



PHYSIOVR: FERRAMENTA DE REALIDADE VIRTUAL APLICADO NA REABILITAÇÃO CARDIOVASCULAR

PHYSIOVR: Virtual Reality Tool Applied In Cardiovascular Rehabilitation

Rafael J. Chirolli¹; Francis Lopes Pacagnelli²; Ana Paula Coelho Figueira Freire²; Robson Augusto Siscoutto¹

¹Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE. Faculdade de Informática de Presidente Prudente, SP. ²Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Faculdade de Fisioterapia de Presidente Prudente, SP.

E-mail: rafael.jacomeli.c@gmail.com, francispacagnelli@unoeste.br, anapaulafreire@unoeste.br, robson@unoeste.br

RESUMO – As doenças cardiovasculares (DCV) são as principais causas de óbito no mundo e muitas pessoas que possuem DCV sobrevivem, tornando-se necessárias medidas de intervenção que sejam eficazes na reabilitação cardiovascular (RCV) destas. Este artigo apresenta a ferramenta computacional PHYSIOVR, que utiliza Realidade Virtual (RV), para auxiliar no tratamento de pacientes cardiopatas durante atividades físicas, usando ambientes virtuais 3D customizados, visando a melhoria na capacidade funcional e no envolvimento cognitivo. A ferramenta foi avaliada por um questionário de usabilidade obtendo média final de 4,6 de 5,0 pontos e em seguida, foi avaliada por fisioterapeutas, obtendo um nível de satisfação geral de $9,1 \pm 0,73$.

Palavras-chave: Doenças cardiovasculares, sistemas adaptativos, realidade virtual, Arduino.

ABSTRACT – Cardiovascular diseases (CVD) are the main causes of death in the world and many people who have CVD survive, making intervention measures necessary that are effective in their cardiovascular rehabilitation (CVR). This article presents the PHYSIOVR computational tool, which uses Virtual Reality (VR), to assist in the treatment of heart disease patients during physical activities, using customized 3D virtual environments, aiming to improve functional capacity and cognitive engagement. The tool was evaluated through a usability questionnaire, obtaining a final average of 4.6 out of 5.0 points, and then it was evaluated by physical therapists, obtaining an overall satisfaction level of 9.1 ± 0.73 .

Keywords: Cardiovascular diseases, adaptive systems, virtual reality, Arduino.

1. INTRODUÇÃO

A maioria das doenças cardiovasculares (DCV) pode ser prevenidas tratando-se os fatores de risco comportamentais, como uso de tabaco, dieta pouco saudável e obesidade, inatividade física e uso nocivo de álcool. As cardiopatias são a principal causa de óbito no mundo e estima-se que 17,9 milhões de pessoas morreram de DCV em 2019, representando 32% de todas as mortes globais, fato que aponta a importância e eficácia de intervenções cardiovasculares. Em 2000, por exemplo, os óbitos eram de 2 milhões de pessoas (WHO, 2020; WHO, 2021).

Pelo menos 20 milhões de pessoas sobrevivem às DCV a cada ano e continuam a depender de atenção clínica dispendiosa (OPAS, 2003). Desta forma, Piegas *et al.* (2009) afirma a necessidade de uma intervenção eficaz para prevenção das DCV, como programas de RCV adequados e tratamentos farmacológicos e cirúrgicos.

Estudos demonstram que intervenções que usam recursos tecnológicos, como sistemas adaptativos, Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA), têm sendo utilizados, mesmo que discretamente, em várias áreas da saúde e podem ter seu contexto expandido a tratamentos de várias enfermidades (Siscoutto; Costa, 2008). Alguns trabalhos correlatos empregam o uso destes recursos em estudos com pacientes acometidos de paralisia cerebral (Tavares *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2015; Zoccolillo *et al.*, 2015), fibrose cística (Holmes *et al.*, 2013), esquizofrenia (Kimhy *et al.*, 2015), doença de Parkinson (Vieira *et al.*, 2014), reabilitação de déficit motor (Balista, 2013), doenças cardíacas (Rodrigues *et al.*, 2015; Chuang *et al.*, 2005; Nelson *et al.*, 2015; Ruivo, 2014), dentre outras.

Portanto, a busca por soluções tecnológicas que possam auxiliar na melhora do estado cardiovascular em pacientes cardiopatas, visando minimizar seus problemas de saúde, devem ser consideradas e desenvolvidas. Além disso, soluções para o monitoramento cardíaco, em tempo real, que vise fornecer demandas fisiológicas em determinada atividade física é fundamental para esse tipo de paciente. Rodrigues *et al.* (2015) afirma a necessidade de se desenvolver estratégias para se obter dados que vise ajustar os programas de reabilitação com base na demanda cardiovascular do paciente, especialmente, para indivíduos com alto risco cardiovascular.

Diante disso, este artigo apresenta a PHYSIOVR, uma ferramenta computacional de realidade virtual, que visa auxiliar no tratamento de pacientes em RCV durante atividades físicas, usando ambientes virtuais tridimensionais, avatares e componentes eletrônicos para medição de batimentos cardíacos, em tempo real. Por meio desta, o fisioterapeuta cria uma sessão fisioterápica composta por um conjunto variado de movimentos (exercícios físicos) para aquecimento, aeróbico e relaxamento, simulados em realidade virtual em ambientes virtuais 3D (AV3D), configurados e customizados para cada paciente. Por meio do monitoramento cardiovascular, é ajustada a intensidade dos exercícios, automaticamente, com base nos valores obtidos do batimento cardíaco e os limites estipulados na estratificação de risco do paciente (com e sem exame), no cálculo da sua frequência cardíaca máxima desejada utilizando a fórmula de Karvonen e, durante sua sessão, é registrada a escala de esforço subjetiva de Borg (Noble *et al.*, 1983). Todas as informações geradas são armazenadas para análises, visando avaliar o estado clínico do paciente.

Dentre as principais contribuições e diferenças dos trabalhos relacionados, pode-se citar:

- Uma ferramenta para auxiliar em exercícios físicos aplicados na recuperação de pacientes cardiopatas na fisioterapia, usando Realidade Virtual;
- Um conjunto de movimentos (exercícios físicos) que podem ser customizados, em quantidade, intensidade e ordem pelo fisioterapeuta, guiados por um avatar dentro de um ambiente virtual tridimensional;
- um protótipo para monitorar os batimentos cardíacos, em tempo real, dos pacientes, visando a intervenção caso os batimentos ultrapassem os limites estipulados;

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 discute os trabalhos relacionados a esta pesquisa; a seção 3 apresenta a arquitetura da PHYSIOVR e os detalhes de sua implementação; a seção 4 mostra os testes aplicados e os resultados obtidos; a seção 5 apresenta as considerações finais e sugere trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

A revisão sistemática foi baseada em Kitchenham *et al.* (2009), sob os temas: Realidade Virtual na Fisioterapia e o Tratamento Fisioterapêutico para Recuperação Cardíaca (lógicas de busca (LB): LB1 “(((*physiotherapeutic treatment*) AND *physical exercise*) AND *virtual reality*)” e LB2 “(((*physiotherapeutic treatment*) AND *cardiac rehabilitation*) AND *cardiac intervention*)”. As lógicas foram aplicadas nas IEEE, ACM e Capes. Foram encontrados e triados 77 trabalhos, sendo eliminados os que não tinham conformidade com o tema e cinco trabalhos foram selecionados para estudo, os quais são apresentados a seguir.

Balista (2013) desenvolveu um projeto que objetivou estudar e aplicar metodologias utilizando games na área da saúde, com foco na fisioterapia, para poderem ser usados, não apenas como tratamentos de reabilitação que proporcionam maior aderência dos pacientes, mas como ferramentas de avaliação da evolução dos pacientes durante os tratamentos. Cada um dos games tratou um tipo específico de lesão corporal ou cerebral. Deste trabalho foi extraído ideias para criação dos ambientes virtuais com eficiência na interação de usuários, geração de gráficos para desempenho de cada paciente e em metodologias que

enfocam diferentes abordagens voltadas a um tratamento específico, no caso a reabilitação de déficit motor para diversos tipos de usuários.

Chuang *et al.* (2005) desenvolveram um estudo para determinar se a utilização da Realidade Virtual em pacientes que se submeteram à cirurgia de revascularização do miocárdio, poderia atingir, de forma mais eficaz, os resultados cardiopulmonares à longo prazo do que aqueles que não utilizaram a Realidade Virtual. Para realização do estudo, houve participação de 32 pacientes que realizaram a cirurgia de revascularização do miocárdio. Todos os participantes foram distribuídos de maneira aleatória entre o programa que utiliza Realidade Virtual e o que não utiliza. Os resultados do estudo enaltecem os benefícios da utilização de programas de reabilitação que incorporam Realidade Virtual para aumentar a recuperação da capacidade física dos pacientes, o que fortalece e impulsiona o nosso trabalho.

Nelson *et al.* (2015) examinaram o efeito que jogos podem causar na capacidade de exercícios funcionais em pessoas diagnosticadas com doenças cardíacas. O estudo se baseou em pré-teste/pós-teste experimental, que consiste de pessoas encaminhadas por cardiologistas/cirurgiões cardíacos. Cada pessoa realizou sessões de 40 minutos de exercício, utilizando o Nintendo Wii Fit Plus, três vezes por semana, durante seis semanas, onde considerou a distância percorrida em seis minutos. Essa distância foi medida antes e depois da intervenção ocorrer. Após sua conclusão, constatou-se que os procedimentos aplicados foram eficazes em aumentar a capacidade de exercício de pessoas com doença cardíaca e podem ser usadas para complementar outros modos de exercício. Este estudo contribuiu demonstrando os benefícios da utilização de um ambiente virtual, gerando um aumento na motivação e na capacidade de exercitação de cardiopatas.

Ruivo (2014) apresentou uma revisão sistemática conduzida para avaliar se jogos de vídeo ativos são eficazes na melhoria de vários parâmetros de saúde em adultos/idosos, que poderia ser útil na reabilitação cardiovascular. Com 134 estudos identificados, apenas 21 foram, finalmente, incluídos como ensaios que satisfazem os critérios exigidos. A maioria relatou intensidades de jogo que poderiam ser classificadas como atividades físicas leves ou moderadas. Foi constatado que a aplicação destes jogos gerou resultados similares ou superiores em relação aos tratamentos que não os utilizam. Ao final do estudo conclui-se que os dados sobre o impacto dos jogos de vídeo sobre a população que passa por RCV parecem inexistentes. No entanto, há resultados positivos o suficiente para acreditar que aplicações em ambientes interativos como os jogos podem revelar-se importantes para abordar as preocupações com a saúde e bem-estar dessa população.

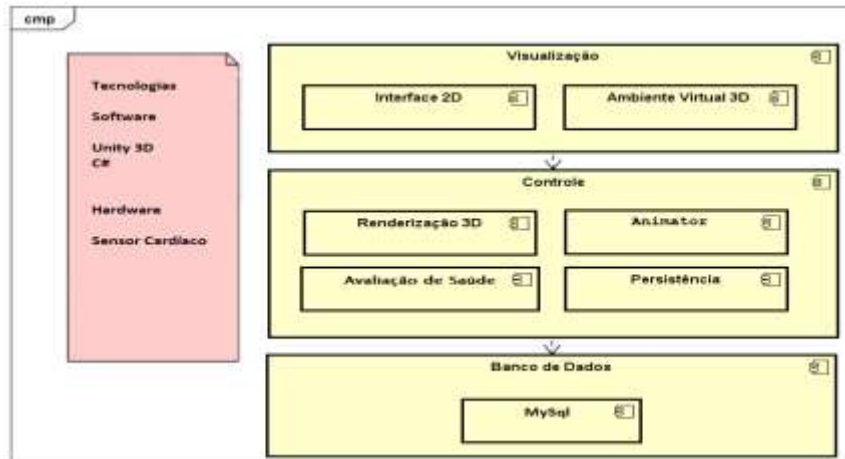
Por fim, Fialho *et al.* (2012) avaliaram efeitos de um programa de exercícios sobre a capacidade funcional de 18 pacientes (13 mulheres e 5 homens) com cardiopatia chagásica crônica, com idade entre 30 e 72 anos, atendidos nos ambulatórios do Instituto de Pesquisa Clínica Evandro Chagas e do Instituto Nacional de Cardiologia, na cidade do Rio de Janeiro. Os exercícios foram executados 3 vezes por semana, durante 1 hora (30 minutos de atividade aeróbica e 30 minutos de exercícios contra resistência e alongamentos). Este estudo contribuiu com o projeto, visto que seus resultados sugerem melhora significativa da capacidade funcional com a prática regular de exercícios na população amostral.

3. ARQUITETURA DA PHYSIOVR

A Figura 1 apresenta o diagrama de componentes da UML detalhando a arquitetura e organização dos módulos principais da PHYSIOVR, são eles:

- Módulo Visualização: responsável pela interação do usuário com a ferramenta, via interface 2D e ambientes virtuais 3D. Este módulo foi detalhado na seção 3.1;
- O módulo Controle é responsável por gerir as funções execução, animação e controle. A seção 3.2 apresenta maiores detalhes deste módulo.
- Módulo de Banco de Dados: por meio da persistência, armazena os dados gerados pelos cadastros básicos e do sensor de batimento cardíaco.

Figura 1. Arquitetura da PHYSIOVR.



Fonte: Os autores.

- Tecnologia de software para o desenvolvimento (interface, menus e ambientes virtuais) utilizada foi a engine Unity3D, linguagem de programação C# e banco de dados MySQL. Para o sensor cardíaco foi utilizado o Sensor de Frequência Cardíaca e Oximetria modelo MAX30100 e um Arduino Nano para captura e envio dos dados (detalhada na seção 3.3). Além disso, um usado computador Dell XPS 8920, com Windows 10, processador Intel i7, 16 GB de memória RAM, Placa de vídeo NVIDIA GTX 1070 e SSD de 256 GB.

3.1. Módulo de Visualização

Por meio da interface 2D, estão disponíveis as funcionalidades básicas para o cadastro de usuários (fisioterapeuta e pacientes), de tipo de doenças (Infarto agudo do miocárdio, Doença vascular periférica, etc.), de classes de movimentos/exercícios (Ombros, Pernas, Braços, etc.), dos movimentos/exercícios físicos associados às suas classes (agachamentos, polichinelos, flexões, Burpee, etc.) e da avaliação de estratificação de risco. Além de permitir a montagem e execução das sessões fisioterápicas para os pacientes, bem como, visualizar relatórios com os dados gerados nas sessões executadas. Outra função disponível é a configuração do sensor cardíaco, por onde o fisioterapeuta pode verificar e testar o funcionamento do sensor antes do uso.

Uma sessão fisioterápica é constituída pelo paciente, fisioterapeuta responsável e por três estágios de movimentos: aquecimento, aeróbico e relaxamento. Cada estágio pode conter um ou mais movimentos/exercícios pré-cadastrados na ferramenta (não é possível adicionar movimentos em tempo de execução). Cada movimento/exercício pode ser customizado com relação ao tempo de duração, intensidade e tempo de repouso (se necessário). A Figura 2a apresenta a interface onde são selecionados e configurados os exercícios físicos a serem utilizados em cada estágio e um avatar que simula o movimento.

Antes da execução da sessão, o fisioterapeuta deve calcular a Frequência máxima de Treino, pela fórmula de Karvonen, adicionar a pressão sanguínea e ativar ou desativar o sensor de batimento cardíaco. A ferramenta disponibiliza duas Interfaces, uma para o fisioterapeuta (Figura 2b), onde estão disponíveis os botões de controles (iniciar, parar e finalizar a sessão), os batimentos cardíacos, em tempo real, e o desejado para o paciente. É possível adicionar informações em tempo de execução, como a escala de esforço subjetiva de Borg do paciente, pressão sanguínea e saturação (lado direito da Figura 2b). Na segunda interface, a do paciente (Figura 2c), estão disponíveis apenas o ambiente virtual com avatar guia e o batimento cardíaco capturado do paciente (opcional). O paciente e o fisioterapeuta podem visualizar o tipo de exercício e o tempo de realização, bem como, acompanhar o avatar, que demonstra o exercício sendo realizado, para que este não se sinta sozinho e/ou desmotivado.

Figura 2. a) Interface para Seleção de Exercícios Físicos; *Interfaces* para renderização/execução da sessão: b) fisioterapeuta e c) Paciente.



Fonte: Os autores.

Por meio do monitoramento, em tempo real, a ferramenta ajusta a intensidade do exercício usando os batimentos cardíacos obtidos (BPM real – coração vermelho) e o desejado (BPM máximo desejado – coração azul) obtido pela fórmula de Karvonen: $FCT = x \cdot (FCM - FCRep) + FCRep$

Onde:

FCT = frequência cardíaca de treino;

x = % do esforço desejado;

FCM = frequência cardíaca máxima prevista;

FCRep = frequência cardíaca de repouso.

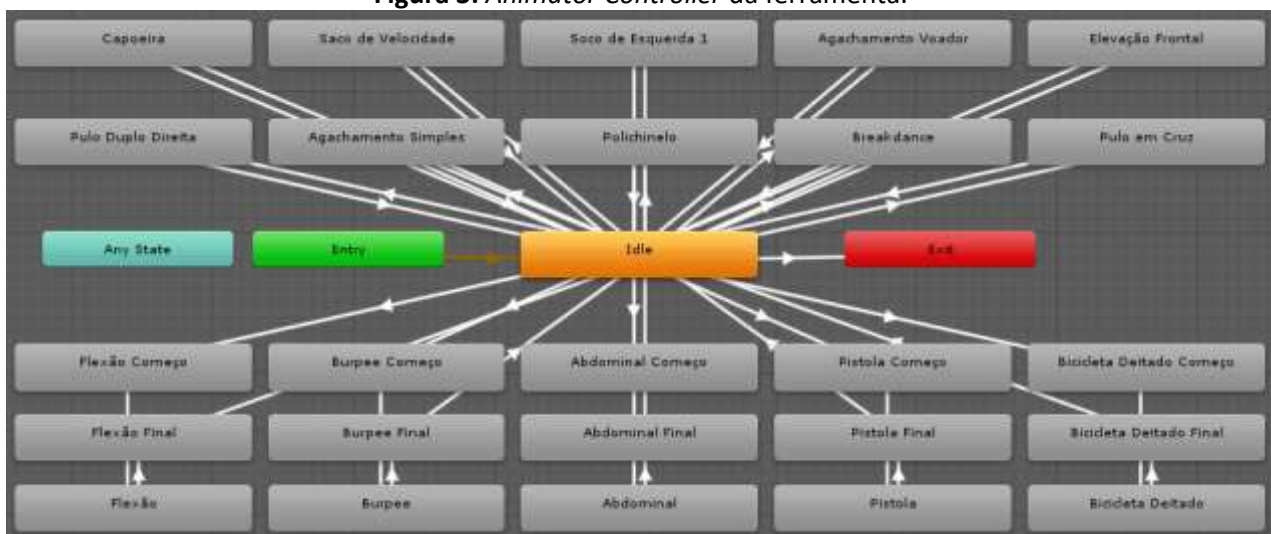
3.2. Módulo de Controle

Por meio Animator Controller (seção 3.2.1) do Unity é possível criar, controlar, misturar e realizar transições entre elementos de animação para um personagem ou objeto 3D (Unity 3D, 2018). O submódulo Avaliação de Saúde (seção 3.3.2) destaca a análise e classificação destes pacientes.

3.2.1. Animator Controller

Por meio deste submódulo foram disponibilizados quinze movimentos/exercícios pré-definidos para os fisioterapeutas utilizarem nas sessões fisioterapêuticas de seus pacientes. Na Figura 3, o elemento Idle é o principal ponto entre todas as animações/movimentos, pois as transições partem e voltam para este ponto; os movimentos acima do Idle possuem exercícios com apenas uma animação, enquanto, os abaixo, estão os que possuem pelo menos duas animações (como exemplo, o movimento de flexão, onde tem-se a animação inicial e a final).

Figura 3: Animator Controller da ferramenta.



Fonte: Os autores.

3.2.2. Avaliação de Saúde

Durante o cadastro do paciente é calculada e classificada (Baixo Risco, Risco Moderado e Alto Risco) a Estratificação de Risco cardiovascular (Pescatello *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2014). Na Estratificação de Risco com Exame, os pacientes possuem avaliação prévia e tem seu risco analisado marcando os indicadores apresentados a Figura 4. Na Estratificação de Risco sem Exame, os pacientes são classificados, por indicadores como histórico família, ser fumante, ter hipertensão, dislipidemia, glicose em jejum alterada, colesterol HDL alto, faltar de ar em repouso, síncope, ortopneia, edema nos tornozelos, dentre outros.

Figura 4: Estratificação de Risco com Exame.

Paciente de Baixo Risco	Paciente de Risco Moderado	Paciente de Alto Risco
<input type="checkbox"/> Após RM ou IAM sem complicações	<input checked="" type="checkbox"/> Capacidade funcional ao teste ergométrico: 5 - 6,9 mets	<input type="checkbox"/> Capacidade funcional ao teste de esforço \leq 5,0 mets
<input type="checkbox"/> Capacidade funcional ao teste ergométrico \geq 7,0 mets	<input checked="" type="checkbox"/> Angina ou infradesnivelamento do segmento ST ao exercício (até 2mm)	<input type="checkbox"/> Disfunção ventricular esquerda severa (fração de ejeção ao eco $<$ 30%)
<input type="checkbox"/> Assintomático em repouso, com capacidade adequada para maior parte das atividades vocacionais e recreativas	<input checked="" type="checkbox"/> Anormalidades de perfusão (isquemia transitória) ou de movimentação de parede com estresse	<input type="checkbox"/> Hipotensão induzida pelo exercício (queda da PAS \geq a 15mmHg)
<input type="checkbox"/> Ausência de isquemia, disfunção ventricular esquerda ou arritmias complexas	<input checked="" type="checkbox"/> Disfunção ventricular esquerda de leve a moderada. Fração de ejeção do VE = 35 - 49%	<input type="checkbox"/> Infradesnivelamento do segmento ST ao esforço ($>$ 2mm)
<input type="checkbox"/> Fração de ejeção do VE = 50%	<input checked="" type="checkbox"/> Ausência de ectopia ventricular complexas	<input type="checkbox"/> Persistência da isquemia após exercício
<input type="checkbox"/> Resposta adequada de PA em esforço		<input type="checkbox"/> IAM recente $<$ 6 meses complicado ou arritmia ventricular
		<input type="checkbox"/> Sobrevivente de parada cardíaca

Fonte: Os autores.

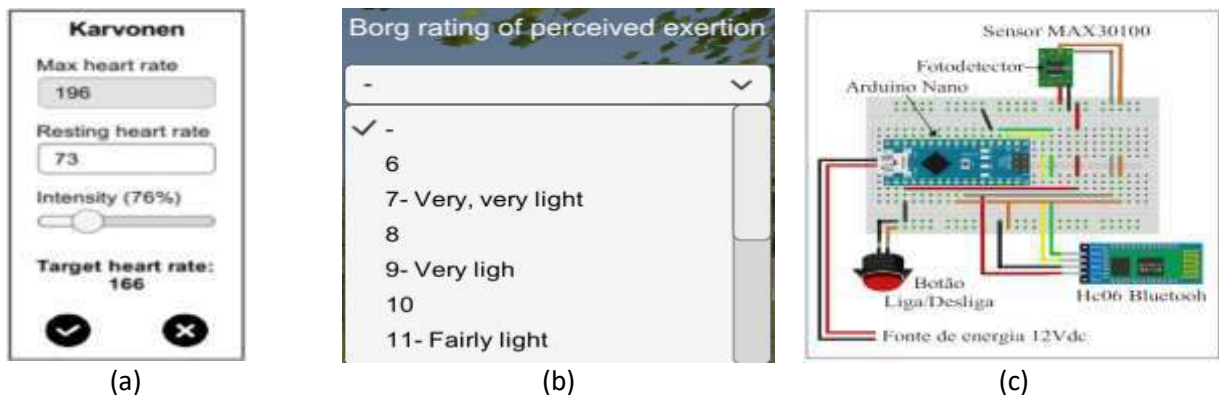
Antes de executar uma sessão para o paciente é aplicada a fórmula de Karvonen (Figura 5a), que visa calcular a Frequência máxima de Treino do paciente, sendo necessárias as seguintes informações: Frequência cardíaca máxima, Frequência cardíaca de repouso e a intensidade do exercício. A escala de Percepção Subjetiva ao Esforço de Borg classifica, subjetivamente, as sensações do paciente durante o exercício, como os níveis de condicionamento físico pessoais e os níveis de fadiga (Noble *et al.*, 1983). A Figura 5b apresenta parte da tabela utilizada para a Escala de Borg. Essa escala vai de 6 a 20, sendo a 6 a mais leve e a 20 a mais pesada.

3.3. Sensor de Batimento Cardíaco

O sensor de batimento cardíaco (Figura 5c) captura os batimentos cardíacos por minuto (BPM) e os envia, automaticamente, via comunicação wireless por bluetooth, para a ferramenta. Esta solução foi incorporada, em uma plataforma microcontrolada para o monitoramento (box de sensores), em tempo real, dos sinais vitais de pacientes (batimento cardíaco, pressão e respiração) usando sensores e Arduino. Maiores detalhes podem ser encontrados em Gonsalves e Siscoutto (2020).

Pelo monitoramento foi possível realizar intervenções, em tempo de execução, ao detectar irregularidades cardíacas, permitindo que o fisioterapeuta acompanhe, em tempo real, os batimentos cardíacos de pacientes cardiopatas que estão executando sessões fisioterapêuticas. Como apresentado na Figura 2b, os BPM são capturados e comparados com a frequência máxima de treino, caso haja divergências, é gerado um alerta para o fisioterapeuta e a intensidade do exercício é reduzida ou este pode ser interrompido.

Figura 5: a) Fórmula de *Karvonen*, b) Escala de percepção de esforço de Borg e c) Arquitetura do protótipo para detecção de sinais biológicos com sensor cardíaco.



Fonte: Os autores.

O protótipo possui um módulo Arduino Nano, um módulo HC-06 Bluetooth, para comunicação do Arduino com o computador a uma distância de até 10 metros, um Sensor cardíaco MAX 30100 que efetua a leitura das batidas do coração usando um sensor óptico que envia esses dados para o Arduino (sensor pletismográfico que efetua a detecção de alterações no volume de sangue, por meios ópticos, detectado pelo fototransistor).

4. TESTES E RESULTADOS

A PHYSIOVR foi avaliada a partir de um teste de usabilidade, realizado por pesquisadores da computação que desenvolveram a ferramenta, e por um teste para avaliar o nível de satisfação de fisioterapeutas frente à utilização da ferramenta realidade virtual (RV), realizado por profissionais pesquisadores da fisioterapia.

Um questionário de usabilidade utilizado foi baseado na avaliação heurística proposta por Nielsen (1993), aplicada com usuários experientes e não envolve o usuário final. Segundo a heurística, pequenos testes que envolvem, no máximo, cinco usuários permitem uma detecção de, aproximadamente, 75% dos problemas. A heurística foi adaptada para essa avaliação levou em consideração o objetivo, design, documentação, ajuda e satisfação do usuário. Para o teste, foi selecionada uma sala com notebooks, internet, o protótipo de sensor cardíaco e a PHYSIOVR. O teste foi aplicado para um conjunto de cinco avaliadores experientes, de ambos os sexos, entre mestre e doutores, com faixa etária que variou de 29-56 anos. Um moderador apresentou a aplicação por dez minutos, e posteriormente, os avaliadores experimentaram por vinte minutos. Depois da experiência, os avaliadores responderam ao questionário com quatorze questões, durante cinco minutos. A Tabela 1 apresenta as questões em conjunto com suas heurísticas e valores obtidos. Para as respostas foi adotada a escala Likert (1932), sendo, 1 - discordo totalmente, 2 - discordo, 3 - não concordo nem discordo, 4 - concordo, 5 - concordo totalmente. Todas as questões tiveram o mesmo peso.

Além da média das respostas, foi calculado o desvio padrão e o intervalo de confiança. Para o cálculo do intervalo de confiança, foram utilizados os seguintes parâmetros: nível de confiança de 95%, por ser uma média mais estreita e próxima da realidade, pois este fica no meio da curva entre 90% e 99% sendo a probabilidade do nível de confiança mais realística no espaço amostral. Além disso, o tamanho da amostra foi de cinco avaliadores para 14 questões (média geral). Com um nível de confiança de 95% pode-se afirmar que, em 95% dos experimentos, o intervalo calculado incluirá o valor verdadeiro da média populacional.

Tabela 1. Questionário pós-teste, com as perguntas, médias, desvios padrão e intervalo de confiança.

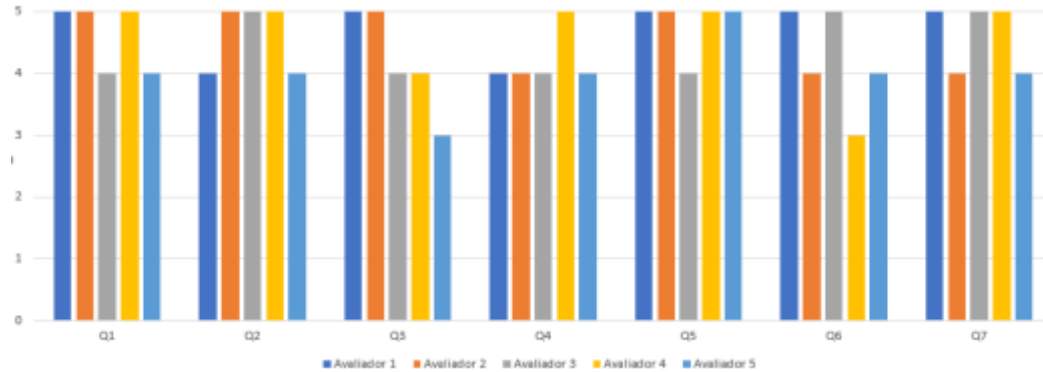
Questões e Heurística	Média Obtida	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança
1. Para mim, foi fácil entender como utilizar a aplicação e qual era o seu objetivo. Heurística: Facilidade de uso	4,6	0,55	[4,12; 5,08]
2. Quando existiam mensagens na aplicação, a linguagem era entendida facilmente. Heurística: Prevenção de erros	4,6	0,55	[4,12; 5,08]
3. A forma de interação, navegação e representação é compatível com o mundo real e/ou padronizados entre os usuários e outras aplicações. Heurística: Compatibilidade da ferramenta com o mundo real	4,2	0,84	[3,47; 4,93]
4. Em nenhum momento eu me senti perdido na aplicação, sem saber o que fazer. Heurística: Visibilidade do status da ferramenta	4,2	0,45	[3,81; 4,59]
5. O fato da interface possuir visualização 2D (<i>Interfaces</i>) e 3D (ambiente virtual) não gera confusão ao usuário. Heurística: Flexibilidade e Eficiência de Uso	4,8	0,45	[4,41; 5,19]
6. Os componentes (botões de interação, imagens, tabelas) foram posicionados de forma correta na aplicação. Heurística: Precisão	4,2	0,84	[3,47; 4,93]
7. Eu sempre executava as mesmas ações para acionar as mesmas funcionalidades. Heurística: Consistência e padrões	4,6	0,55	[4,12; 5,08]
8. Somente me foi apresentado na <i>interface</i> informações apropriadas, sem poluição visual. Heurística: Estética e <i>design</i> minimalista	4,8	0,45	[4,41; 5,19]
9. A Ferramenta disponibilizou um material de ajuda de uso. Heurística: Ajuda e Documentação	4,6	0,55	[4,12; 5,08]
10. A sessão de ajuda foi útil e fácil de entender. Heurística: Ajuda e Documentação	4,8	0,45	[4,41; 5,19]
11. O usuário tem liberdade/facilidade para navegar e interagir na aplicação como um todo. Heurística: Controle do usuário e liberdade	4,4	0,55	[3,92; 4,88]
12. A <i>interface</i> foi projetada de tal forma que o usuário consegue utilizar a aplicação de forma fácil, ou seja, exige pouco treinamento. Heurística: Reconhecimento ao invés de relembração	4,8	0,45	[4,41; 5,19]
13. Foi uma experiência bastante agradável utilizar a aplicação. Heurística: Satisfação	5,0	0,00	[5,00; 5,00]
14. Eu utilizaria novamente a aplicação, se fosse possível. Heurística: Satisfação	5,0	0,00	[5,00; 5,00]
Geral	4,6	0,47	[4,20; 5,03]

Fonte: Os autores.

A ferramenta atingiu a média total de 4,6 (de 0 a 5), o que se pode considerar um bom resultado. Os pontos de maior atenção foram os itens 3, 4 e 6, que tratam da forma como as informações estão dispostas e a localização desta na interface; isso acontece, pois, a maioria dos usuários participantes do

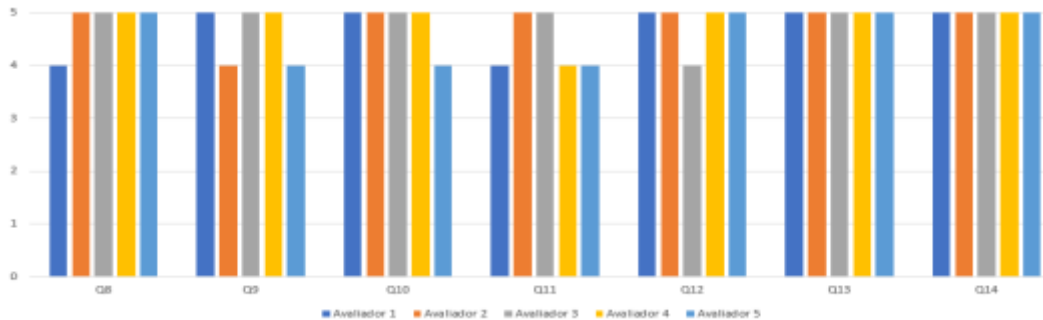
teste nunca utilizaram jogos de vídeo na área da saúde ou nunca utilizaram sistemas ou ferramentas de Realidade Virtual. Positivamente, os itens 13 e 14 receberam nota máxima, indicando que os usuários que participaram do teste tiveram uma boa experiência ao utilizar a ferramenta e utilizariam novamente, se fosse possível. Os gráficos 1 e 2 apresentam as respostas de cada avaliador para cada questão do teste de usabilidade da aplicação PHYSIOVR.

Gráfico 1. Respostas dos Avaliadores para Questões de 1 a 7.



Fonte: Os autores.

Gráfico 2. Respostas dos Avaliadores para Questões de 8 a 14.



Fonte: Os autores.

A média do desvio padrão geral foi de 0,47, sobre uma média geral de 4,2, indicando um valor significativo já que, quanto mais próximo de 0,0, significa que este resultado é homogêneo, uniforme e próximo de uma situação real. Para uma média geral de 4,6 e desvio padrão de 0,47, foi obtido um intervalo de confiança de [4,20; 5,03] com margem de erro de 0,15. Este intervalo de confiança médio, demonstra que, mesmo que façamos mais testes de usabilidades na ferramenta, a probabilidade de se encontrar a verdadeira média no intervalo de [4,20; 5,03] é de 95%, ou seja, há uma grande confiança da média da aplicação se manter alta, independentemente da quantidade de avaliadores e testes.

Para a realização do segundo teste (Nível de Satisfação), o projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e Comitê Assessor de Pesquisa Institucional (CAPI) e sendo realizado após a sua aprovação (CAAE: 28136820.9.0000.5515). Este teste quali-quantitativo está descrito em detalhes em Almeida *et al.* (2021). Neste teste, dez fisioterapeutas (sendo 60% com titulação de Doutor e 40% Mestres, a média de idade dos fisioterapeutas foi $42,7 \pm 11,14$ anos, com média de tempo de atuação $21,4 \pm 11,43$ anos) participaram realizando uma avaliação e se adaptando a ferramenta PHYSIOVR. Após a adaptação, os fisioterapeutas simularam uma sessão de fisioterapia fazendo uso em um acadêmico voluntário, e responderam um questionário quantitativo, criado pelos autores, com dez perguntas em relação à satisfação, atribuindo notas de 0 a 10 a cada item (0 nenhuma e 10 máxima satisfação). A Tabela 2 apresenta as perguntas e os resultados obtidos no Questionário quantitativo. A partir dos resultados, os fisioterapeutas apresentaram satisfação frente à RV. Os itens de melhor satisfação foram a compreensão e a colaboração do voluntário, e adesão do fisioterapeuta.

Tabela 2: Questionário quantitativo para análise de satisfação de fisioterapeutas após realização da sessão simulada com utilização de aplicativo de Realidade Virtual (RV).

Questões e Heurística	Média Obtida	Desvio Padrão
1- Facilidade para manuseio do aplicativo.	8,7	1,05
2- Compreensão do voluntário quanto à realização dos exercícios propostos.	9,7	0,67
3- Adesão e satisfação do fisioterapeuta com o uso de realidade virtual dentro da fisioterapia.	9,2	0,78
4 - Adesão e satisfação do voluntário frente ao uso de realidade virtual.	7,4	2,75
5- Infraestrutura para a realização da terapia com a realidade virtual.	8,4	3,23
6- Viabilidade de introduzir RV em sua prática clínica.	9,3	0,82
7- Demonstração dos exercícios pelo avatar do aplicativo.	8,1	1,85
8- Colaboração do voluntário na realização dos exercícios solicitados.	9,3	0,67
9- Desempenho do voluntário frente aos exercícios realizados.	8,6	0,96
10- Satisfação Geral	9,1	0,73

Fonte: Os autores.

Em seguida, os fisioterapeutas participaram de grupo focal para coleta de dados qualitativos. Um pesquisador com experiência prévia em análise qualitativa e que não teve contato com os fisioterapeutas durante as sessões, conduziu o grupo focal utilizando um guia de dez perguntas abertas elaboradas pelos pesquisadores do estudo (Tabela 3). O grupo focal foi gravado em áudio e posteriormente transcrito em verbatim (captura absolutamente todas as palavras na gravação de áudio e as inclui no texto final). A entrevista ocorreu por cerca de 30 minutos e os dados foram coletados até que nenhuma nova informação fosse adquirida (ponto de saturação). As transcrições das entrevistas foram analisadas por três pesquisadores independentes para identificar e classificar as categorias relacionadas à questão da pesquisa. Após análise inicial, todos os pesquisadores discutiram as diferenças nos resultados até chegar a um consenso (triangulação). Os resultados finais foram então enviados aos participantes fisioterapeutas para verificar se as descobertas realmente refletiram suas perspectivas e pontos de vista dos mesmos.

Tabela 3: Guia de questões para a entrevista destinada aos fisioterapeutas.

Questões e Heurística
1- Qual a sua visão sobre a terapia realizada com aplicativo de RV?
2- Na sua opinião ela é melhor, igual ou pior as sessões de exercício convencional?
3- Como foi a aceitação do voluntário frente ao uso do aplicativo de RV e na sessão convencional?
4- Teve dificuldade no manuseio do aplicativo de RV?
5- O voluntário teve facilidade na execução dos exercícios demonstrados no aplicativo de RV?
6- Houve alguma vantagem da utilização do aplicativo de RV para a realização da terapia?
7- Houve alguma desvantagem da utilização do aplicativo de RV para a realização da terapia?
8- Se fosse possível, continuaria utilizando a RV em suas condutas no dia a dia? Por quê?
9- Você indicaria o aplicativo utilizado nesse estudo para outros profissionais?
10- Tem alguma crítica ou sugestão sobre a o aplicativo de RV e sua utilização?

Fonte: Os autores.

A partir da análise qualitativa, os fisioterapeutas demonstraram satisfação em poder ter em mãos uma ferramenta de realidade virtual (RV) para uso nas práticas e como um recurso que acrescenta, positivamente, as sessões convencionais de fisioterapia, promovendo novos estímulos e motivação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a ferramenta PHYSIOVR e dois testes que avaliaram a usabilidade e o nível de satisfação de fisioterapeutas frente à utilização de um software de realidade virtual (RV).

Por meio da avaliação da Usabilidade foi possível verificar que todos os usuários concordam totalmente que foi uma experiência bastante agradável utilizar a ferramenta e a utilizariam novamente se tivessem oportunidade. Além disso, foi possível verificar algumas observações importantes:

- A escala de medida utilizada para se associar ao movimento é apenas o tempo, logo foi requisitada a possibilidade de se trabalhar com repetições;
- É necessária uma quantidade maior de movimentos para se poder trabalhar melhor com as sessões fisioterapêuticas; este tema será avaliado em um trabalho futuro;
- Uma possibilidade que não havia sido discutida no decorrer do projeto foi levantada: a possibilidade de criar sessões colaborativas, ou seja, que sejam associadas a mais de um paciente;
- Com base no experimento realizado é possível concluir que o método de avaliação de usabilidade específicos para RV proposto foi eficaz na detecção dos problemas de usabilidade. Além disso, o método mostrou-se relativamente fácil de aplicar e economicamente viável.

No segundo teste, o nível de satisfação, os fisioterapeutas apresentaram elevados níveis de satisfação frente a ferramenta, principalmente nos itens “compreensão e colaboração do voluntário e adesão do fisioterapeuta”.

Como trabalho futuro, pretende-se adaptar o PHYSIOVR para dar suporte ao tratamento de pacientes pertencentes a outras áreas para auxílio de reabilitação neurológica, reabilitação motora e reabilitação psicológica, referente a fobia e ansiedade; outra proposta é a utilização de um sensor de movimento, tipo o Kinect, para possibilitar a criação de novos movimentos para a ferramenta em tempo de execução, podendo estes serem criados pelos próprios fisioterapeutas ou outros profissionais responsáveis. Aplicar a ferramenta em pacientes cardiopatas e não só com voluntários (pesquisadores e fisioterapeutas).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. D. *et al.* Satisfação de fisioterapeutas frente à utilização de um *software* para reabilitação cardiopulmonar. *In: ENCONTRO NACIONAL E ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNOESTE.*, 2021, Presidente Prudente. **Anais [...]**. Presidente Prudente: Unoeste, 2021. p. 657-664

BALISTA, V. G. PhysioJoy: sistema de realidade virtual para avaliação e reabilitação de déficit motor. *In: WORKSHOP ON VIRTUAL, AUGMENTED REALITY AND GAMES*, 12., 2013, São Paulo. **Proceedings [...]**. São Paulo: SBC, 2013.

CHUANG, T. Y.; SUNG, W. H.; LIN, C. Y. *Application of a virtual reality-enhanced exercise protocol in patients after coronary bypass.* **Arch Phys Med Rehabil.**, v. 86, n. 10, p. 1929-1932, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.05.003>

FIALHO, P. H. *et al.* Efeitos de um programa de exercícios sobre a capacidade funcional de pacientes com cardiopatia chagásica crônica, avaliados por teste cardiopulmonar. **Rev. Soc. Bras. Med. Trop.**, v. 45, n. 2, p.220-224, 2012.

GONSALVES, A. S.; SISCOOTTO, R. A. Solução de Baixo Custo para o Monitoramento De Sinais Vitais, em Tempo Real, Fazendo Uso de Sensores e Arduino. **Revista Colloquium Exactarum.**, v. 12, n. 2, p. 102–118, 2020. <https://doi.org/10.5747/ce.2020.v12.n2.e322>

HOLMES, H. *et al.* Xbox Kinect™ represents high intensity exercise for adults with cystic fibrosis. **J Cyst Fibros.**, v. 12, n. 6, p. 604-608, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jcf.2013.05.005>

KIMHY, D. *et al.* Use of Active-play video games to enhance aerobic fitness in schizophrenia: feasibility, safety, and adherence. **Psychiatr Serv.**, v. 67, n. 2, p. 240-243, 2015. PubMed; PMID 26423100.

KITCHENHAM, B. *et al.* Systematic literature reviews in software engineering - a systematic literature review. *Inf. Softw. Technol.*, **Butterworth-Heinemann**, Newton, MA, v. 51, n. 1, p. 7–15, jan. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>

LIKERT, R. **A Technique for the Measurement of Attitudes**, no. 136-165 in *A Technique for the Measurement of Attitudes*, publisher not identified. 1932; Disponível em <https://books.google.com.br/books?id=9rotAAAAYAAJ>. Acesso em: 10 nov. 2020.

NELSON, G. A. *et al.* Wii Fit Plus Exercise Training for Persons With Cardiac Disease. **CardiopulmPhysTher J**, v. 26, p. 73–77, 2015. <https://doi.org/10.1097/CPT.0000000000000013>

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Boston: Academic Press, 1993. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-052029-2.50009-7>

NOBLE, B. J. *et al.* A category-ratio perceived exertion scale: relationship to blood and muscle lactates and heart rate. **Med SciSports Exerc**, v. 15, n. 6, p. 523-528, 1983. <https://doi.org/10.1249/00005768-198315060-00015>

- OPAS. **Doenças crônico-degenerativas e obesidade**: estratégia mundial sobre alimentação saudável, atividade física e saúde. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2003.
- PESCATELLO, L. S. *et al.* **Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição**. American College of Sports Medicine. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2014.
- PIEGAS, L. S. *et al.* IV Diretriz da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre Tratamento do Infarto agudo do Miocárdio com Supradesnível do Segmento ST. **Arq Bras Cardiol**, v. 93, n. 6, Supl.2, p. e179-e264, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2009000800003>
- RODRIGUES, G. A. *et al.* Acute cardiovascular responses while playing virtual games simulated by Nintendo Wii®. **J PhysTher Sci**, v. 27, n. 9, p. 2849-2851, 2015. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2849>
- RUIVO, J. A. Exergames and Cardiac Rehabilitation: a review. **J Cardio pulm Rehabil Prev.**, v. 34, p. 2-20, 2014. <https://doi.org/10.1097/HCR.000000000000037>
- SILVA, A. K. F. *et al.* Cardiac risk stratification in cardiac rehabilitation programs: a review of protocols. **Rev Bras Cir Cardiovasc**, v. 29, n. 2, p. 255-65, 2014.
- SILVA, R. R.; IWABE-MARCHESE, C. Using virtual reality for motor rehabilitation in a child with ataxic cerebral palsy: case report. **Fisioter. Pesqui.**, v. 22, n. 1, p. 97-102, 2015.
- SISCOOTTO, R. A.; COSTA, R. **Realidade virtual e aumentada**: uma abordagem tecnológica. São Paulo: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, Livro do Pré-Simpósio X Symposium on Virtual and Augmented Reality João Pessoa – PB, 2008. Disponível em: [https://www.academia.edu/39466116/Livro do Pr%C3%A9_Simp%C3%B3sio X Symposium on Virtual and Augmented Reality](https://www.academia.edu/39466116/Livro_do_Pr%C3%A9_Simp%C3%B3sio_X_Symposium_on_Virtual_and_Augmented_Reality). Acesso em: 4 jun. 2023.
- TAVARES, C. N. *et al.* Uso do Nintendo® Wii para reabilitação de crianças com paralisia cerebral: estudo de caso. **Rev Neurocienc.**, v. 21, n. 2, p. 286-293, 2013. <https://doi.org/10.4181/RNC.2013.21.763.8p>
- UNITY 3D **Unity User Manual (2018.1)**. Animator Component. Publication: 2018.1-002C. Built: 2018-05-18. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Animator.html>. Acesso em: 04 jun .2018.
- VIEIRA, G. P. *et al.* Virtual Reality in Physical Rehabilitation of Patients with Parkinson's disease. **Rev. bras. crescimento desenvolv. hum.**, v. 24, n. 1, p. 31-41, 2014.
- WHO. **Cardiovascular diseases** (CVDs). World Health Organization; 11 June 2021. Disponível em: [http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). Acesso em: 01 out 2021.
- WHO. **The top 10 causes of death** World Health Organization; 9 Dec 2020. Disponível em: <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. Acesso em: 01 jun. 2021.
- ZOCCOLILLO, L. *et al.* Video-game based therapy performed by children with cerebral palsy: a cross-over randomized controlled trial and a cross-sectional quantitative measure of physical activity. **Eur J PhysRehabil Med.**, v. 51, n. 6, p. 669-576, 2015.