

JUN, S. K., KUMAR, S., ZHOU, X., RAMSEY, D. K., & KROVI, V. N. Automation for individualization of Kinect-based quantitative progressive exercise regimen. In: **Automation Science and Engineering (CASE), 2013 IEEE International Conference on**. IEEE. p. 243-248, 2013.

KHOSHELHAM, K.; ELBERINK, S. O. Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications. **Sensors**, v. 12, n. 2, p. 1437-1454, 2012.

KASTANIOTIS, D., ECONOMOU, G., FOTOPOULOS, S., KARTSAKALIS, G., & PAPATHANASOPOULOS, P. Using kinect for assesing the state of Multiple Sclerosis patients. **Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), 2014 EAI 4th International Conference on**. IEEE, p. 164-167, 2014.

KONSTANTINIDIS, E. I., ANTONIOU, P. E., BAMPAROPOULOS, G., & BAMIDIS, P. D. A lightweight framework for transparent cross platform communication of controller data in ambient assisted living environments. **Information Sciences**, v. 300, p. 124-139, 2015.

LAESOE, U. VOIGT, M. Modification of stretch tolerance in a stooping position. **Scandinavian Journal Medicine Science Sport**, v.14, p.239-244, 2004.

LEIGHTON, J. R. Manual of instruction for Leighton flexometer. **New York**, 1987.

LUSTOSA, L. P., SILVA, C. W. A., DE BRITO, J. P., CORDEIRO, R. V., & DA SILVA LEMOS, M. Goniometria e fleximetria: um estudo de confiabilidade e comparação das medidas nas articulações do cotovelo e joelho. **e-Scientia**, v. 1, n. 1, 2008

MICROSOFT, **Kinect Hardware**. Disponível em: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/hardware>. Acesso em: 18/04/16.

PETREÇA, D. R.; BENEDETTI, T. R. B.; SILVA, D. A. S. Validação do teste de flexibilidade da AAHPERD para idosos brasileiros. **Rev. bras. cineantropom. desempenho hum**, v. 13, n. 6, p. 455-460, 2011.

ROY, A.; K.; SONI, Y.; DUBEY, S. Enhancing effectiveness of motor rehabilitation using kinect motion sensing technology. In: **Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS), 2013 IEEE**. IEEE. p. 298-304, 2013

SANTOS, C. M. D., FERREIRA, G., MALACCO, P. L., SABINO, G. S., MORAES, G. F. Confiabilidade intra e interexaminadores e erro da medição no uso do goniômetro e inclinômetro digital. **Rev. bras. med. esporte**, v. 18, n. 1, p. 38-41, 2012.

SANTOS, J. D. M. D., OLIVEIRA, M. A. D., SILVEIRA, N. J. F. D., CARVALHO, S. D. S., & OLIVEIRA, A. G. Confiabilidade inter e intraexaminadores nas mensurações angulares por fotogrametria digital e goniometria. **Fisioterapia em Movimento**, p. 389-400, 2011.

SIMMONS, S., MCCRINDLE, R., SPERRIN, M., & SMITH, A. Prescription software for recovery and rehabilitation using Microsoft Kinect. In **Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2013 7th International Conference on** (pp. 323-326). IEEE. 2013.

SMILKSTEIN, T., BUENROSTRO, M., KENYON, A., LIENEMANN, M., & LARSON, G. Heart rate monitoring using Kinect and color amplification. **Healthcare Innovation Conference (HIC), 2014 IEEE**. IEEE. p. 60-62, 2014.

STONE, E. E.; SKUBIC, M. Evaluation of an inexpensive depth camera for passive in-home fall risk assessment. In: **Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011 5th International Conference on**. IEEE. p. 71-77, 2011

WU, H. Y.; RUBINSTEIN, M.; SHIH, E.; GUTTAG, J. V.; DURAND, F.; & FREEMAN, W. T. **Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world**. 2012.

APÊNDICE A – ARQUITETURA DO SISTEMA

DESCRIÇÃO - DIAGRAMA DE CLASSES

Contexto: NuSense Framework:

- IActivity – Interface responsável definição do comportamento das atividades associadas ao NuSense *Framework*;
- ISensor – Interface responsável pela definição do comportamento do sensor e do controle das atividades (classes que implementam IActivity);
- IOutput – Interface que define o comportamento da saída dos dados para o sistema;
- IStorage – Interface para determinar como a classe que armazena as informações se comporta;

Classe: Atividade – Classe abstrata que contém os métodos para a contagem do tempo e escolha do lado (direita ou esquerda), para realização do movimento, e assinatura dos métodos que calculam e classificam a angulação;

Classe: Abducao – Classe que define os métodos que calculam e classificam a angulação para a abdução;

Classe: Extensao – Classe que define os métodos que calculam e classificam a angulação para a extensão;

Classe: Hiperextensao – Classe que define os métodos que calculam e classificam a angulação para a hiperextensão;

Classe: RotacaoExterna – Classe que define os métodos que calculam e classificam a angulação para a rotação externa;

DESCRIÇÃO - DIAGRAMA DE ATIVIDADE

Diagrama com o fluxo da atividade 'Realizar a avaliação'.

DIAGRAMA DE CLASSES

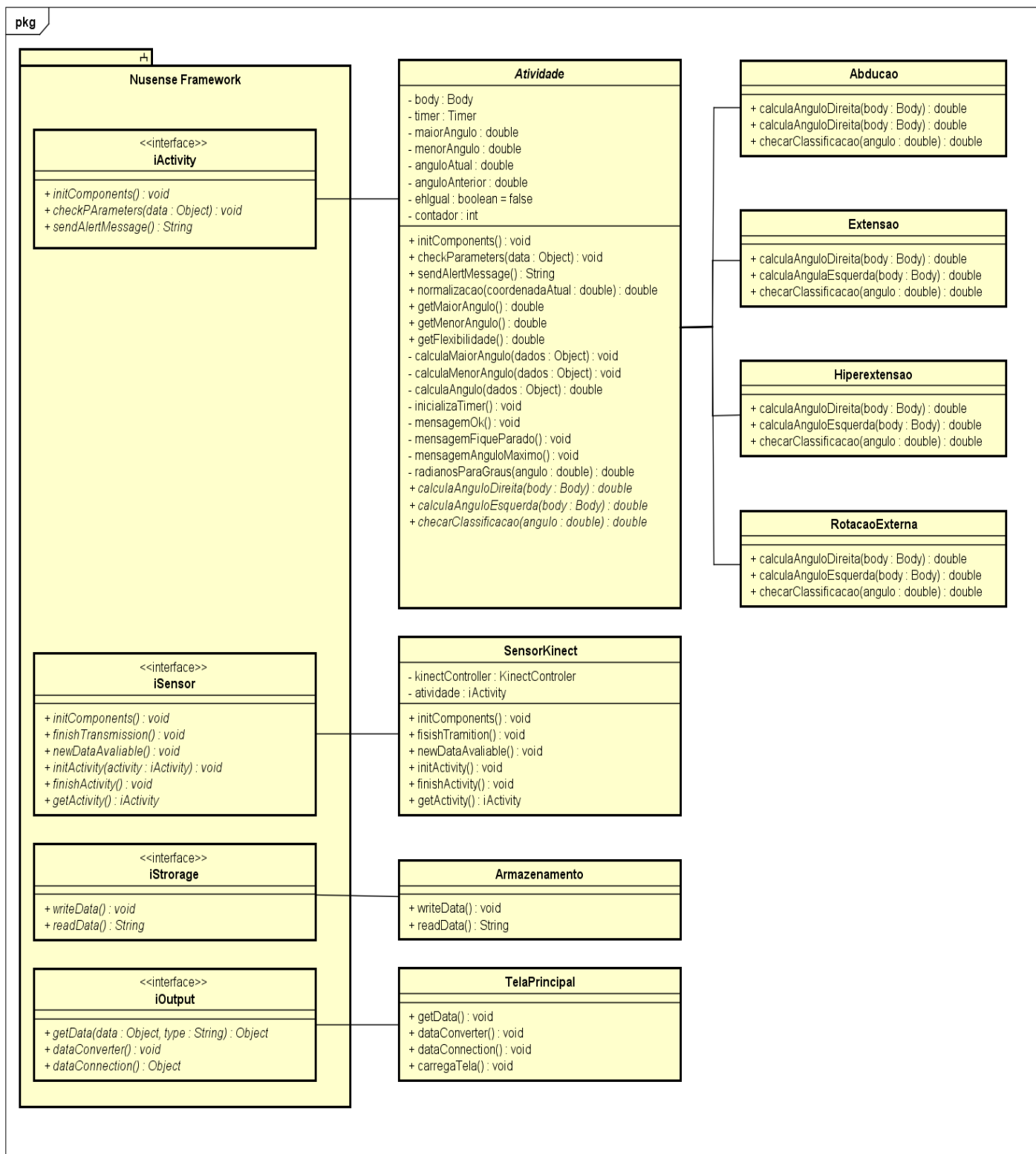
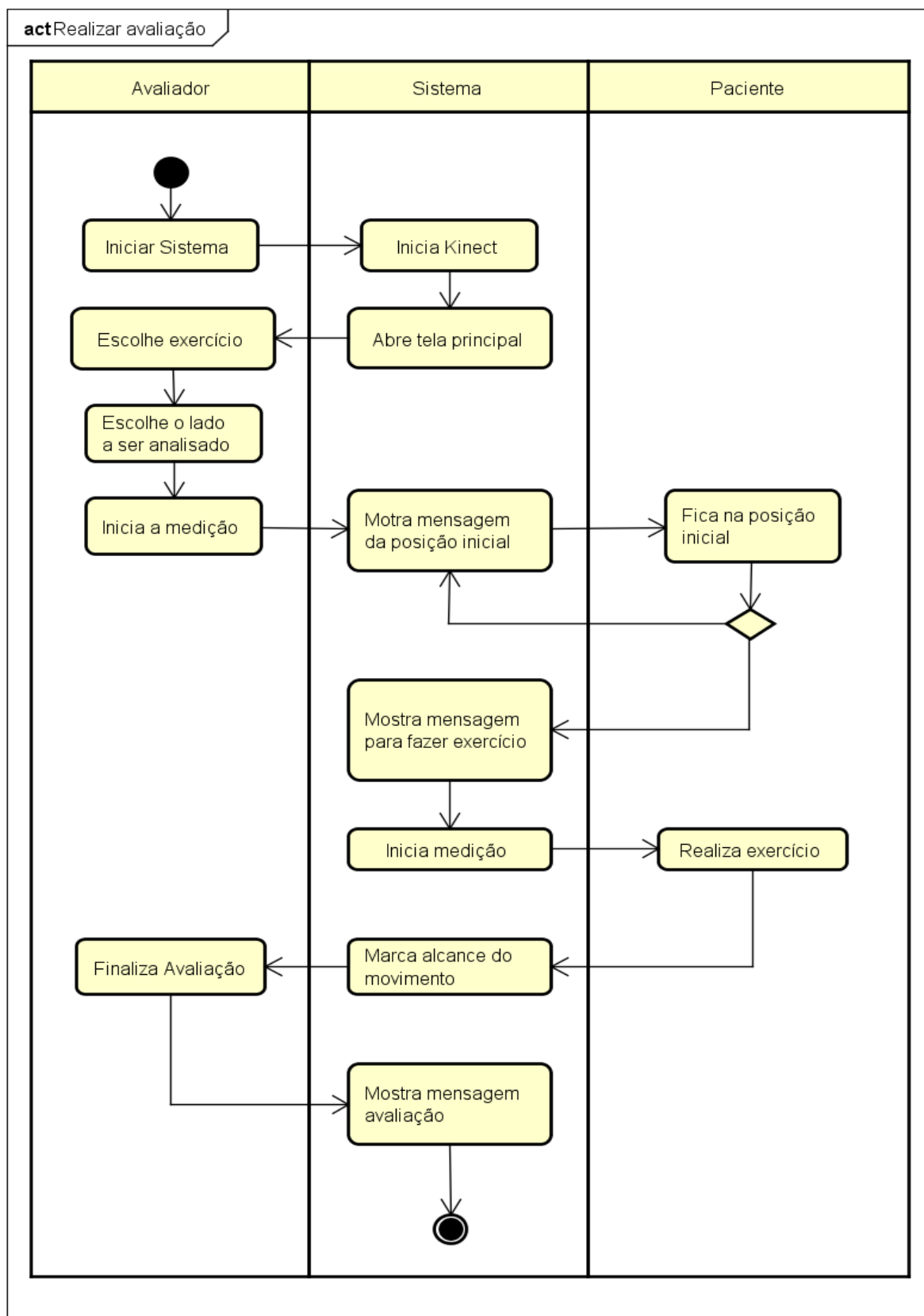


DIAGRAMA DE ATIVIDADE



APÊNDICE B – REQUISITOS DO SISTEMA

DEFINIÇÃO DE REQUISITOS DO FLEXINECT

- **Requisitos Funcionais (RF)**

[RF001] Calcular angulação para abdução.

O sistema deve calcular a angulação para o movimento de abdução, a partir dos pontos do esqueleto fornecido pelo Kinect.

[RF002] Calcular angulação para extensão.

O sistema deve calcular a angulação para o movimento de abdução, a partir dos pontos do esqueleto fornecido pelo Kinect.

[RF003] Calcular angulação para hiperextensão.

O sistema deve calcular a angulação para o movimento de abdução, a partir dos pontos do esqueleto fornecido pelo Kinect.

[RF004] Calcular angulação para rotação externa.

O sistema deve calcular a angulação para o movimento de abdução, a partir dos pontos do esqueleto fornecido pelo Kinect.

[RF005] Exibir a avaliação da flexibilidade

O sistema deve exibir a classificação da flexibilidade no fim da avaliação para cada movimento segundo a tabela de Leighton.

[RF006] Capturar a angulação inicial

O sistema deve capturar a angulação inicial no início da avaliação para cada movimento.

[RF007] Capturar a angulação máxima

O sistema deve capturar a angulação máxima após a captura da angulação inicial para cada movimento.

[RF008] Exibir mensagem para ficar parado 5 segundos

O sistema deve exibir uma mensagem para o usuário ficar parado por 5 segundos enquanto calcula a angulação inicial.

[RF009] Exibir mensagem de confirmação da captura da angulação inicial

O sistema deve exibir uma mensagem para o usuário que a angulação inicial foi capturada.

[RF010] Exibir mensagem realizar movimento

O sistema deve exibir uma mensagem para o usuário realizar o movimento selecionado logo após a mensagem de confirmação da captura da angulação inicial.

[RF011] Deixar visualização da câmera em tela cheia

O sistema deve exibir a imagem da câmera em cores de uma forma que ocupe a tela inteira.

[RF012] Exibir barra lateral com as funcionalidade

O sistema deve uma barra lateral contendo as informações e funcionalidades para que o avaliador possa escolhê-las.

- **Requisitos Não Funcionais (RNF)**

[RNF001] Utilizar o Microsoft Kinect 2.0

É necessário utilizar o Microsoft Kinect 2.0 para que o sistema funcione.

[RNF002] Conectar o Microsoft Kinect em uma USB 3.0

É necessário utilizar o Microsoft Kinect em uma USB 3.0 para que o sistema funcione.

[RNF003] Utilizar o sistema Windows 8.1 ou superior

É necessário executar o sistema no sistema operacional Windows 8.1 ou superior.