

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

MATEUS BISOTTO NUNES

**Running Wheel: proposta e análise de  
um exergame motivacional para corrida**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do grau de Mestre em Ciência  
da Computação

Prof. Dr. Valter Roesler  
Orientador

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Nedel  
Coorientadora

Porto Alegre, abril de 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Vladimir Pinheiro do Nascimento

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Luís da Cunha Lamb

Coordenador do PPGC: Prof. Luigi Carro

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

## CIP - Catalogação na Publicação

Bisotto Nunes, Mateus

Running Wheel: proposta e análise de um exergame motivacional para corrida / Mateus Bisotto Nunes. -- 2014.

129 f.

Orientador: Valter Roesler.  
Coorientadora: Luciana Nedel.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. exergame. 2. motivação. 3. competição versus cooperação. 4. realidade virtual. I. Roesler, Valter, orient. II. Nedel, Luciana, coorient. III. Título.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional durante meus estudos sem o qual não poderia desenvolver essa pesquisa e concluir com sucesso esse curso de Mestrado.

Aos professores orientadores Luciana Nedel e Valter Roesler pelos incansáveis esforços investidos. Com sua experiência, paciência e determinação possibilitaram a conclusão desse trabalho. Agradeço pelo tempo despendido nas reuniões e conversas de orientação. Aos funcionários e técnicos administrativos por toda a colaboração durante a condução dos testes.

A todos aqueles, colegas, professores, amigos e amigas que contribuíram de alguma forma com esta pesquisa através de sugestões, dicas e idéias diversas.

Aos participantes voluntários dos testes que investiram seu tempo e disposição e possibilitaram que importantes resultados fossem colhidos desta pesquisa.

A Deus, por tudo, muito obrigado.



# RESUMO

O panorama populacional do Brasil mostra um quadro de crescimento significativo nas taxas de sobrepeso e obesidade na infância e juventude. Essa realidade deve levar ao aumento da incidência de casos de doenças e, por consequência, ao aumento dos gastos públicos com saúde nos próximos anos.

Diante dessa perspectiva, exergames - classe de jogos que buscam unir a diversão de jogos eletrônicos à promoção da saúde através da prática de atividades físicas - podem trazer uma contribuição significativa à sociedade. Entretanto, é necessário identificar a melhor forma de motivar as pessoas e definir as funcionalidades que favorecem o estímulo no ambiente do jogo.

Este trabalho introduz o Running Wheel, um exergame de caminhada ou corrida em esteira ergométrica, com modos de jogo single player e multiplayer, nas versões competitivo (contra um adversário) e colaborativo (corrida em grupo cooperativo). O jogo captura a velocidade da esteira e o ritmo cardíaco do jogador. A exibição é feita em um monitor instalado à frente da esteira.

O sistema descrito foi implementado e uma metodologia desenvolvida para avaliação de duas hipóteses: a) existe diferença de desempenho entre os participantes que utilizam o Running Wheel no modo competitivo daqueles que experimentam o modo single player; e b) diferentes tipos de parceiros virtuais influenciam o desempenho, ou seja, correr contra si mesmo, contra alguém melhor, ou a livre escolha de um adversário de uma lista, pode levar a resultados distintos.

Foram realizados experimentos com 12 voluntários ao longo de seis sessões de corrida, com 12 minutos de duração cada uma. As avaliações revelaram preferência dos participantes pelo modo multiplayer competitivo (10 usuários) sendo que a principal característica motivacional apontada foi o avatar (5 participantes), seguido do ambiente virtual (4 participantes). Os usuários do modo competitivo demonstraram um nível de esforço significativamente superior ao daqueles do modo single player, também confirmado por um ritmo cardíaco em média 5,9% maior, indicando que o modo competitivo teve uma capacidade de estímulo maior. As diferenças de distância e tipos de avatares, no entanto, não foram estatisticamente significantes, o que deverá ser investigado em pesquisas futuras.

Os resultados evidenciaram a capacidade do exergame mudar a percepção dos usuários. Mesmo pessoas que inicialmente afirmaram não serem competitivas mudaram seu comportamento após a intervenção. Trabalhos futuros devem investigar o modo colaborativo em comparação com os outros modos, levando-se em conta aspectos de personalização do jogo como escolha das mensagens, e uso de avatares mais realistas.

Outras áreas de interesse incluem métodos de geração de cenários baseados em locais públicos, e renderização de múltiplos avatares, simulando uma maratona virtual com mais competidores.

**Palavras-chaves:** exergame. motivação. competição versus cooperação. realidade virtual.



## **ABSTRACT**

Developing countries like Brazil are witnessing important changes on demographics with increasing rates of overweight and obese children and young adults. These trends may lead to an increase of diseases, which in turn can cause an impact on public funds of health and social security.

Considering this picture, exergames - class of games that combine health promotion to video games and thus fun - may bring an important contribution to change society. However, it's necessary to acknowledge the main ways and features of stimulus that can be leveraged in this class of application, to promote a better incentive on the virtual gaming environment.

In this work we introduce Running Wheel, an exergame with single player and multiplayer (competitive or collaborative) modes with real time capture of heartbeat rhythm and speed of a treadmill.

The Running Wheel system is described and a methodology for its evaluation is presented, investigating two hypotheses: (a) there is difference between users that ran with the competitive mode versus the single player mode; and (b) there is difference in performance depending on the kind of competitor picked (three virtual competitors were tested: against oneself, against a better player or free selection from a list).

We evaluated Running Wheel with 12 volunteers which performed at least 6 jogging sessions of 12 minutes each, following Cooper's Fitness Test. Ten users preferred the competitive mode over the single player and reported the main source of motivation being the avatar (5 participants) followed by the virtual environment (4 participants). Volunteers of the competitive mode showed a superior level of effort with a heart beat rhythm 5.9% above when compared to those exercising on single player. However we did not find statistically significant differences of distance or among the different kinds of participants which should be addressed on a future research.

Results confirmed that this exergame could change users' behavior on competitiveness. Even volunteers that initially reported not being competitive at all had this perception changed after experimenting Running Wheel. Future works should investigate the collaborative mode against other modes and personalization features such as customized goals and incentive messages, more realistic avatars based on player's physical appearance and scenarios modeled from real locations.

**Key-words:** exergame. motivation. competition versus collaboration. virtual reality.



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Distribuição nutricional nas cinco regiões do Brasil . . . . .	23
Figura 2.1 – À esquerda: jogadora se exercitando em uma bicicleta ergométrica assistida do Atari Puffer; e à direita: visão geral do Atari Puffer . . . . .	30
Figura 2.2 – À esquerda o arcade Dance Dance Revolution, onde duas pessoas podem jogar ao mesmo tempo; e à direita, captura de tela do jogo em modo <i>single player</i> . . . . .	32
Figura 2.3 – Controles do Nintendo Wii: a) Wiimote em três pontos de vista: lateral, frontal e posterior; e b) Balance Board . . . . .	33
Figura 2.4 – Dispositivo Microsoft Kinect, à esquerda. À direita, um casal jogando o Kinect Sports . . . . .	33
Figura 2.5 – Exergames para Nintendo Wii: à esquerda uma cena do simulador We Ski, e à direita uma jogadora se exercitando num jogo de equilíbrio . . . . .	34
Figura 2.6 – Gráficos do Nike+: à esquerda, histórico de corrida com a distância alcançada em gráfico de barras; à direita, visão detalhada do desempenho em uma sessão	39
Figura 2.7 – Elementos motivacionais do Nike+: na parte superior, sete níveis de experiência, conforme o total de quilômetros acumulado nas sessões; na parte inferior, troféus de recordes, outorgados ao completar metas . . . . .	40
Figura 2.8 – Mapa da cidade de Porto Alegre com principais locais de corrida, à esquerda, e em detalhe no centro. À direita, criação e configuração de desafios . . . . .	40
Figura 2.9 – Socialização no Nike+: são mostrados os troféus, as marcas atingidas e o desempenho dos contatos agregados à rede social do Nike+ . . . . .	41
Figura 2.10–Time jogando Swan Boat (direita) e imagem do jogo (esquerda) . . . . .	44
Figura 2.11–Na imagem à esquerda, jogadora se exercitando na bicicleta ergométrica com o Cybercycling e à direita captura de tela com múltiplos jogadores . . . . .	45
Figura 3.1 – À esquerda, cenário com construções, vegetação e outros elementos visuais. À direita, jogo com avatar, mensagem de texto motivacional e mostradores de desempenho. . . . .	51
Figura 3.2 – Tela do modo <i>multiplayer</i> competitivo com mostradores de desempenho do usuário (canto inferior esquerdo), avatar e informações do adversário (canto inferior direito) e mensagem motivacional personalizada com o nome do jogador. . . . .	54
Figura 3.3 – Esquemático do Running Wheel com os sistemas de captura de dados, e controle e visualização, e seus subsistemas . . . . .	57

Figura 4.1 – À esquerda, modelo conceitual do sistema: esteira ergométrica, sensores de velocidade e frequência cardíaca, e PC para processamento e geração do ambiente virtual; à direita, Running Wheel em funcionamento . . . . .	61
Figura 4.2 – Diagrama esquemático do sistema Running Wheel com seus principais componentes e conexões lógicas e físicas . . . . .	62
Figura 4.3 – Visão lateral e superior do circuito montado em uma protoboard conectada ao Arduino. . . . .	63
Figura 4.4 – a) placa de captura do ritmo cardíaco dentro de uma caixa de proteção (com régua milimetrada para escala); b) ímã, sensor Hall US1881 e LED 5mm (para comparação de tamanho) e régua para escala . . . . .	64
Figura 4.5 – Diagrama esquemático do circuito. Entradas: sensor Hall (J1, 3 pinos) e monitor cardíaco Polar SEN-08661 (J2, 4 pinos). Saídas: sinais Data, SCL e SDA, conectados no Arduino. . . . .	65
Figura 4.6 – Programa <i>Arduino Communication</i> , que realiza a comunicação com o Arduino e com o módulo de controle e visualização . . . . .	66
Figura 4.7 – <i>Controller Proxy</i> , principal programa de configuração e controle do Running Wheel . . . . .	67
Figura 4.8 – Diagrama de classes com os principais componentes implementados no sistema de controle . . . . .	69
Figura 4.9 – Diagrama ER do banco de dados . . . . .	70
Figura 4.10–Visão do sistema Web: à esquerda, página de criação de sessões; e à direita, seleção de um avatar feminino . . . . .	71
Figura 4.11–Visão do sistema Web, página de visualização do ranking dos jogadores . . . . .	72
Figura 4.12–Modelos de avatares femininos e masculinos disponíveis para seleção . . . . .	73
Figura 4.13–À esquerda, jogo no modo <i>multiplayer</i> competitivo. À direita, jogo no modo <i>single player</i> . . . . .	73
Figura 5.1 – Imagem enviada por e-mail para alunos, funcionários e professores da UFRGS, convidando-os à participação no experimento . . . . .	79
Figura 5.2 – Imagem de dois voluntários se exercitando com o Running Wheel e captura de tela do Running Wheel, em detalhe . . . . .	81
Figura 6.1 – Visitante participando do teste preliminar do Running Wheel . . . . .	84
Figura 6.2 – Distância (em azul), frequência (em vermelho) e tempo de duração (em verde), praticados pelos voluntários, em média, nas suas atividades regulares . . . . .	86
Figura 6.3 – À esquerda, principais características apontadas como fonte de motivação: avatar (indicada como a mais importante por 5 participantes), ambiente virtual (4) e outros (3); à direita, o modo de jogo preferido entre os usuários: competitivo (preferido por 10 participantes) e <i>single player</i> (2) . . . . .	87
Figura 6.4 – Avaliações do modo <i>single player</i> (azul, $\bar{x} = 3,76$ ) e competitivo (vermelho, $\bar{x} = 3,93$ ) do quão motivacional eles foram percebidos . . . . .	87

Figura 6.5 – Competitividade aferida na primeira sessão (azul, $\bar{x} = 2,46$ ) e após experimentar o modo competitivo (vermelho, $\bar{x} = 3,64$ ) . . . . .	88
Figura 6.6 – À esquerda, médias de batimentos cardíacos (bpm); à direita, médias de distância (em metros), de todas as sessões dos modos competitivo e <i>single player</i> . . . . .	88
Figura 6.7 – Médias de velocidade (km/h), de todas as sessões dos modos competitivo e <i>single player</i> . . . . .	89



# LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Classificação de adultos segundo o IMC. . . . .	22
Tabela 2.1 – Resultados da avaliação de seis exergames . . . . .	36
Tabela 2.2 – Sumário de resultados da aplicação do exergame Cybercycle em 102 idosos após 3 meses . . . . .	46
Tabela 3.1 – Principais artefatos definidos no sistema Running Wheel para motivação no modo <i>single player</i> , segundo as características da SDT . . . . .	53
Tabela 3.2 – Principais artefatos definidos no sistema Running Wheel para motivação no modo competitivo, segundo as características da SDT . . . . .	55
Tabela 3.3 – Principais artefatos definidos no sistema Running Wheel para motivação no modo colaborativo, segundo as características da SDT . . . . .	56
Tabela 4.1 – Análise dos sensores considerados para detecção da velocidade da esteira . .	63
Tabela 5.1 – Escala de Borg . . . . .	76
Tabela 5.2 – Teste de Cooper para homens . . . . .	77
Tabela 5.3 – Teste de Cooper para mulheres . . . . .	77
Tabela 5.4 – Configuração do experimento. Lista dos modos analisados em cada sessão: Baseline (BL), <i>single player</i> (SP), Competitivo contra si mesmo (CS), Competitivo adversário imediatamente acima (AA) e Livre Escolha (LE) . . . .	80
Tabela 6.1 – Especificação do hardware utilizado na avaliação do Running Wheel . . . .	82
Tabela 6.2 – Resultados da análise de desempenho feita através de três amostragens para cada modo de jogo . . . . .	83
Tabela 6.3 – Impressões dos voluntários sobre o Running Wheel e suas principais características . . . . .	91



# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ACSM	American College of Sports Medicine
ATP	Adenosina Trifosfato
AVC	Acidente Vascular Cerebral
BDNF	Brain-Derived Neurotrophic Factor
BPM	Batimentos por minutos
DDR	Dance Dance Revolution
DEC	Digital Equipment Corporation
DLL	Dynamic-link library
ER	Entidade-Relacionamento
FPS	First Person Shooter
FPS	Frames per Second
GE	General Electric Company
GPS	Global Positioning System
HP	Hewlett-Packard Company
HUD	Heads-Up Display
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IMC	Índice de Massa Corporal
LAN	Local Area Network
LBG	Location-Based Game
LCD	Liquid-Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode

MPH	Milhas por hora
OMS	Organização Mundial da Saúde
PC	Personal Computer
PET	Positron emission tomography
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor
PIB	Produto Interno Bruto
ROM	Read-only Memory
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SQL	Structured Query Language
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TCP	Transmission Control Protocol
UDK	Unreal Development Kit
UDP	User Datagram Protocol
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UML	Unified Modeling Language
USB	Universal Serial Bus
VGA	Video Graphics Array
XML	Extensible Markup Language

# SUMÁRIO

	<b>Resumo</b> . . . . .	<b>5</b>
	<b>Abstract</b> . . . . .	<b>7</b>
	<b>Lista de ilustrações</b> . . . . .	<b>9</b>
	<b>Lista de tabelas</b> . . . . .	<b>13</b>
	<b>Lista de abreviaturas e siglas</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>Introdução</b> . . . . .	<b>21</b>
1.1	Panorama populacional . . . . .	21
1.2	Motivação . . . . .	24
1.3	Hipóteses e contribuição do trabalho . . . . .	25
1.4	Organização do texto . . . . .	26
<b>2</b>	<b>Trabalhos relacionados</b> . . . . .	<b>27</b>
2.1	Jogos sérios . . . . .	27
2.2	Exergames . . . . .	30
2.2.1	Dance Dance Revolution . . . . .	36
2.2.2	Nike+ . . . . .	38
2.2.3	Kukini . . . . .	41
2.2.4	Swan Boat . . . . .	43
2.2.5	Cybercycling . . . . .	44
2.3	Comentários finais . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Detalhamento do Running Wheel</b> . . . . .	<b>49</b>
3.1	Conceito de motivação . . . . .	49
3.2	Visão geral do jogo . . . . .	50
3.2.1	Modo <i>single player</i> . . . . .	52
3.2.2	Modo competitivo . . . . .	52
3.2.3	Modo colaborativo . . . . .	55
3.3	Arquitetura do Running Wheel . . . . .	57
3.3.1	Módulo de captura de dados . . . . .	57
3.3.2	Módulo de controle e visualização . . . . .	58
<b>4</b>	<b>Implementação</b> . . . . .	<b>60</b>
4.1	Visão geral . . . . .	60
4.2	Captura de dados . . . . .	62
4.3	Sistema de controle . . . . .	65

4.3.1	Web e banco de dados . . . . .	68
4.4	Sistema de visualização . . . . .	71
<b>5</b>	<b>Metodologia de avaliação . . . . .</b>	<b>74</b>
5.1	Métricas . . . . .	74
5.1.1	Eficácia do exercício . . . . .	75
5.1.2	Atratividade e incentivo . . . . .	76
5.2	Variáveis . . . . .	78
5.3	Participantes . . . . .	78
5.4	Cenários de testes e procedimentos . . . . .	78
<b>6</b>	<b>Resultados . . . . .</b>	<b>82</b>
6.1	Sistema Running Wheel . . . . .	82
6.1.1	Avaliação do sistema . . . . .	83
6.1.2	Teste preliminar . . . . .	83
6.2	Avaliação com usuários . . . . .	85
6.2.1	Avaliação objetiva . . . . .	85
6.2.2	Avaliação subjetiva . . . . .	89
6.3	Discussão . . . . .	93
<b>7</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>96</b>
7.1	Trabalhos futuros . . . . .	97
7.2	Contribuição da pesquisa: trabalhos produzidos . . . . .	98
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>99</b>
	 <b>Apêndices</b>	 <b>105</b>
	<b>APÊNDICE A – Questionário de anamnese . . . . .</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICE B – Questionário <i>baseline</i> . . . . .</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE C – Questionário <i>single player</i> . . . . .</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE D – Questionário <i>single player</i> final . . . . .</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE E – Questionário <i>multiplayer</i> competitivo . . . . .</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE F – Questionário <i>multiplayer</i> competitivo final . . . . .</b>	<b>118</b>
	<b>APÊNDICE G – Termo de consentimento livre e esclarecido . . . . .</b>	<b>122</b>
	<b>APÊNDICE H – Motivating People to Perform Better in Exergames: Collaboration vs. Competition in Virtual Environments . . . . .</b>	<b>123</b>

<b>APÊNDICE I – Motivating People to Perform Better in Exergames: Competition in Virtual Environments . . . . .</b>	<b>125</b>
---	------------



# 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de microprocessadores mais velozes e menores, nas últimas décadas, favoreceu a criação de aplicações para diversas áreas, entre elas a computação gráfica, onde nasceria a indústria de entretenimento digital, através de jogos que surgiram, transformando o computador em um dispositivo capaz de prover horas de distração e divertimento.

Os jogos, antes restritos a computadores ou consoles isolados ganharam, durante a década de 80, a capacidade de se conectar com outros dispositivos remotos, inicialmente através de interfaces proprietárias e, em seguida, em redes locais e finalmente utilizando a Internet.

Se antes os jogos eram disputados entre alguns poucos competidores, limitados a um espaço físico, com a popularização da Internet tornou-se possível entrar em partidas com dezenas ou até centenas de pessoas, de diversas partes do mundo, as quais seguiam um conjunto único de regras sociais da realidade virtual compartilhada entre seus participantes (DONOVAN, 2010). Os aspectos sociais que surgiram nestes jogos mudaram a forma como este tipo de aplicação seria visto, conforme estudo de Ducheneaut e Moore (2005) sobre a importância social dos jogos eletrônicos.

A indústria de diversão eletrônica consolidou-se como o maior faturamento na área de entretenimento, com faturamento de cerca de US\$ 63 bilhões em 2012, evidenciando sua relevante contribuição econômica, e ainda com perspectiva de expansão nos próximos anos (NAYAK, 2013).

Por outro lado, do ponto de vista populacional os indicadores demonstram que devido às menores taxas de natalidade e aumento da expectativa de vida temos uma população envelhecendo. Esse fato leva a impactos no sistema de saúde e previdência, onde faz-se necessário otimizar os recursos alocados especialmente através de ações preventivas e de promoção de hábitos saudáveis (FRIES et al., 1993). Junto a isso, órgãos de saúde registram aumento nos casos de doenças que poderiam ser evitadas como por exemplo aquelas causadas pelo sedentarismo e obesidade, geralmente relacionadas ao sistema cardiovascular.

## 1.1 Panorama populacional

A obesidade é definida como o acúmulo de gordura acima do normal, com comprometimento importante na qualidade e quantidade de vida. Quando o consumo de energia excede o gasto energético, o excesso de energia ingerida é armazenada no tecido adiposo. Esse mecanismo permitiu aos primeiros humanos armazenar energia que sobrava em tempos de fartura, para utilizar em épocas de escassez de alimentos, já que as moléculas de gordura são altamente

energéticas (MENDONÇA; ANJOS, 2004).

Uma maneira comum de determinar se um indivíduo é obeso é determinar o seu IMC<sup>1</sup> e compará-lo com tabelas padronizadas. A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera que um índice de 18,50 até 25 como peso normal, e acima de 25 como sobrepeso, classificando como obesidade índices acima de 30 (ver Tabela 1.1 para classificação completa).

É importante observar entretanto, que o IMC não calcula objetivamente a gordura corporal nem sua distribuição corporal (alta concentração de gordura abdominal é mais preocupante do que gordura distribuída em todo o corpo), já que o índice não faz diferenciação entre o peso associado com tecido muscular daquele associado com tecido adiposo. Da mesma forma populações de diferentes etnias podem ter constituições corporais bastante diversas, o que também é válido para gênero (mulheres apresentam mais gordura do que homens de mesmo IMC) e faixa etária (idosos apresentam IMC maior que jovens).

Tabela 1.1 – Classificação de adultos segundo o IMC.

Classificação	IMC	Risco de comorbidades
Abaixo do peso	<18,50	Baixo (porém o risco de outros problemas clínicos é elevado)
Saudável	18,50 a 24,99	Médio
Sobrepeso	≥25,00	
Pré-obeso	25,00 a 29,99	Moderado
Obeso	≥30,00	
Obesidade grau I	30,00 a 34,99	Elevado
Obesidade grau II	35,00 a 39,99	Severo
Obesidade grau III	≥40	Muito severo

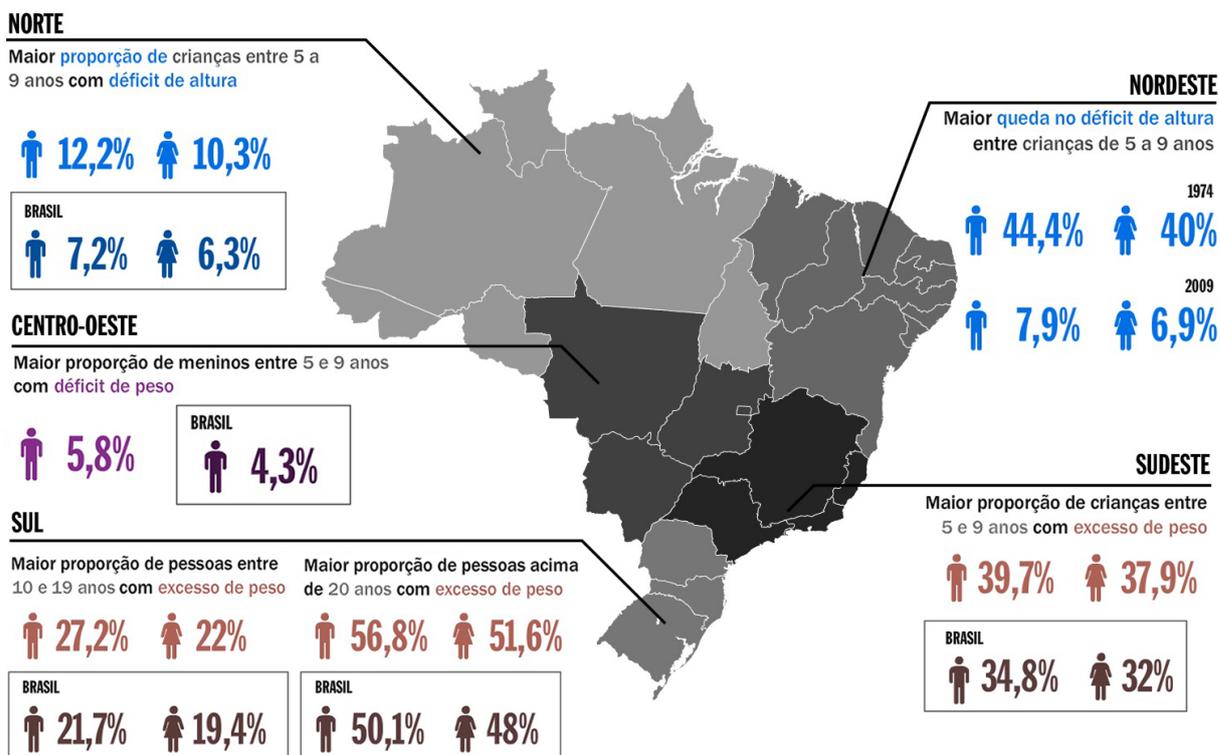
Fonte: WHO (2000, p. 9).

O IMC alto aparece em pesquisas populacionais como altamente correlacionado a outras comorbidades (doenças crônicas associadas à obesidade), ou seja, a partir de determinado limiar há prevalência de outros problemas de saúde, além da própria obesidade. Pesquisas sugerem o aumento das taxas de obesidade como um fenômeno “epidêmico global” (POPKIN; DOAK, 1998, p. 106), e que vem aumentando, segundo o Relatório Técnico da OMS sobre o tema, “em níveis alarmantes” tanto em países desenvolvidos como nos em desenvolvimento (WHO, 2000, p. 16). Observações de longo prazo indicam que entre 1980 e 2008 a prevalência de obesidade praticamente dobrou (WHO, 2012).

O estudo de Popkin e Doak (1998) afirma que mesmo sendo o ganho de peso uma tendência mundial, países mais pobres ou em desenvolvimento apresentam taxas de obesidade tão ou mais altas do que aquelas presentes em países desenvolvidos, o que corrobora a tese de que fatores

<sup>1</sup> Índice de Massa Corporal ou Índice Quetelet, criado pelo cientista belga Adolphe Quetelet em 1850. É calculado pela razão do peso (em quilogramas) pelo quadrado da altura (em metros), resultando em um valor kg/m<sup>2</sup>, sendo um indicador para análise por profissionais da saúde.

Figura 1.1 – Distribuição nutricional nas cinco regiões do Brasil



Fonte: IBGE (2010 apud SOARES; RITTO, 2010)

de mudança de hábitos de vida podem estar relacionados ao aumento de peso. A situação no continente americano é emblemática uma vez que apresenta as maiores taxas de sobrepeso (62%) e obesidade (26%) entre todas as regiões geográficas pesquisadas (WHO, 2012, p. 36).

Mesmo no Brasil, onde já existiram taxas significativas de subnutrição infantil, houve mudança nos últimos 30 anos, com inversão desta tendência e sua quase inexistência nos dias atuais, dando lugar no entanto, ao sobrepeso e obesidade nos jovens com mais de 18 anos (BATISTA; RISSIN, 2003). Dados da Pesquisa de Orçamento Familiar, levantado pelo IBGE entre 2008 e 2009, indicam que uma em cada três crianças entre 5 e 9 anos apresentavam excesso de peso em 2009, e no caso de jovens de 10 a 19 anos a taxa de sobrepeso passou de 3,7% (1974-1975) para 21,7% (2008-2009).

Considerando a população adulta com mais de 20 anos, o quadro de sobrepeso atinge mais da metade dos homens (destes 12,4% obesos), e 48% das mulheres (sendo que 16,9% apresentam obesidade) (IBGE, 2010). A Figura 1.1 traz a um mapa com a distribuição do índice de obesidade, onde pode-se observar que a região Sul é a que possui maior proporção de habitantes, acima de 10 anos, com excesso de peso.

A obesidade representa uma séria ameaça à saúde pois, conforme visto na Tabela 1.1, está

associada ao aumento de risco de doenças, com prevalência de problemas cardíacos, hipertensão<sup>2</sup>, diabetes (HILL; PETERS, 1998).

Entre o grupo de doenças mais preocupantes está a insuficiência cardíaca devido principalmente à sua alta taxa de letalidade. Indivíduos com IMC alto têm o dobro de chances de apresentarem esta doença do que aqueles que tem IMC normal (KENCHAIAH et al., 2002). A causa deste aumento do risco deve-se a outras doenças como diabetes, hipertensão e dislipidemia<sup>3</sup> que são precursoras do infarto agudo do miocárdio, que pode levar à insuficiência cardíaca.

Pode-se perceber, portanto, que as enfermidades aparecem frequentemente associadas a outras doenças, e quando somadas agravam o quadro de saúde dos indivíduos. Além das doenças cardíacas, a hipertensão pode ser causa do Acidente Vascular Cerebral (LEE; FOLSOM; BLAIR, 2003).

## 1.2 Motivação

O estudo do panorama populacional do Brasil evidencia que nas últimas décadas houve mudanças importantes na questão nutricional. O Brasil passou, nos últimos 30 anos, de um país com altas taxas de subnutrição para um com problemas preocupantes de sobrepeso e obesidade, atingindo boa parte da população (BATISTA; RISSIN, 2003).

Uma forma de combater o quadro epidêmico de obesidade na população jovem e garantir aos idosos uma melhor qualidade de vida, é o estímulo à realização de exercícios regularmente, dentro de patamares adequados (POPKIN; DOAK, 1998). O hábito de praticar exercícios traz diversos benefícios como a significativa redução da incidência de obesidade e doenças relacionadas (KENCHAIAH et al., 2002).

Um dos fatores apontados para o aumento da obesidade é o sedentarismo (LANNINGHAM-FOSTER et al., 2006), e vídeo games são comumente referidos como culpados (SALMON et al., 2005). No entanto, é necessário reconhecer que há jogos com propósitos sérios como os utilizados em treinamentos, ou mesmo na área da saúde. Dentro da classe de jogos sérios (também chamados *serious games*) existem aqueles projetados para motivar o exercício.

Uma das principais razões para a pesquisa de jogos como incentivo à atividade física (*exergames*) é justamente o crescimento das taxas de jovens com problemas de sobrepeso e obesidade (SINCLAIR; HINGSTON; MASEK, 2007) por múltiplas causas, e em virtude das suas consequências à saúde. Entre as causas apontadas estão as mudanças no estilo de vida, como: urbanização, mecanização e menor gasto calórico no trabalho, ampla disponibilidade de ativida-

<sup>2</sup> Hipertensão arterial ou pressão alta é definida por um nível de pressão arterial acima de 140 por 90 mmHg, observada ao longo de múltiplas amostragens. Quando não tratada está associada a infarto agudo do miocárdio, insuficiência cardíaca, AVC (Acidente Vascular Cerebral), e insuficiência renal.

<sup>3</sup> Doença caracterizada por níveis anormais de lipídios e lipoproteínas no sangue, associada sendo a aterosclerose (perda de elasticidade das artérias com formação de placas que podem causar seu entupimento).

des sedentárias (tais como TV, computador e vídeo games) e a cultura do *fast food*, com dietas de alta densidade energética (TUCKER; BURANAPIN, 2001).

Baranowski et al. (2008) investigaram a influência dos jogos na área da saúde e concluíram que, de fato, muitos desses sistemas tem potencial para trazer mudanças positivas à saúde dos seus usuários. Entretanto, uma consideração levantada corresponde a melhor forma de estimular os jogadores a alcançarem os níveis de esforço mínimos necessários. A definição da melhor forma de motivação em um *exergame* compreende o estudo da percepção do usuário em relação aos diferentes modos de jogo (i.e. *single player* ou *multiplayer*), aos aspectos competitivos e colaborativos de cada modo, características objetivas como a coleta e visualização de sinais fisiológicos, mensagens de incentivo, entre outras.

### 1.3 Hipóteses e contribuição do trabalho

Uma das formas de motivação mais comuns é a competição. Tentar ultrapassar, chegar antes ou fazer melhor ou mais rápido alguma atividade são fatores de incentivos para muitas pessoas. Estabelece-se um objetivo em outrem e se tenta superar essa marca.

A competição no mundo real emerge de diferentes formas e, curiosamente, nem sempre requer duas pessoas. É possível que alguém seja automotivado a alcançar um resultado (e.g. alguém se esforçando para correr maior distância ou mais rápido do que na véspera). Entretanto, essa motivação também pode vir de outra pessoa realizando uma tarefa similar. Neste caso, o parceiro “correto” é importante para o melhor incentivo, haja visto um corredor amador geralmente não se motivaria tanto a correr contra um atleta profissional competidor de maratonas, assim como, ao contrário, este atleta também não teria grande incentivo em competir contra um novato.

Considerando essas questões, torna-se relevante buscar um modo de jogo mais motivador. Além disso, deve ser levado em conta que tipo de competidor resulta em maior estímulo pois, como exemplificado anteriormente, essa variável pode impactar o desempenho de um usuário.

As principais hipóteses verificadas neste trabalho são:

- **H1: existe diferença de desempenho entre as pessoas que utilizam um modo competitivo de jogo e aquelas que utilizam o modo *single player*;**
- **H2: o desempenho do usuário depende do tipo de competidor virtual escolhido, ou seja, correr contra si mesmo, contra alguém melhor classificado, ou a livre escolha de um adversário a partir de uma lista de concorrentes, pode levar a resultados distintos.**

As contribuições desta pesquisa envolvem as seguintes áreas: exergames, sistemas motivacionais para atividade física, influência da competição e colaboração em sistemas de incentivo para

exercício, análise das vantagens e desvantagens das funcionalidades de cada modo, sob o ponto de vista conceitual e de implementação.

A pesquisa tem por objetivo possibilitar o desenvolvimento de exergames mais eficazes, priorizando a integração de características de estímulo ao exercício em curto e longo prazo. A investigação se dá pela compreensão do mecanismo de incentivo despertado pela experiência do jogo, quantificação e estudo das diferenças de desempenho dos praticantes de corrida ou caminhada e também pela análise das avaliações dos usuários que experimentaram o sistema.

Por fim, o trabalho de implementação é disponibilizado como base para outras pesquisas na área de exergames, com investigação de outras propostas, como por exemplo: computação gráfica (algoritmos de geração e renderização de cenários, avatares realistas, posicionamento de câmeras, entre outras); redes de computadores (conexão com participantes remotos com diferentes dispositivos e integração de protocolos diversos como por exemplo os utilizados por sistemas comerciais como Nike+ e Garmin Connect, escalabilidade da arquitetura, entre outras); sugeridas no capítulo 7.

## **1.4 Organização do texto**

Esse trabalho está organizado da seguinte maneira: no capítulo 2 serão apresentados trabalhos acadêmicos e produtos comerciais que se relacionam com o tema desta pesquisa; o capítulo 3 aborda a definição do sistema proposto, sua arquitetura e os conceitos básicos de seu desenvolvimento; no capítulo 4 é detalhada sua implementação, decisões de projetos e a forma de desenvolvimento. O capítulo 5 apresenta como foi feita avaliação do sistema, a metodologia empregada, as hipóteses investigadas e os cenários de teste; o capítulo 6 relata e discute os resultados obtidos; e, finalmente, o capítulo 7 traz as considerações sobre os resultados encontrados, discussões sobre tópicos para futuros estudos, e também os artigos produzidos a partir dessa pesquisa.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

A expansão da indústria de jogos motivou a criação de títulos mais imersivos e com maior realismo, incentivando o desenvolvimento de diversos tipos de controle como: volantes e pedais para jogos de corrida de automóveis, manches similares aos encontrados em aviões, luvas eletrônicas tanto para entrada de gestos quanto para resposta tátil, e também a coleta de dados do jogador através de sensores biométricos.

Esses dispositivos de interação viabilizaram a criação de uma nova classe de jogos que envolve a prática de atividades físicas (exergames). Essa classe passou a ser conhecida pelos benefícios que poderia trazer à saúde de seus usuários, ao contrário dos tradicionais jogos sedentários.

Este capítulo está organizado da seguinte maneira. A seção 2.1 introduz jogos sérios e apresenta exemplos de aplicação com jogos para a saúde, a seção 2.2 explica o conceito de *exergame* e apresenta as vantagens da adoção desse tipo de jogo; as subseções desta parte apresentam pesquisas que servem de base ou relacionam-se ao tema desta proposta. A seção 2.3 sumariza os trabalhos relacionados e conclui com uma análise geral e de pontos específicos, com considerações pró e contra cada exergame descrito neste capítulo.

### 2.1 Jogos sérios

Um jogo sério, ou *serious game*, pode ser definido como um jogo “mais do que divertido” (GOBEL et al., 2010, p. 1). O termo jogo sério parece ser paradoxal, já que em geral tomamos um jogo como uma atividade com pouca utilidade além de passar o tempo ou propiciar uma diversão efêmera. Assim, uma definição complementar é um “jogo em que a educação (em suas várias formas) é o objetivo principal, antes do entretenimento”, ou seja, podemos concluir que, na área da computação, é uma aplicação do tipo jogo, com regras e modo de jogar conhecidos e que tenha, como propósito principal algo além do entretenimento, a educação do usuário (MICHAEL; CHEN, 2005, p. 17).

As grandes áreas de pesquisa e desenvolvimento de serious games são: militar, governamental, educacional, corporativa empresarial e de saúde, com aplicações que variam de treinamento para tarefas complexas, simulação realista de ambientes, educação e informação, melhoria de desempenho em esportes para atletas, aplicativos na área de saúde e jogos estratégicos militares (GOBEL et al., 2010).

A capacidade destes jogos sérios em educar está no fato de trazerem os desafios do aprendizado da forma que os jogos tradicionais o fazem, ou seja, de uma forma cativante e divertida, que, apesar de difícil num primeiro momento, se torna motivador com o passar do tempo.

Jogos diferem fundamentalmente da maioria das aplicações comuns pelo modo como usam recursos visuais, textuais e sonoros, para motivar o usuário em desafios constantes para dar resposta às ações e definir metas, além de serem fáceis de usar. Trabalhos apontam que jogos sérios podem gerar mudanças positivas no comportamento, com implicações significativas na área de medicina preventiva (WATTERS et al., 2006).

Jogos que estimulam hábitos saudáveis como boa dieta e prática de exercícios físicos, podem trazer a seus jogadores benefícios muito mais profundos do que horas de lazer. O trabalho de Baranowski et al. (2008) avaliou 27 artigos sobre 25 jogos na área de saúde, encontrando mudanças positivas nos pacientes na maior parte dos relatos. Pacientes que sofriam com diabetes e doenças relacionadas a alimentação, utilizaram jogos que buscavam orientar e ensinar as propriedades nutricionais dos alimentos, sendo observada uma redução no número de internações e uso de cuidados médicos de emergência por causa disto. Pacientes em tratamento contra o câncer também participaram, com um jogo específico em que se podia atirar nos agentes carcinogênicos na corrente sanguínea, fazendo analogia ao efeito da medicação quimioterápica. A pesquisa apontou maior tolerância dos pacientes ao tratamento após 3 meses utilizando o jogo.

Jogos para a saúde abordam questões específicas de doenças, atuando na prevenção, controle e tratamento. Doenças crônicas como asma e diabetes necessitam de cuidados constantes por parte dos pacientes. Um dos fatores para boa saúde de pacientes com doenças crônicas, com longo tempo de tratamento, é a observância constante da rotina de tratamento, mesmo quando os sintomas da enfermidade não estão sendo percebidos. O objetivo de jogos sérios na área de saúde é que, assim como o que acontece com jogos convencionais, os usuários também se dediquem e motivem durante longos períodos, auxiliando os pacientes a monitorar e controlar suas próprias doenças.

A asma é caracterizada por uma inflamação das vias aéreas, atacando o sistema respiratório e causando crises de falta de ar. Devido a seu caráter persistente, é necessário que o paciente controle e conheça seu estado. O serious game chamado *Watch, Discover, Think, and Act* foi desenvolvido para ensinar pacientes a lidar com a asma, adaptando o perfil do jogador ao prontuário clínico do paciente, ou seja, à gravidade de seu caso, ao seu gênero e idade. Um estudo feito com essa aplicação em crianças de seis a dezessete anos demonstrou uma redução no número de internações, melhora dos sintomas, aumento da capacidade funcional, maior conhecimento sobre a doença e melhora no autocontrole da asma (MICHAEL; CHEN, 2005).

Outra doença crônica importante e que tem recebido atenção é a diabetes, se caracterizando pelo aumento do nível de glicose no sangue, podendo ser causada pela insuficiência de insulina ou pela falta de resposta metabólica à insulina disponível. Um jogo foi criado especialmente para crianças e adolescentes que sofriam com diabetes. Chamado *Packie & Marlon* (1995), em referência aos dois personagens principais, era um jogo de aventura em terceira pessoa, em que o jogador controlava dois elefantes diabéticos em busca de suprimentos médicos e alimentação. O jogador tinha que se lembrar periodicamente de tomar insulina e verificar o nível de glicose no

sangue. O título esteve disponível para Windows 95 e *console* Nintendo SNES. Estudos clínicos realizados em 1999, durante 6 meses, com 60 crianças, mostraram que aquelas que jogaram *Packie & Marlon* eram quatro vezes menos propensas a visitas urgentes ao hospital, quando comparadas com outras crianças (MICHAEL; CHEN, 2005).

Já mais recentemente, em 2005, um acessório para o vídeo game portátil Nintendo GameBoy, chamado *Glucoboy*, permitia ao usuário controlar a medida de glicose, habilitando o download de conteúdos para o dispositivo.

Outra aplicação recente de um serious game na área da saúde, foi com o jogo *Punching Ducks*, criado para reabilitação de pessoas que sofreram AVC. Uma das consequências do AVC pode ser a perda ou mesmo severa limitação das funções motoras dos membros superiores, devido às lesões causadas em células nervosas cerebrais. A recuperação de pacientes com esse quadro é realizada através de exercícios físicos, que buscam criar novas conexões neuronais e musculares através de movimentos específicos repetidos dezenas ou centenas de vezes.

Dukes et al. (2013) desenvolveram um serious game para motivar os pacientes a seguirem as rotinas de exercício de reabilitação prescritas por um fisioterapeuta. Os exercícios consistiam em acertar socos em patos virtuais, à moda dos jogos de tiro ao alvo encontrados em parques de diversões. O sistema utilizava o sensor Kinect para captura do corpo e percepção dos movimentos do jogador e um televisor com o jogo *Punching Ducks*. O fisioterapeuta ajustava o jogo para apresentar alvos dentro da capacidade de alcance de cada paciente e um esquema de pontuação foi criado para cada alvo. Os resultados da aplicação mostraram-se promissores. Os usuários do sistema levaram menos tempo, ou seja, menor número total de sessões, para alcançar os mesmos patamares de movimentação dos pacientes que não se exercitaram com o jogo, utilizando o método tradicional.

A pervasividade da utilização de características de jogos como ferramenta de incentivo, em diferentes áreas, é chamada de *gamificação* (do inglês *gamification*). Conforme Deterding et al. (2011), o fenômeno da *gamificação* consiste na inclusão de elementos de jogos em outros contextos, de forma a aumentar o engajamento e retenção dos usuários, através do uso dos aspectos lúdicos e de recompensas inerentes aos jogos em áreas como: saúde, educação, finanças, ferramentas de produtividade, notícias e entretenimento entre outras.

Os elementos tradicionais empregados na *gamificação* incluem: *rankings*, medalhas, troféus e interação com outros usuários em redes sociais através de disputas e troca de mensagens. As pesquisas sobre a aplicação de *gamificação* tem revelado resultados eminentemente positivos, com maior atividade, participação e retenção dos usuários, podendo influenciar à adoção de hábitos saudáveis (KING et al., 2013). Os resultados, entretanto, dependem do contexto de implantação e do perfil dos usuários. (HAMARI; KOIVISTO; SARSA, 2014).

## 2.2 Exergames

Os sistemas que surgiram a partir da combinação de controles de vídeo games com equipamentos de exercício deram origem a uma classe nova de jogos que ficariam conhecidos como **exergames**. O termo exergame foi criado pela composição das palavras *exercise* e *game*, sendo que essa classificação é considerada um subdivisão de serious games pelo seu papel motivacional à atividade física (SINCLAIR; HINGSTON; MASEK, 2007; SUHONEN et al., 2008).

Sinclair, Hingston e Masek trazem algumas considerações sobre a importância da pesquisa e uso de exergames, quando se considera o panorama de saúde mundial, em especial dos jovens:

The merger of video games with exercise equipment, known as exergaming, is a relatively old idea that since mid 2006 has seen an upswing in activity and interest. While there are most likely other factors at play, a major reason for the recent rise in interest in exergaming is concern over the current high levels of obesity in Western society (especially in children). The hope is that the fascination that video games have for children can be harnessed so as to engage children in greater physical activity (SINCLAIR; HINGSTON; MASEK, 2007, p. 289).

Um dos primeiros exemplos de sistema que se pode classificar como exergame, foi o Atari Puffer, de 1982 (JOHNSON, 2008). Ele integrava uma bicicleta ergométrica com o vídeo game Atari, utilizando um televisor comum para visualização dos jogos (ver Figura 2.1).

Figura 2.1 – À esquerda: jogadora se exercitando em uma bicicleta ergométrica assistida do Atari Puffer; e à direita: visão geral do Atari Puffer



Fonte: Johnson (2008)

Os primeiros vídeo games apresentavam controles simplificados (apenas alguns poucos botões de ação, por exemplo) e os gráficos tinham baixo nível de realismo, devido às limitações técnicas, especialmente quanto à capacidade de memória e processamento. Mesmo assim os fabricantes já vislumbravam o potencial que exergames poderiam trazer ao aliar a diversão com

o exercício físico, o que pode ser visto na citação abaixo, extraída de um memorando interno da Atari referente à pesquisa e investimento nesse tipo de aplicação.

There is a whole generation of kids (and adults) out there who aren't into sports and/or don't get enough exercise. At the same time there is a huge fitness market. We have seen how kids can become addicted to our video games. We are going to hook up an exercise bike to a video game, where the bike is the controller. Hook up a bike to "Pole Position" and you have to pedal to make your car "go". Hook it up to "Dig-Dug" and shovel faster - or else! We can make fitness freaks out of the kids and game players out of the keep-fitters. We capitalize on the combination of the two powerful markets - video games and aerobic fitness (JOHNSON, 2008).

O Atari Puffer podia ser conectado aos vídeo games Atari 400/800 e 5200, e possuía um joystick integrado que permitia a movimentação dos personagens em jogos de aventura. A velocidade do personagem era dada pela intensidade do exercício na bicicleta ergométrica.

Em 1998 seria lançado o *Dance Dance Revolution* (DDR), criado pela empresa japonesa Konami. O sistema, do tipo arcade, utilizava quatro grandes botões no chão que o jogador deveria pisar conforme a ordem apresentada na tela, na sequência e tempo exatos, simulando uma dança. Múltiplos níveis de dificuldade podiam ser selecionados e também era possível a competição lado a lado. O jogo foi bastante bem recebido pelos usuários conseguindo aliar o incentivo à prática de exercício a um jogo também estimulante e desafiador.

O principal estímulo vinha dos gráficos e do próprio áudio que sincronizava períodos mais agitados na música, com sequências de botões mais complexas, e partes mais calmas com sequências mais fáceis. Além disto, uma fonte importante de estímulo era poder ter um competidor ao lado, jogando simultaneamente como pode ser visto na Figura 2.2. Em virtude da grande aceitação do DDR, diversos pesquisadores investigaram a efetividade do jogo, inclusive seu impacto em jovens e adolescentes em grupos de risco que poderiam ser beneficiados pela aplicação deste jogo. Os resultados da aplicação deste exergame serão descritos de maneira mais aprofundada na seção 2.2.1.

Com as novas gerações de consoles esses sistemas passaram a receber ainda mais atenção, especialmente a partir de 2006 com a introdução do Nintendo Wii e do seu controle Wii Remote (conhecido também como Wiimote, apresentado na Figura 2.3, à esquerda). Este controle representou grande avanço pois é equipado com um acelerômetro<sup>1</sup>, e um sensor de inclinação por infravermelho, permitindo a detecção de rotação e translação em 3D. Estes recursos tecnológicos proporcionaram aos desenvolvedores ferramentas para criar uma série de exergames que utilizavam o Wiimote como metáfora de equipamentos desportivos como raquete de tênis, taco de beisebol ou golfe, as mãos do usuário em jogos de vôlei e simuladores de boliche, ou até de outros equipamentos como vara de pescar, taco de bilhar e dardo para arremesso olímpico.

<sup>1</sup> Tipo de dispositivo eletrônico capaz de mensurar a aceleração de um objeto em determinada direção.

Figura 2.2 – À esquerda o arcade Dance Dance Revolution, onde duas pessoas podem jogar ao mesmo tempo; e à direita, captura de tela do jogo em modo *single player*



Pouco tempo após o lançamento do Wii, em meados de 2007, a Nintendo fez o lançamento de um acessório que viria para consolidar definitivamente esse console como sinônimo de exergames. A Balance Board é uma pequena plataforma (ver Figura 2.3, à direita) capaz de identificar a distribuição de pressão sobre uma superfície na qual o jogador deve subir e permanecer em cima durante o uso. Desta forma o dispositivo permite identificar se um usuário está inclinando o corpo para um lado ou para o outro, à frente ou para trás. Quando combinado com o Wiimote permite a percepção completa dos movimentos dos membros inferiores e superiores.

Como forma de estimular ainda mais a prática de atividade física, a Nintendo produziu uma série de jogos chamada *WiiFit* fazendo uso da Balance Board e do Wiimote como controles. Nele é possível manter registros de idade, sexo, peso corporal, altura, IMC, frequência e aderência ao programa de exercícios, entre outros. Como pode ser visto na Figura 2.5, várias categorias estavam disponíveis, como jogos de equilíbrio, yoga, treinamento de força e aeróbico, inclusive com *personal trainer* virtual que fornecia feedback sobre o desempenho e orientação sobre a atividade.

Em 2010 a Microsoft revelou um novo modo de comandar jogos que dispensaria o uso de controles manuais tradicionais. O corpo inteiro do jogador seria rastreado e desta forma os jogos seriam comandados. O acessório para o console Xbox 360, chamado de Kinect (ver Figura 2.4, à esquerda), integra três componentes principais: câmera VGA, sensor de profundidade e microfone, os quais permitem funções como a detecção da posição espacial do jogador, seu esqueleto (ossos e juntas) e dessa forma o reconhecimento de gestos, identificação de expressões faciais e captura de áudio.

O dispositivo foi lançado para venda acompanhado de um exergame chamado *Kinect Adventures!* que incluía cinco mini-jogos com objetivos diversos, como coletar moedas agitando os braços, controlar um bote inflável inclinando o corpo para um lado e saltando para desviar

Figura 2.3 – Controles do Nintendo Wii: a) Wiimote em três pontos de vista: lateral, frontal e posterior; e b) Balance Board



de obstáculos, permitindo até dois jogadores simultaneamente. Entre os exergames disponíveis estava o *Reflex Ridge* em que o personagem segue em cima de uma plataforma que percorre um caminho no qual diferentes desafios aparecem, demandando que os jogadores pulem, abaixem e desviem, movimentando todo o corpo. Outro título importante era o *Rallyball*, no qual o jogador deveria destruir uma parede com bolas que eram rebatidas com as mãos, pés ou cabeça, em determinado instante. Outro título recente é o *Kinect Sports* que traz desafios desportivos para a plataforma com diversas modalidades como: atletismo, boxe, boliche, futebol, tênis de mesa entre outros esportes.

Figura 2.4 – Dispositivo Microsoft Kinect, à esquerda. À direita, um casal jogando o Kinect Sports



Fonte: Smith (2010)

O Microsoft Kinect revelou-se um sucesso comercial, sendo reconhecido como eletrônico de mais rápida vendagem na história (BBC, 2011). É muito empregado na área de entretenimento e também como método alternativo de interação em outras aplicações.

Simultaneamente à evolução dos consoles, os exergames também puderam tirar proveito dos

Figura 2.5 – Exergames para Nintendo Wii: à esquerda uma cena do simulador We Ski, e à direita uma jogadora se exercitando num jogo de equilíbrio



novos dispositivos móveis como *smartphones*, por exemplo. Os primeiros jogos a explorar o movimento como controle usaram dados obtidos do acelerômetro e giroscópio<sup>2</sup> disponíveis nos aparelhos para reconhecer gestos simples (CHOI et al., 2005).

A integração de chips receptores de GPS permitiu a expansão de uma classe de games chamados Location-Based Games (LBG). Nestes jogos o usuário deve se deslocar de um lugar para outro dentro de limites estabelecidos de tempo e espaço.

A localização do usuário pode ser determinada pelo sinal GPS com precisão e confiabilidade. O enredo pode ainda contemplar a resolução de enigmas dentro de uma realidade fantástica (BJÖRK et al., 2001), que levam o participante a pontos de checagem dentro de um campo de jogo que pode se estender por uma praça ou parque, por diferentes cidades ou até mesmo o mundo inteiro (ETHERINGTON, 2012).

Dependendo das características que um Location-Based Game tenha ele pode incentivar a prática de exercícios e, desta forma, ser classificado como um exergame. Entre as formas de incentivo estão a distribuição de prêmios (podendo ser virtuais ou até mesmo reais), através de competições e integração com redes sociais.

A ubiquidade de dispositivos e a integração com outros aparelhos incentivou aplicações de coleta de sinais biométricos como, por exemplo, o ritmo cardíaco (WYLIE; COULTON, 2008). A captura se dá com o uso de uma cinta elástica fixada junto ao tórax, na altura do coração. Este dispositivo por sua vez se comunica com o smartphone, responsável por armazenar essa informação. Esse registro possibilitou a criação de sistemas para apresentação do nível de atividade física dos usuários e seu acompanhamento ao longo do tempo. Diferentes características foram integradas nesses sistemas tanto para motivação quanto para retenção dos corredores. Os sistemas desse tipo mais populares são o Nike+<sup>3</sup> (ver seção 2.2.2) e o Garmin Connect<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Sensor que permite detectar a orientação espacial.

<sup>3</sup> <http://nikeplus.nike.com/plus/>

<sup>4</sup> <http://connect.garmin.com/>

Uma vez que essa classe de aplicações promove atividade física através do seu uso para comandar o jogo e contribui para melhora da saúde, ela também pode ser vista como um tipo de jogo sério.

Exergames por sua natureza estimulam o usuário a praticar algum tipo de atividade física, o que poderia reverter este quadro epidêmico de obesidade e sedentarismo, especialmente nos mais jovens, quando se leva em conta pesquisas que apontam que crianças e jovens de 8 a 18 anos gastam mais de 44 horas semanais assistindo TV, no computador e jogando vídeo games, o que é mais do que qualquer outra atividade, exceto dormir (SINCLAIR; HINGSTON; MASEK, 2007; VANDEWATER; SHIM; CAPLOVITZ, 2004).

O risco de doenças relacionadas ao excesso de peso poderia ser reduzido pela simples introdução de uma rotina diária de 30 minutos de exercício. Mesmo assim, cerca de um terço dos adolescentes norte-americanos, e metade dos adultos, não conseguem atingir esse patamar mínimo (SMITH, 2005). O risco de ocorrência de um AVC pode ser reduzido em cerca de 27% caso se adote a prática regular de exercícios (LEE; FOLSOM; BLAIR, 2003). Entretanto, é necessário reconhecer que conciliar a intensidade de um exercício físico eficaz à uma atividade divertida e prazerosa, especialmente para indivíduos sedentários, é bastante desafiador, na medida que as recompensas do exergame devem sobrepor os estímulos do mundo real. Dessa forma, é necessário uma análise cuidadosa através de múltiplas métricas para melhor estimar seus benefícios frente a métodos tradicionais.

Uma das formas de estimar a eficácia de exergames é através do cálculo da energia despendida nas partidas, como indicador de sua capacidade de preparação física. A análise de Maddison et al. (2007) sobre seis títulos investiga justamente essa métrica. A Tabela 2.1 apresenta o sumário de resultados do artigo, com o consumo de energia médio calculado, nível de  $VO_2$  e batimentos cardíacos. O levantamento feito com 21 adolescentes demonstrou que alguns jogos conseguem de fato levar seus praticantes a níveis de exercício comparados à caminhada, pular corda, subir escadas, e até corrida moderada (MADDISON et al., 2007), mas isso não pode ser generalizado. No caso dessa investigação, os dois jogos que exigem movimento corporal completo (tanto dos membros superiores quanto inferiores), obtiveram a maior queima calórica. *Knockout*, que alcançou a maior queima calórica entre os seis testados, é um simulador de boxe em que o usuário pode acertar socos no adversário virtual e também deve desviar, abaixar e se esquivar dos ataques do seu competidor.

Outro aspecto importante, e que poderia fazer um exergame ser mais cativante, é o aumento da sensação de imersão propiciado por interfaces naturais, que capturem o corpo inteiro, quando comparado a controles tradicionais. Segundo Ermi e Mäyrä, imersão significa “se tornar parte, física ou virtualmente, da experiência” que se está vivendo no mundo fantástico do jogo (ERMI; MÄYRÄ, 2007, p. 4).

A interação pode ser aperfeiçoada com sensores como o Microsoft Kinect, por exemplo, com

Tabela 2.1 – Resultados da avaliação de seis exergames

Condição	VO <sub>2</sub> ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	Aumento sobre repouso (%)	Energia despendida (kcal/min)	Ritmo cardíaco (bpm)
Repouso	4,9 ±0,9	0	1,3 ±0,2	78 ±13
Nonactive	6,6 ±1,6	74	1,6 ±0,2	82 ±14
Knockout	24,5 ±4,9	403	6,5 ±1,7	142 ±16
Homerun	23,0 ±4,0	376	5,9 ±1,8	138 ±18
Dance UK	18,9 ±3,6	292	4,9 ±1,3	127 ±13
Groove	11,2 ±2,2	129	2,9 ±0,3	111 ±12
AntiGrav	14,0 ±3,8	186	3,6 ±1,1	110 ±13

Fonte: Maddison et al. (2007, p. 339)

capacidade de capturar o corpo inteiro do usuário de forma natural, sem o uso de botões ou equipamentos adicionais com fios ou com algum tipo de restrição de movimentos.

Um exemplo de exergame que explora esse recurso para potencializar a interação é o *KiMentia* desenvolvido por Breton, Zapirain e Zorrilla (2012), tendo sido criado especificamente para idosos com diagnóstico de demência. O jogo utiliza o corpo inteiro do jogador como controle, sendo capturado através do Kinect. O *KiMentia* foi concebido seguindo orientação de fisioterapeutas, com foco na reabilitação das capacidades linguísticas e visuais dos pacientes, ao fazer o jogador associar figuras a palavras. O movimento corporal de todos os membros é fundamental para ativar zonas cerebrais, servindo ao propósito terapêutico de reabilitação proposto.

As próximas seções apresentam as principais investigações relacionadas à proposta, e descrevem os resultados atingidos com a adoção destes exergames.

### 2.2.1 Dance Dance Revolution

*Dance Dance Revolution* foi um dos primeiros exergames a ser avaliado extensivamente quanto a seus potenciais benefícios para saúde. Isto deveu-se à sua grande popularidade, inicialmente em seu lançamento no Japão, em setembro de 1998, logo após distribuído na Europa, seguido dos Estados Unidos da América, em 1999 (LIU, 2002).

O título também foi portado para diversos consoles como Nintendo 64, Xbox e Xbox 360, Wii, e para todas as versões do Sony Playstation, sendo vendido geralmente em conjunto com seu controle exclusivo que reproduz o ambiente do arcade através de um tapete emborrachado medindo cerca de 1m<sup>2</sup> com quatro botões direcionais.

Ao começar o jogo, o usuário seleciona um avatar que o representará. Há diversas opções dentre personagens masculinos e femininos, cada qual com seu estilo e atitude. Esse personagem irá aparecer na tela do jogo replicando os passos de dança conforme o desempenho do jogador. A seguir é escolhido o tipo de música para a partida e o nível de dificuldade, variando entre 1 (mais fácil) a 10 (mais difícil), definindo o número de comandos que o jogador terá de executar a

cada segundo, bem como a distribuição e quantidade de combinações mais complexas.

Devido às diversas músicas com ritmos e batidas distintas, cada jogador consegue encontrar um desafio apropriado, que o motive à superação. Ao acertar uma sequência coreográfica de passos o jogador recebe mensagens textuais de encorajamento na tela como por exemplo: *Perfeito!* ou *Excelente!*. Em caso de erro há mensagens como *Quase!* ou até mesmo *vaias*. A variabilidade de configurações permite múltiplos perfis de usuários e isso motiva sua aplicação em diferentes grupos tais como adolescentes, jovens adultos com sobrepeso e idosos.

A própria maneira de interação favorece o movimento corporal, o que suscitou investigações sobre seus efeitos quanto à intensidade de energia despendida durante cada partida, e também seu papel na retenção dos praticantes em médio e longo prazo. Um importante trabalho nesse sentido buscou comparar a capacidade efetiva do DDR promover níveis de intensidade equivalentes àqueles alcançados durante uma caminhada ou corrida de intensidade moderada, em crianças e adolescentes, conforme o trabalho de Unnithan, Houser e Fernhall (2006). Dois sinais fisiológicos foram registrados: o ritmo cardíaco e o volume máximo de consumo de oxigênio ( $VO_2$ ). A primeira medida, o ritmo cardíaco, indica a intensidade do esforço físico que está sendo realizado, enquanto que a segunda métrica reflete a capacidade atlética do praticante. Quanto maior o número de músculos envolvidos em uma atividade, maior será o consumo de oxigênio. Ambas as métricas foram avaliadas segundo a recomendação do American College of Sports Medicine.

O resultado da análise, feita com 22 adolescentes com idades entre 12 e 15 anos, matriculados em escolas nos Estados Unidos da América, mostrou que jogar com o DDR provê um ritmo cardíaco em conformidade com os parâmetros do ACSM para manutenção e desenvolvimento da capacidade cardiorrespiratória, ou seja, acima do mínimo estabelecido. Entretanto, o nível  $VO_2$  medido ficou abaixo do limite mínimo do ACSM. A explicação deve-se ao exercício estar bastante concentrado nos membros inferiores (especialmente quadril, coxas, pernas e pés).

Seguindo esta mesma linha de investigação, a pesquisa de Gao et al. (2012) avaliou mudanças subjetivas que a introdução de uma rotina de atividade baseada no DDR causou em um grupo com 101 crianças, de 9 a 11 anos de idade, ao longo de 9 meses, 3 vezes por semana, numa avaliação intergrupos. Inicialmente os voluntários foram designados para dois grupos e responderam a questionários sobre seus hábitos de exercício, disponibilidade e desejo de praticar atividades, suporte social dos pais, amigos e professores para praticar esportes e também se auto-avaliaram quanto a sua capacidade física.

O trabalho reportou que o grupo de intervenção, mesmo após o término do teste, continuou a apresentar níveis significativamente maiores de atividade, autopercepção de aptidão física e maior apoio social do que os integrantes do grupo de controle. Esse resultado evidencia as capacidades de um exergame influenciar, a médio e longo prazo, os hábitos dos seus praticantes.

Outro grupo de interesse para aplicação do DDR é formado por idosos. A pesquisa de Smith et al. (2011) explorou esse tema, desenvolvendo uma variação do DDR com modificações na

interface do jogo para facilitar seu uso por idosos. A investigação buscou descobrir qual tempo seria ideal para exibição das setas indicativas de onde se deve pisar, levando em conta este grupo de jogadores com maiores dificuldades tanto para assimilar os comandos quanto para realizar as ordens do jogo, em decorrência do processo de natural de envelhecimento.

O DDR mostrou-se bastante bem-sucedido nos países onde foi comercializado, contribuindo para mudanças sociais e físicas no seu grupo de usuários, que interagiram através de sites, e fóruns na Internet. A numerosa comunidade de jogadores do DDR foi objeto do estudo de Hoysniemi (2006). Sua pesquisa aplicou um questionário a 556 participantes de mais de 20 países sobre diversos fatores referentes à eficiência do DDR em motivar, cativar e exercitar realmente seus jogadores.

A investigação reportou que 87% dos jogadores responderam ter perdido peso graças ao sistema (sendo que 31% afirmaram praticar de duas a três vezes por semana) e 41% disseram não desenvolverem outra atividade física além do DDR. A motivação para o jogo, segundo 65% dos jogadores, é porque é divertido, envolvente e engraçado, sendo que 55% apontaram como relevantes os benefícios à saúde também.

Aproximadamente um quarto dos indivíduos da pesquisa falaram que o desafio de jogar era importante. Um dos jogadores disse “gosto de competir contra minhas próprias limitações para ficar mais experiente” enquanto outro afirmou “é ótimo me ver progredir, lentamente mas definitivamente melhorando, e conseguindo alcançar scores melhores em músicas mais difíceis”, o que aponta para a dificuldade como fator motivacional também (HOYSNIEMI, 2006, p. 13).

Do ponto de vista social, o jogo favoreceu a criação de grupos (64% afirmaram disputar com amigos com maior frequência) e também através de competições locais em arcades que por sua vez incentivavam ainda mais esse aspecto ao permitir ao público assistir as partidas. Pelo menos um terço dos que responderam a pesquisa afirmaram já terem jogado contra estranhos em arcades, o que reforça esse importante potencial de socialização.

## 2.2.2 Nike+

A prática regular de corrida é recomendada por educadores físicos, sendo frequentemente referida como uma das melhores formas de exercício para aumento da capacidade cardiorrespiratória, melhora do preparo físico, queima de gorduras, redução de sobrepeso, hipertrofia muscular, diminuição do estresse, melhora da condição mental, entre outras vantagens elencadas na literatura médico-desportiva (FOLKINS; SIME, 1981).

A motivação para o aumento do desempenho em exercícios físicos, vem da mensuração da evolução dos índices de tempo, distância ou velocidade. Considerando a dificuldade de muitas pessoas em manter registros detalhados sobre seu desempenho, frequência e intensidade das sessões, algumas soluções para isto foram propostas. Entre elas está o Nike+<sup>5</sup>, criado pela

---

<sup>5</sup> <http://nikeplus.nike.com/>

fabricante de material desportivo Nike.

O Nike+ é um sistema constituído por um mecanismo de coleta dos dados do corredor e um site na Internet para visualização das informações. A captura da velocidade do corredor pode ser feita de duas formas: através do pedômetro<sup>6</sup> Nike+, instalado em tênis de corridas da marca, ou então pela posição geográfica do usuário, obtida por sinal GPS. As informações das sessões são armazenadas temporariamente no dispositivo móvel (e.g. iPod, iPhone ou outros smartphones). Ao fim da corrida, são então transferidas para o portal Nike+, via aplicativo móvel ou por intermédio do computador do usuário.

O sistema possui diversas características para incentivar o usuário, como por exemplo apresentação do histórico de corridas (visto à esquerda, na Figura 2.6). São mostradas as estatísticas de velocidade média, tempo total, distância percorrida, tempo por quilômetro, média de batimentos cardíacos, consumo calórico, entre outras. Ainda, é possível ver com detalhes o estado registrado durante cada instante da corrida através de gráficos de desempenho (à direita, na Figura 2.6).

Figura 2.6 – Gráficos do Nike+: à esquerda, histórico de corrida com a distância alcançada em gráfico de barras; à direita, visão detalhada do desempenho em uma sessão



As páginas do site exibem uma padronização de cor, a qual corresponde à distância percorrida pelo praticante, mudando conforme mais quilômetros são acumulados ao total registrado com o sistema. São sete níveis, incluindo recompensas em pontos intermediários. As recompensas são elementos gráficos como medalhas e troféus, ou então acesso a funcionalidades e mudanças no aspecto visual do site, despertando a curiosidade do usuário de experimentar um sistema novo a cada interação. A Figura 2.7 apresenta esses elementos de estímulo.

O sistema de motivação permite a criação de desafios de distância, frequência e gasto calórico, além de outros. Como pode ser visto à direita na Figura 2.8, o processo de configuração dos desafios permite ao usuário definir os limites e o tempo que pretende alcançar de maneira perso-

<sup>6</sup> Dispositivo com um acelerômetro e um circuito digital. A cada passo o circuito digital verifica a aceleração e duração do movimento conseguindo portanto determinar a frequência das passadas e distância percorrida.

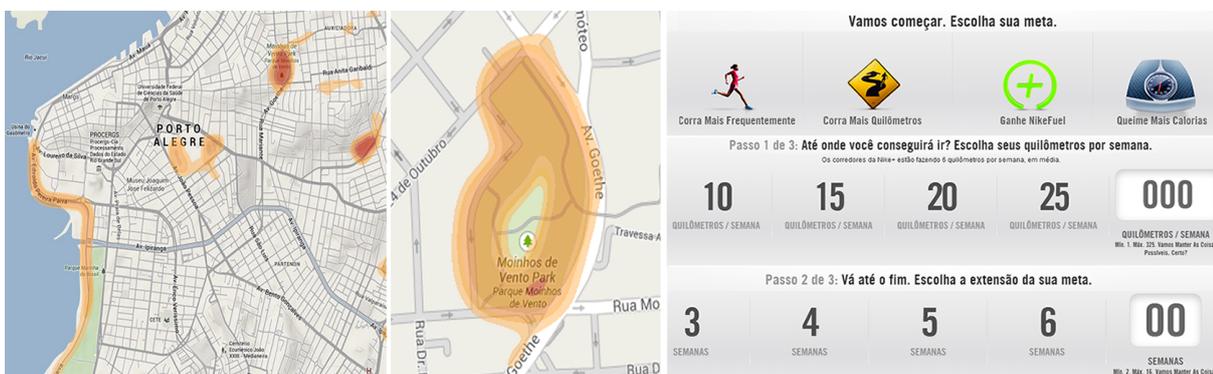
Figura 2.7 – Elementos motivacionais do Nike+: na parte superior, sete níveis de experiência, conforme o total de quilômetros acumulado nas sessões; na parte inferior, troféus de recordes, outorgados ao completar metas



nalizável, inclusive reajustando mesmo quando ele já está em andamento. No caso apresentado, é selecionada uma distância (em quilômetros) e no passo seguinte se define o número de semanas que durará o desafio. Ao fazer login no Nike+, o corredor é lembrado sobre o andamento dos objetivos e, caso tenha concluído algum, recebe um troféu como forma de premiação.

O histórico de corrida permite que uma sessão seja atribuída à uma localidade tais como parques ou pistas de corrida. O Nike+ então acumula as sessões dos usuários e exibe um mapa de calor com os principais pontos de exercício na cidade. Dessa forma o praticante pode procurar descobrir e frequentar outros lugares e também comparar seu desempenho com o de outras pessoas, uma vez que as estatísticas de corrida são referenciadas ao lugar (i.e. caso seja uma pista de corrida, haverá a duração média de volta e o tempo por quilômetro). A Figura 2.8 apresenta o mapa de calor para a cidade de Porto Alegre, no qual se pode verificar a concentração de praticantes na orla do Rio Guaíba e em parques como Redenção e Parcão.

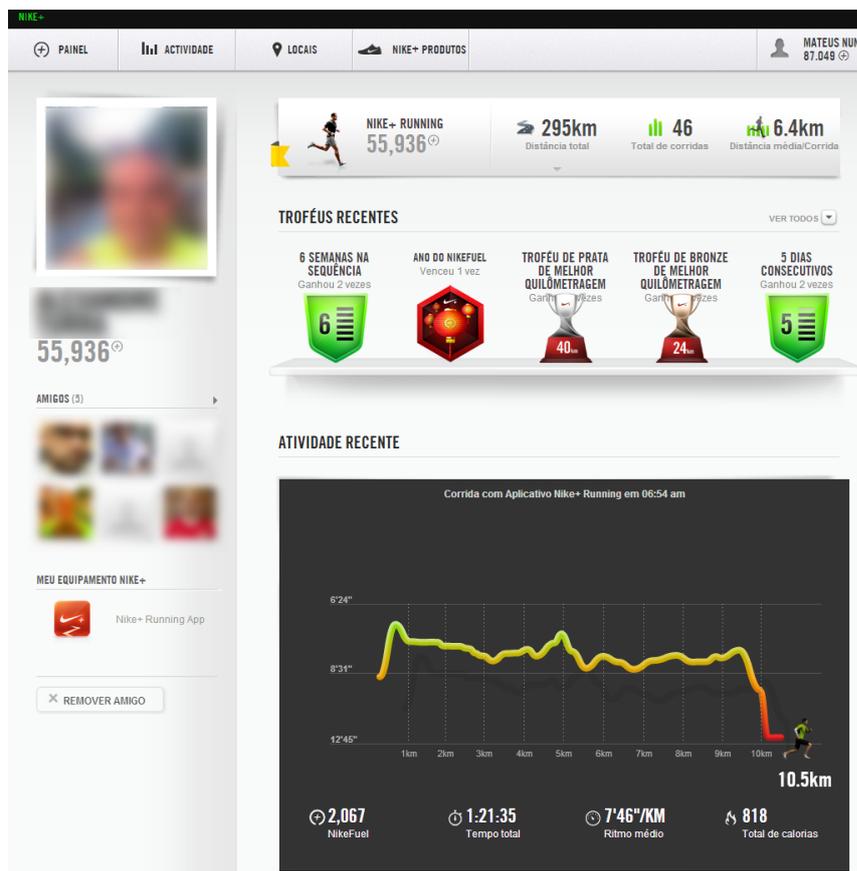
Figura 2.8 – Mapa da cidade de Porto Alegre com principais locais de corrida, à esquerda, e em detalhe no centro. À direita, criação e configuração de desafios



A socialização com amigos também é incentivada através da funcionalidade de importação

de contatos de outras redes sociais como Facebook<sup>7</sup>, por exemplo, conforme pode ser visto na Figura 2.9. Caso o parceiro de corrida aceite o convite de participação, o Nike+ permite a visualização dos dados de corrida, níveis máximos atingidos, entre outras estatísticas privadas.

Figura 2.9 – Socialização no Nike+: são mostrados os troféus, as marcas atingidas e o desempenho dos contatos agregados à rede social do Nike+



Existem ainda funcionalidades que possibilitam a motivação durante a corrida. O aplicativo Nike+ instalado em dispositivos móveis emite avisos sonoros à cada quilômetro percorrido, ao atingir metade da corrida ou do tempo estabelecido, e ao completar a sessão. O praticante também pode escolher publicar para seus contatos em redes sociais que está começando uma sessão de corrida, permitindo receber eventuais mensagens de incentivo deixadas por seus amigos, lidas para o corredor, em tempo real, através de um sintetizador de voz incorporado ao programa.

### 2.2.3 Kukini

O trabalho de Campbell, Ngo e Fogarty (2008) analisa os recursos de estímulo disponíveis no site do Nike+ e propõe um exergame, como forma de manter os praticantes interessados por mais tempo.

<sup>7</sup> <http://www.facebook.com>

Com relação ao Nike+, a pesquisa aponta que há desmotivação quando um usuário entra em uma competição após ela ter iniciado, ou mesmo quando seu desempenho é muito inferior aos primeiros colocados. Por exemplo, quando os primeiros colocados já acumulam centenas de quilômetros percorridos, os últimos tem apenas poucas dezenas, tornando extremamente difícil galgar a posições mais altas. Outra deficiência daquele sistema é a falta de *micro goals*, ou objetivos intermediários, preferindo *macro goals* que são objetivos grandes, como por exemplo, acumular 100 quilômetros em corridas registradas. É necessário motivar continuamente o usuário através de *micro goals*, ao invés de deixar para apenas recompensar o esforço após grandes objetivos (CAMPBELL; NGO; FOGARTY, 2008).

Jogos do tipo exergame, também chamados de fitness, devem, segundo o autor, apresentar sete características, que contribuiriam para que atingisse seu objetivo junto ao usuário:

- **Mecânica central:** a principal forma de interação com o jogo. Deve ser facilmente aprendida, mas difícil de chegar no nível perfeito. Desta forma o usuário tem uma motivação inicial para o jogo e o aperfeiçoamento da técnica como objetivo a longo prazo;
- **Representação:** a abstração apresentada no jogo não deve comprometer o significado do exercício. A influência de bons gráficos e das metáforas do movimento no jogo virtual devem ser consideradas;
- **Micro goals:** objetivos de curto prazo, quando conquistados, trazem ao jogador uma gratificação frequente, estimulando sua participação e engajamento no sistema. Ao mesmo tempo, permitem que o jogador chegue a objetivos de longo prazo, maiores, através de estímulos constantes para sua contribuição, para que este alcance objetivos que de outra forma pareceriam inalcançáveis;
- **Competições alternativas:** competições que estejam à margem da capacidade técnica do jogador, de forma que ele entenda que uma série de objetivos está sendo alcançada. Um exemplo de competição alternativa é o acúmulo de quilômetros ao longo das séries de corridas. A primeira faixa compreende até 49 km, a segunda de 50 a 249 km, a terceira 250 a 999 km e assim por diante, até a última que chegam aqueles que conseguiram ultrapassar os 5000 km percorridos;
- **Jogo livre:** regras não devem ser demasiadamente restritivas, pois é necessário que o jogador possa explorar livremente o ambiente, segundo suas escolhas de desafios e competições;
- **Jogo social:** relações sociais podem ser derivadas do próprio jogo (líder de grupos ou moderador, por exemplo), ou serem emanadas do mundo exterior através de amizades, rivalidades, entre outras. O jogo deve possibilitar interações através de ferramentas de comunicação, de forma a criar uma forma de interação para longo prazo conforme os usuários criam as relações sociais

- **Jogo justo:** o conceito de *fair play* engloba a igualdade das regras do jogo para todos e também a mecânica do jogo, de forma que não seja possível trapaças e que todos joguem igualmente.

Baseando-se nessas características, a solução proposta é um sistema que integre os dados coletados com o sensor Nike+ com um exergame online, similar a um RPG. No enredo do jogo, o corredor é um mensageiro em um mundo virtual com vários participantes. O *Kukini* é apresentado como um site na Web que faz a sincronização dos dados registrados pelo Nike+ sendo, portanto, uma extensão do sistema oficial.

Os usuários podem propôr missões ou então cumprir aquelas sugeridas pelo sistema. Por exemplo, uma tarefa de entregar uma mensagem numa cidade vizinha pode ser decomposta em várias subtarefas, como por exemplo ir à estalagem intermediária, ou buscar a mensagem na cidade de origem, e assim por diante. Cada cidade tem uma aparência diferente e cada missão realizada gratifica o jogador com um troféu específico, trazendo variabilidade e despertando a curiosidade pela descoberta de mais ambientes pelo jogador.

Há também a possibilidade de formar times e criar relações com outros usuários através de funcionalidades de comunicação como troca de mensagens e desafios específicos que devem ser realizados em grupo. Assim, o jogador é estimulado a integrar uma equipe já existente. Esse mecanismo serve ainda para promover o fair play, uma vez que o sistema do sensor Nike+ é vulnerável a trapaças (o XML com os dados pode ser alterado, ou então o participante pode pedir à outra pessoa que utilize o dispositivo, por exemplo), mas integrar um grupo com pessoas de desempenho semelhante desencorajaria ações desse tipo.

#### 2.2.4 Swan Boat

Uma abordagem semelhante ao *Kukini*, de estímulo à atividade física, é apresentada no sistema *Swan Boat*, de Park et al. (2012). A motivação para o Swan Boat é tornar a experiência solitária de andar numa esteira ergométrica em uma experiência participativa.

Dois participantes cooperam, formando um time, no jogo que consiste em uma corrida de botes infláveis em um rio. Posicionados lado a lado, o jogador do lado direito comanda, no jogo, os remos daquele lado, e quanto mais rápido seu ritmo na esteira, maior a potência da remada naquele lado. O mesmo acontece para o participante do lado esquerdo, simulando o desempenho de um remador. Portanto é necessária uma sincronização para direcionar o bote, e ambos devem correr mais rápido se quiserem aumentar a velocidade do bote virtual.

O sistema é acoplado a duas esteiras eletrônicas e os jogadores ainda utilizam dois braceletes, sem fios, com acelerômetros que registram os movimentos dos seus braços. O controle da velocidade das esteiras é automático, segundo a distância do praticante da base. Um computador

recebe a velocidade das esteiras, os movimentos dos braços, e renderiza os gráficos do jogo, segundo os dados de entrada. A Figura 2.10 mostra o funcionamento do dispositivo.

Os resultados mostraram uma melhora significativa no gasto de energia despendido quando a aplicação foi utilizada. Quando comparada com a atividade normal, sem o estímulo do exergame, o gasto de energia foi 54% maior e os participantes afirmaram que o Swan Boat estimulou-os a correr mais. As razões apontadas na investigação para o gasto maior de energia incluem fatores psicológicos competitivos e o trabalho em time. Uma das questões motivacionais reportadas pelos usuários foi a comunicação, ou seja, capacidade de conversar com parceiros do time e, dessa forma, incentivá-los. Entretanto, um dos problemas levantados no estudo foi com relação à capacidade física dos corredores dentro de um mesmo time. Uma vez que era necessário o esforço colaborativo de duas pessoas para mover o bote nas corredeiras, ambos os jogadores precisavam ter aptidões físicas similares. Uma proposta apresentada para mitigar esse efeito é considerar o batimento cardíaco dos competidores, ou seja, o nível de esforço seria relativo à capacidade atlética de cada jogador.

Figura 2.10 – Time jogando Swan Boat (direita) e imagem do jogo (esquerda)



Fonte: Park et al. (2012, p. 865)

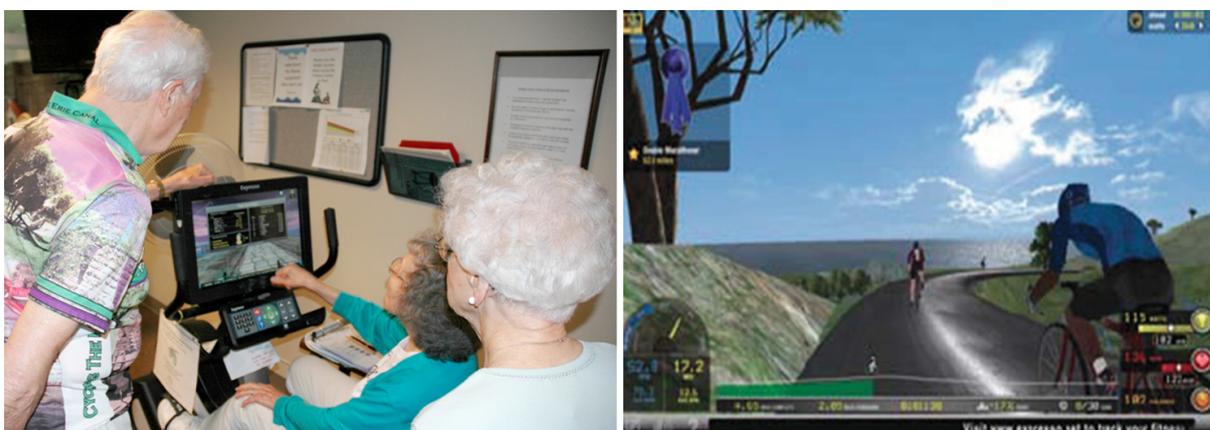
### 2.2.5 Cybercycling

Como visto anteriormente, um importante grupo para aplicação de exergames é formado por idosos e pacientes em *home care*<sup>8</sup> devido à necessidade de aliar os benefícios do combate ao sedentarismo à rotina diária, geralmente limitada à própria residência, desse público.

Nesse sentido, o trabalho de Anderson-Hanley et al. (2012) buscou investigar o impacto da adoção de um exergame em um grupo de idosos, na prevenção de doenças relacionadas à demência. Essa condição caracteriza-se pela perda das habilidades cognitivas, afetando a

<sup>8</sup> Home care, ou cuidado domiciliar, permite que pacientes crônicos recebam cuidado em suas casas, com o monitoramento constante de médicos, enfermeiros e/ou o próprio paciente. Possibilita a redução de custos, riscos de infecção hospitalar, e uma melhor qualidade de vida para o paciente.

Figura 2.11 – Na imagem à esquerda, jogadora se exercitando na bicicleta ergométrica com o Cybercycling e à direita captura de tela com múltiplos jogadores



Fonte: Anderson-Hanley et al. (2012, p. A1-A2)

memória, a comunicação e raciocínio lógico, interferindo na qualidade de vida do idoso e tornando-o dependente de cuidado intensivo (STEFANI; BARROS, 2004).

Entre as principais causas de demência estão a doença de Alzheimer, deficiências vasculares degenerativas, AVC, depressão, além de mais de 50 patologias, com prevalência de 1% para indivíduos com 60 anos, mas aumentando para até 30 a 50% para aqueles com mais de 85 anos de idade (STEFANI; BARROS, 2004, p. 445).

O exergame proposto, chamado *Cybercycle*, consiste em um simulador de ciclismo, concebido para ser utilizado com a uma bicicleta ergométrica. O sistema também fazia o monitoramento do ritmo cardíaco e permitia que múltiplos jogadores competissem simultaneamente. Os participantes do estudo foram separados em dois grupos. O primeiro se exercitou com o *Cybercycle*, enquanto o segundo apenas com a bicicleta ergométrica tradicional, e serviu como controle.

Após um mês de preparação física, familiarização com equipamento, e com o sistema de informação de velocidade, distância e ritmo cardíaco, o primeiro grupo foi introduzido ao *Cybercycle*, que possibilitava a visualização dos avatares dos outros jogadores e um ambiente virtual 3D (veja Figura 2.11). As sessões de exercício foram realizadas em média 3 vezes por semana, seguindo recomendação de 45 minutos, totalizando 3 meses de intervenção. Durante o último mês, os participantes foram instruídos que deveriam tentar ultrapassar seus parceiros virtuais.

A avaliação foi realizada de maneira bastante abrangente, com o registro de diversos parâmetros. Foram aplicados testes psicológicos e cognitivos com tarefas envolvendo memória, raciocínio e capacidade espacial e verbal. Adicionalmente, levantaram-se medidas fisiológicas como peso, altura, composição corporal (massa magra e gorda), força muscular abdominal, e coletaram-se amostras de plasma previamente e posteriormente à intervenção para quantificação

dos níveis de BDNF<sup>9</sup>.

Os resultados apontaram que aqueles que usaram o Cybercycle tiveram melhora nos testes cognitivos significativamente superior àqueles que usaram somente a bicicleta ergométrica desprovida de um sistema de apoio. Houve uma redução de cerca de 23% no risco de progressão do Deterioramento Cognitivo Leve, condição que foi diagnosticada em 9 integrantes do grupo de controle contra apenas 3 do grupo de interesse, durante a pesquisa.

Os dados de distância e velocidade mostraram também um significativo aumento na média de distância (7,68 km/h para a bicicleta convencional *versus* 8,64 km/h para o grupo com Cybercycle), combinada com uma velocidade de pico mais alta (15,68 km/h *versus* 17,12 km/h). A potência despendida durante o exercício e a frequência das sessões também foi maior no grupo investigado quando comparado com o controle, como pode ser verificado na Tabela 2.2.

O estudo corrobora a tese que postula a existência de vantagens adicionais além daquelas decorrentes simplesmente do aumento da intensidade do exercício. Pode-se concluir que os benefícios cognitivos da aplicação de um exergame não estão necessariamente ligados a um aumento no nível de atividade, mas que podem estar relacionados a outros fatores, como por exemplo a imersão em um mundo virtual 3D, a copresença de adversários e as interações que podem ocorrer com eles ou mesmo com os cenários (curvas, mudanças de terreno e aceleração, por exemplo).

O trabalho sugere que justamente a interatividade propiciada pelo exergame poderia ser um dos fatores que diferenciariam essa atividade de assistir televisão ou mesmo outro passatempo passivo.

Tabela 2.2 – Sumário de resultados da aplicação do exergame Cybercycle em 102 idosos após 3 meses

Parâmetro	Controle	Cybercycle
Frequência das sessões	51,3 ±3,32	53,3 ±3,14
Potência despendida (watts)	36,3 ±3,28	32,1 ±3,15
Distância média (km)	8,64 ±0,64	7,68 ±0,61
Velocidade máxima (km/h)	17,12 ±0,62	15,68 ±0,59

Fonte: Anderson-Hanley et al. (2012, p. 115)

## 2.3 Comentários finais

Este capítulo inicialmente definiu o que são exergames e apresentou exemplos de diversos sistemas comerciais. Foram introduzidos o pioneiro Atari Puffer e também o Wii Sports e Kinect

<sup>9</sup> Fator neurotrófico derivado do cérebro, é um marcador bioquímico conhecido usualmente pela sigla em inglês: BDNF. Esta substância está associada à produção de neurônios que por sua vez transmitem as sinapses nervosas, permitindo a formação do pensamento.

Adventures, os quais ajudaram a popularizar o conceito de jogos eletrônicos aliados à atividade física. A avaliação de seis jogos mostrou que seus usuários conseguem, em alguns casos, ter um gasto energético até quatro vezes acima do nível básico em repouso, evidenciando potencial benefício à saúde dos praticantes deste tipo de aplicação. Após, foram detalhados os sistemas Dance Dance Revolution, Nike+ e similares, Kukini, Swan Boat, Cybercycling.

O Dance Dance Revolution mostrou que exergames podem ser populares, integrando uma atividade dinâmica e divertida à competição (LIU, 2002). A copresença física do adversário e o ritmo intenso do jogo possibilitou aos usuários atingir patamares de esforço comparáveis àqueles alcançados durante o exercício físico regular (UNNITHAN; HOUSER; FERNHALL, 2006). A socialização decorrente levou à criação de sites especializados e comunidades onde os usuários se reúnem, e também à organização de eventos competitivos oficiais (HOYSNIEMI, 2006). A pesquisa de Gao et al. (2012) apontou que os participantes que experimentaram o exergame, mesmo após o término do estudo, continuavam a ter médias de tempo despendido em atividade física maiores do que aqueles que não o testaram. Uma das críticas ao DDR, entretanto, é que os níveis de gasto energético poderiam ser maiores. Os movimentos ficam restritos principalmente às pernas, e o jogador pode ainda apoiar-se nas barras de segurança, diminuindo significativamente o esforço realizado.

Um dos exercícios físicos mais praticados é a corrida, a qual pode trazer uma série de benefícios (FOLKINS; SIME, 1981). Explorando esse nicho de mercado, a Nike criou a plataforma Nike+, incorporando no projeto dos seus tênis o suporte ao pedômetro criado. Desta forma os corredores tem à sua disposição um site com suas informações, histórico de sessões, distâncias e velocidades, além de sugestões de percursos e desafios. O Nike+ comercialmente foi bastante bem sucedido, incentivando a criação de diversos outros sistemas similares e também aplicativos para dispositivos móveis os quais utilizam os próprios sensores do aparelho para registra a distância percorrida e velocidade. Entretanto, o Nike+ ainda carece de características de estímulo que outros jogos possuem ou, mais especificamente, da capacidade de entreter e reter a atenção do jogador. Assim sendo, Campbell, Ngo e Fogarty (2008) propõem o exergame Kukini, um RPG baseado no sistema Nike+. Uma série de mecanismos de estímulo são sugeridos e integram a implementação, tais como: competições alternativas, socialização e fair play, como forma de tornar o jogo mais efetivo.

Apesar da série de recursos motivacionais do Kukini como configuração de desafios personalizáveis, escolha de tarefas, micro-goals e comunicação com outros praticantes, o estímulo fica limitado ao tempo durante o qual o usuário está acessando o site. Ou seja, apesar do usuário saber que deverá sincronizar os dados quando chegar em casa e poder ter idéia da sua situação em metas do jogo, ele não recebe incentivo durante a sessão, apenas quando as informações são totalizadas e ele aceita algum desafio. Além disso, a implementação não contempla a imersão no mundo virtual do jogo, o que poderia ter impacto positivo significativo no desempenho dos usuários.

Investigando a influência de um sistema mais imersivo no qual os participantes visualizassem o ambiente e interagissem durante a sessão, Park et al. (2012) desenvolveram um exergame chamado Swan Boat. O exergame monitora esteiras ergométricas e os movimentos dos jogadores (através de braceletes com acelerômetros). A proposta foi bastante bem sucedida em exercitar os jogadores. Experimentos conduzidos com voluntários confirmaram um gasto energético aproximadamente 54% sobre aquele aferido sem o uso do Swan Boat.

Anderson-Hanley et al. (2012) pesquisou os efeitos do exercício com exergames em idosos, principalmente quanto à prevenção de doenças. O exergame proposto, chamado Cybercycle, consiste em um simulador de realidade virtual de ciclismo. A visualização é feita em um televisor e o sistema monitora a velocidade de uma bicicleta ergométrica. O trabalho demonstrou os efetivos benefícios do Cybercycle, inclusive frente ao grupo que realizou os exercícios tradicionais em mesmo nível de esforço, apontado para a capacidade do Cybercycle trazer benefícios fisiológicos adicionais, superiores à prática de atividade física.

Apesar de demonstrar os benefícios de exergames, a maior parte dos trabalhos restringiu-se aos modos competitivos ou mesmo *single player* de jogos. Como será apresentado neste trabalho, há evidências que apontam para a necessidade de verificar possíveis efeitos que outros modos de jogo poderiam ter e quais características poderiam ser integradas às aplicações para promover maior estímulo aos praticantes.

# 3 DETALHAMENTO DO RUNNING WHEEL

Este trabalho propõe um sistema motivacional – um exergame – que estimula seus jogadores a suportar uma carga maior de esforço físico, servindo também como uma fonte de diversão e distração para sua atividade de corrida ou caminhada.

O exergame, chamado **Running Wheel**, consiste em um ambiente virtual no qual o praticante irá visualizar seu avatar correndo. Diversas características são integradas ao Running Wheel como forma de aumentar a motivação.

Este capítulo irá apresentar os detalhes da concepção do Running Wheel. A seção 3.1 introduz os conceitos de motivação, sua definição, e de que forma isso poderia influenciar o jogador. A seção 3.2 detalha os modos de jogo: *single player*, *multiplayer* competitivo e colaborativo. A seção 3.3 descreve a arquitetura básica do Running Wheel, utilizada nos modos de jogo *single player* e *multiplayer*. A implementação do sistema será abordada no capítulo 4.

## 3.1 Conceito de motivação

Apesar da motivação ser frequentemente vista como um conceito único em si, pode-se demonstrar que existem de fato muitas formas de motivação, por exemplo, uma pessoa pode ser incentivada a uma ação por um sentimento profundo que a compele a realizá-la, ou então por alguma recompensa externa tal como um prêmio ou recompensa física (BAUMEISTER; BUSHMAN, 2011). A Teoria da Autodeterminação (*Self Determination Theory*) foi desenvolvida por Deci e Ryan, e postula que a motivação pode ser definida como sendo **intrínseca** ou **extrínseca** (DECI; RYAN, 1985).

Uma pessoa intrinsecamente motivada realiza o exercício unicamente pela satisfação da atividade em si. Já uma pessoa motivada extrinsecamente realiza sua tarefa em busca de uma recompensa, porque tal atividade faz parte de uma rotina de exercícios prescrita pelo seu médico, ou ainda, porque faz parte da grade curricular obrigatória da escola. Portanto podemos ver que, mesmo em se tratando de motivação extrínseca, podem existir várias graduações do quanto o incentivo será de fato assimilado, ou integralizado, pelo praticante (por exemplo, se ele faz isso devido a uma regra escolar pode não ser tão significativa quanto se ele o fizesse para melhorar sua saúde).

Esses conceitos, na verdade, formam um contínuo de motivação, variando desde *amotivação* (onde não há qualquer tipo de estímulo) até a *motivação intrínseca*, passando por vários graus de *motivação extrínseca*.

Independente da forma de estímulo, um aumento na automotivação estaria ligado a três características fundamentais. São elas: afinidade, capacidade e autonomia (RYAN; DECI, 2000). Estas características facilitam a internalização de um estímulo (ou seja, o tornam mais próximo de um estímulo intrínseco) e desta forma aumentam o incentivo para determinada tarefa.

- **Afinidade:** refere-se à identificação que o sujeito tem com outras pessoas, à sensação de fazer parte de um grupo, que por sua vez aprecia determinadas ações ou valores como significantes;
- **Capacidade ou competência percebida:** relaciona-se com o sentimento de poder realizar certa ação. “Uma atividade é mais facilmente internalizada quando o sujeito percebe que grupos relevantes a valorizam, e quando ele percebe que consegue ser eficaz naquela tarefa” (RYAN; DECI, 2000, p. 73);
- **Autonomia:** busca agregar os valores ou ações que estejam sendo motivados ao indivíduo, ou seja, como se este fosse a origem. Assim como podem existir recompensas ou regulamentos evidentes, é necessário ainda permitir a autonomia de escolha ao indivíduo, para este identificar e integrar aos seus valores e objetivos. A autonomia é facilitada por um sensação de escolha, ou de liberdade de pressões externas, que visivelmente force em determinada direção.

A aplicação desses conceitos como guia para internalização de comportamentos tem sido associada a uma maior adesão e retenção em longo termo em diversos tipos de tratamentos, inclusive em treinamentos físicos (WILLIAMS et al., 1998; CHATZISARANTIS; BIDDLE; MEEK, 1997).

## 3.2 Visão geral do jogo

Considerando-se as diferentes percepções competitivas individuais e preferências de jogo, há pessoas extremamente competitivas, enquanto há outras que não gostam de envolver-se em competições e preferem uma abordagem mais social para sua rotina de exercícios.

O Running Wheel é um exergame motivacional para caminhada ou corrida em esteira ergométrica, que busca internalizar o estímulo para torná-lo mais intrínseco ao usuário, e dessa forma melhorar seu desempenho (e.g. distância percorrida, tempo despendido ou velocidade atingida durante a sessão).

O sistema possui modos de jogo *single player* e *multiplayer*, nas modalidades **competitiva** e **colaborativa**.

Os seguintes elementos visuais, comuns a todos os modos de jogo, são apresentados na Figura 3.1 e serão analisados em detalhes no decorrer dessa seção:

- **Cenário:** o ambiente virtual é composto por uma pista de corrida e elementos de apoio, como por exemplo: vegetação, árvores, pórticos, casas e outras construções modeladas em 3D;
- **Avatar:** é a representação visual do jogador, encontra-se posicionado no centro da tela, e sendo visualizado em terceira pessoa;
- **Mensagens motivacionais:** mensagens de texto mostradas na tela;
- **Mostradores de desempenho:** informam a velocidade, ritmo cardíaco, distância e tempo decorrido.

Figura 3.1 – À esquerda, cenário com construções, vegetação e outros elementos visuais. À direita, jogo com avatar, mensagem de texto motivacional e mostradores de desempenho.



A função das construções no cenário é prover ao jogador um reforço visual quanto à sua velocidade e possibilitar a criação de metas mentais de distância entre os objetos, servindo dessa forma como auxílio na motivação, relacionando-se ao conceito de *autonomia* [de estabelecer as metas intermediárias].

A visualização em terceira pessoa foi escolhido pois possibilita ao jogador ter idéia do corpo de seu personagem e sua movimentação de braços e pernas, que indicam a velocidade da corrida, além de favorecer a inclusão de outros participantes, os quais podem ser colocados à frente ou atrás do avatar principal, segundo critérios de desempenho.

O usuário pode escolher seu avatar entre diversos modelos, e portanto pode optar por aquele com o qual mais se identifique, facilitando a apropriação do personagem virtual e aumentando a imersão no ambiente do jogo.

As mensagens de texto motivacionais são pré-configuráveis, e respondem a eventos de duração da sessão, distância atingida (cumprimento de metas de distância, por exemplo), velocidade da caminhada ou corrida (identificação de mudança de ritmo de corrida para caminhada e

vice-versa), ritmo cardíaco (detecção de alteração devido ao esforço excessivo), entre outras possibilidades.

O conjunto de objetivos a ser considerado durante uma sessão, bem como os parâmetros das metas, podem ser personalizados, possibilitando a qualquer praticante adequar seu perfil de corrida à partida. Após cada sessão o jogador pode verificar seu histórico de desempenho na Internet. Portanto é possível estabelecer metas atingíveis e visualizar sua evolução ao longo do tempo, o que implementa os conceitos de *capacidade* e *autonomia*, necessários à internalização do estímulo.

### **3.2.1 Modo *single player***

O modo *single player* provê as funcionalidades básicas para incentivo durante o exercício. Além disso, o jogador ainda pode utilizar o sistema de gravação para verificar seu histórico de desempenho, acompanhando sua evolução ao longo do tempo. Essas sessões gravadas também podem ser importadas nos modos *multiplayer*.

A Tabela 3.1 apresenta as principais características motivacionais. Elas foram analisadas segundo a Teoria da Autodeterminação, ou seja, de que maneira poderiam favorecer os jogadores a internalizar o incentivo recebido.

O principal fator motivacional objetivado com esse modo de jogo decorre da sensação de imersão no mundo virtual. O corredor pode utilizar-se de elementos do cenários para estabelecer metas intermediárias ou objetivos mais distantes, e tem a sua frente um avatar que responde as suas mudanças de ritmo na esteira.

As mensagens de texto reportam ao corredor quando algum dos objetivos foi atingido, e os mostradores apresentam o ritmo cardíaco em tempo real do corredor, possibilitando ao praticante controlar seu esforço físico.

### **3.2.2 Modo competitivo**

O modo competitivo traz um adversário à experiência do Running Wheel. Esse modo busca explorar a competitividade que muitos usuários possuem, introduzindo o desafio de um competidor no mundo virtual.

O sistema básico compreende as mesmas funções dos sistemas de captura e visualização do modo *single player*, com algumas características adicionais e modificações que podem ser vistas na Figura 3.2. A principal alteração no sistema de visualização é a inclusão de um parceiro virtual ao ambiente, situado próximo ao avatar do jogador, com suas respectivas informações pessoais do perfil pré-configurado. As informações pessoais incluem o modelo do avatar do competidor, os registros da sessão e seu nome.

Além de visualizar seus dados de velocidade, batimentos cardíacos, e distância, o jogador

Tabela 3.1 – Principais artefatos definidos no sistema Running Wheel para motivação no modo *single player*, segundo as características da SDT

Artefato	Descrição	Afinidade	Competência	Autonomia
Ambiente virtual	Criação de metas mentais intermediárias	-	x	x
Avatar	Identificação de si próprio na tela	x	-	-
Mensagens textuais	Estímulo ao chegar a objetivos	-	x	-
Objetivos personalizáveis	Incentivo a aumentar o desempenho	-	x	x
Visualização do histórico de sessões	Acompanhamento da evolução do desempenho	-	x	-
Visualização do ritmo cardíaco e velocidade	Informação sobre capacidade física e desempenho	-	x	-

também vê as informações do seu adversário, sincronizadas com as suas e em tempo real. Esses dados são apresentados próximos ao avatar do competidor, junto com seu nome, de maneira a facilitar à identificação do personagem virtual como um competidor real. Ainda, mostrar o nome atua como reforço sobre a origem dos dados, obtidos de um jogador real e, caso haja algum vínculo entre os participantes, torna-se uma fonte de estímulo adicional.

Quanto às informações do parceiro mostradas na tela, há duas formas de comunicação dos valores:

- a) **Absolutos:** valores registrados pelo módulo de captura do adversário;
- b) **Relativos:** valores refletem a diferença de desempenho entre o usuário e seu competidor.

Mostrar os dados absolutos, ou seja, recebidos diretamente do módulo de captura, visa estimular aqueles corredores mais competitivos, que usualmente motivam-se apenas com as estatísticas brutas reais de seu companheiro.

Dados relativos, no entanto, apresentam a diferença de desempenho entre o jogador e o parceiro selecionado, por exemplo, caso o ritmo cardíaco do jogador seja 150 bpm enquanto o do competidor é 160 bpm, será exibido somente “-10 bpm” no campo referente ao adversário. O mesmo se aplica a todos os sinais do jogo. Dessa forma, o jogador sabe se está melhor ou pior que seu competidor pelo sinal (“+” ou “-”), e quantifica a diferença subtraindo do valor de seu próprio mostrador.

O usuário pode selecionar a maneira que preferir e ainda é possível realizar um processo de equivalência dos dados dos participantes, através da normalização.

Figura 3.2 – Tela do modo *multiplayer* competitivo com mostradores de desempenho do usuário (canto inferior esquerdo), avatar e informações do adversário (canto inferior direito) e mensagem motivacional personalizada com o nome do jogador.



O processo de **normalização**, aplicado às informações coletadas dos sensores, permite reunir corredores que não poderiam competir no mundo real, devido às suas limitações técnicas ou físicas. Uma vez configurados os níveis-alvo de velocidade ou ritmo cardíaco, por exemplo, uma função de transferência faz a equivalência dos objetivos para o usuário atual, e mapeia os dados gravados na sessão anterior ou obtidos em tempo real, do adversário.

Assim como no mundo real, o jogador com ritmo de corrida mais forte posiciona-se à frente. O competidor virtual entretanto permanece sempre visível na tela, mesmo que o usuário tenha desempenho muito superior ao seu adversário ou, de modo contrário, mesmo que seu desempenho seja bastante fraco, ele nunca deixará de ver o parceiro. O objetivo dessa característica é aumentar o nível de sensação de copresença do jogador rival. Se com o passar do tempo a motivação do jogador diminuir, ele visualizará seu parceiro próximo ao seu próprio avatar estimulando-o a correr mais para ultrapassar, ou a aumentar o ritmo para tentar chegar à seu lado.

As mensagens textuais respondem a eventos competitivos, como quando o jogador ultrapassa ou é ultrapassado pelo adversário. O texto das mensagens, que fica armazenado no sistema de controle, ainda utiliza o nome do competidor. As mensagens podem ser pré-configuradas antes de cada sessão. A Tabela 3.2 sumariza as características mais importantes e de que forma elas poderiam incentivar a competição e os usuários deste modo.

Apesar da competição ser um motivador importante, existem pessoas que praticam exercício unicamente pela socialização, sem estabelecer necessariamente qualquer vínculo de competição. Para essas pessoas, o modo competitivo poderia ser pouco motivador, o que levou à concepção

de um modo colaborativo, no qual os praticantes caminham ou correm em busca de um objetivo comum único.

Tabela 3.2 – Principais artefatos definidos no sistema Running Wheel para motivação no modo competitivo, segundo as características da SDT

Artefato	Descrição	Afinidade	Competência	Autonomia
Avatar do adversário	Reconhecimento do competidor	x	-	-
Copresença do adversário próximo	Estímulo constante do competidor	x	x	-
Ultrapassar ou ser ultrapassado	Estímulo à superação ou a manter o ritmo	-	x	-
Normalização dos dados	Competir contra qualquer jogador	x	-	x
Visualizar dados relativos/absolutos	Conhecer a capacidade física	-	x	-
Visualização das informações do adversário	Identificar como sendo um competidor real Saber limitações de desempenho	x	x	-

### 3.2.3 Modo colaborativo

O modo colaborativo tem o objetivo de propiciar aos jogadores uma experiência com ênfase na socialização para seus jogadores. Muitos participantes de atividade física integram equipes de exercício que não possuem qualquer forma de competição entre seus membros. Sua motivação vem justamente da sensação de fazer parte de um grupo com objetivos comuns como manter boa saúde, por exemplo, e das relações sociais ali desenvolvidas. A imposição de fatores competitivos a essas pessoas pode levar à redução da motivação, explicada pelo mecanismo de percepção de externalidade (coação, ou incentivos “externos”), favorecendo a motivação extrínseca, ao invés da desejável, intrínseca.

Os principais fatores de estímulo desses grupos costumam ser: a **comunicação e interação** com outros praticantes, e a criação de **objetivos** comuns. Os integrantes são identificados no jogo através do modelo virtual dos seus jogadores, baseados na imagem física e também dos nomes colocados próximos ao avatar respectivo.

Esse modo favorece a comunicação entre os jogadores através de mensagens de texto, as quais são pré-definidas e apresentadas em diversos momentos durante a sessão. As mensagens podem incluir brincadeiras e provocações entre os integrantes do grupo, e podem responder a eventos, identificados no módulo de controle. Estes eventos incluem análise da velocidade para

indicar mudança no ritmo, acima ou abaixo da média do grupo, por exemplo, e verificação da frequência cardíaca para evitar riscos por esforço excessivo, entre outras.

Além disso, é possível que os participantes do grupo conversem entre si, como se estivessem realizando o exercício lado a lado, no mundo real. Essa característica contribui para integrar os jogadores, e pode ser ativada inclusive em jogos assíncronos, com o uso de gravações que são executadas ao atingir um objetivo, algum ponto do percurso, ou outra etapa escolhido previamente. A captura da fala é feita utilizando-se um microfone e o som pode ser escutado através de fones de ouvido ou caixas com alto-falantes.

Os integrantes de um grupo podem definir objetivos comuns a serem alcançados em conjunto. Assim como no modo competitivo, quaisquer dados dos sensores, ou mesmo combinações, podem ser usados para criar desafios e metas intermediárias. Além dos objetivos coletivos (e.g. o grupo caminhar 50 km em duas semanas), é possível estabelecer marcas individuais (e.g. correr 2 km todos os dias). O jogador recebe mensagens textuais e sonoras (utilizando um sintetizador de fala) de encorajamento e também de reforço sobre seu desempenho individual e comparado com a média da equipe. A visualização é feita em terceira pessoa e todos os parceiros permanecem correndo lado a lado. Se o desempenho do jogador for muito abaixo da média do grupo, ele verá seus parceiros à frente, assim como aconteceria no mundo real.

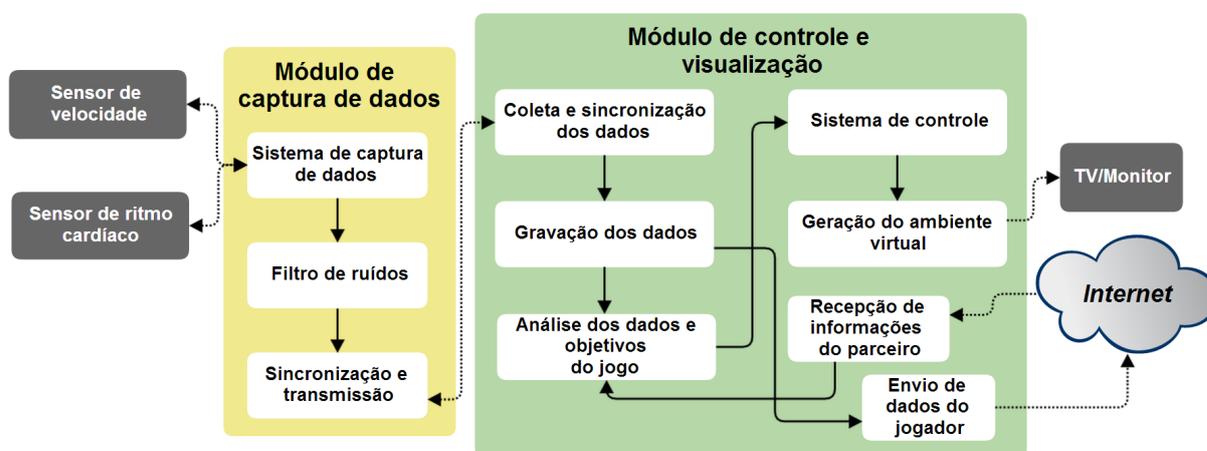
Ao final da sessão, todos os dados de velocidade, distância e frequência cardíaca são disponibilizados em um sistema Web, acessível de qualquer navegador. O histórico do usuário fica armazenado nesse sistema, é possível acompanhar a evolução de um grupo durante o período e também verificar os desafios e metas atingidos. Os principais elementos do modo colaborativo estão listados na Tabela 3.3, que traz sua influência motivacional no jogador.

Tabela 3.3 – Principais artefatos definidos no sistema Running Wheel para motivação no modo colaborativo, segundo as características da SDT

Artefato	Descrição	Afinidade	Competência	Autonomia
Avatar dos parceiros	Reconhecimento dos companheiros na tela	x	-	-
Comunicação com usuários	Socialização entre os integrantes	x	-	-
Formação de grupos remotos	Incentivo e interação com outros	x	-	-
Objetivos comuns	Criação de metas conjuntas e compartilhadas	x	x	x
Personalização das mensagens	Definição de mensagens de texto para o grupo	-	x	x

Percebe-se que os artefatos se complementam no estímulo, sendo que uma característica pode ter influência em muitas áreas, por exemplo: a possibilidade de configurar objetivos comuns serve para que grupos definam, conjuntamente, os desafios alcançáveis, caracterizando, portanto,

Figura 3.3 – Esquemático do Running Wheel com os sistemas de captura de dados, e controle e visualização, e seus subsistemas



o conceito de *competência*. Ao mesmo tempo, é garantida *autonomia* à equipe para a decisão, favorecendo ainda a idéia de *afinidade*, em ter uma meta única para os praticantes daquele grupo social.

### 3.3 Arquitetura do Running Wheel

A arquitetura do Running Wheel permite a captura dos dados da esteira ergométrica e do usuário, seu processamento e renderização em um ambiente virtual mostrado para o jogador através de um exergame com diferentes modos. A Figura 3.3 apresenta o esquemático com os principais componentes dos módulos principais do sistema.

Conceitualmente, é constituído por dois módulos principais: um módulo de monitoramento e **captura de dados**, e outro de **controle e apresentação** do jogo.

O módulo de captura de dados agrega as informações dos sensores, realizando também a filtragem e transmissão para o módulo de controle e visualização.

No módulo de controle e visualização, os dados são gravados e processados. É feita a análise dos objetivos e perfis dos jogadores e parceiros. Após, é gerado o ambiente gráfico do jogo, as mensagens textuais, os mostradores de desempenho e avatares, que finalmente são exibidos em um monitor ou televisor, posicionado à frente do jogador.

As próximas seções irão descrever em detalhes cada um dos módulos.

#### 3.3.1 Módulo de captura de dados

Os dados de velocidade, distância, e ritmo cardíaco são capturados pelo módulo de captura e transmitidos para o módulo de controle e visualização, onde eles são armazenados e exibidos

durante a sessão através de mostradores sobrepostos à tela.

- **Sistema de captura de dados:** opera em baixo nível, conectando-se diretamente aos sensores eletrônicos para detecção da velocidade de uma esteira ergométrica. Para detecção do ritmo cardíaco podem ser empregados sensores integrados à esteira ou mesmo sem fio, através de cintas utilizadas junto ao peito. Outras informações são registradas durante a fase de configuração: sexo, peso, altura, e idade, os quais permitem o cálculo do IMC, da frequência cardíaca máxima e faixa ideal para treinamento;
- **Filtro de ruídos:** os dados coletados são agregados em um único subsistema, que filtra eventuais ruídos oriundos das fontes de registro, e também atualiza o vetor que guarda as informações, atualizando-o com os novos dados recebidos;
- **Sincronização e transmissão:** devido às diferentes formas de amostragem, é necessário proceder uma sincronização prévia dos registros antes da transmissão. A frequência de batimentos, por exemplo, necessita ser medida ao longo de um período de alguns segundos, haja visto que tempos menores que 15 segundos, usualmente levam a medidas imprecisas (devido às irregularidades na distribuição das contrações do coração, entre outros motivos não-patológicos). Já a velocidade da esteira ergométrica pode sofrer variação neste período de aferição do ritmo cardíaco, necessitando portanto uma frequência de amostragem maior.

Após essa etapa, os registros da sessão são transmitidos para processamento no módulo de visualização e controle.

### 3.3.2 Módulo de controle e visualização

O módulo de controle e visualização é responsável pela exibição do cenário, do avatar, de mensagens textuais, e dos dados do jogador, como velocidade e ritmo cardíaco. Conforme visto na Figura 3.3, os seguintes componentes fazem parte do módulo:

- **Coleta e sincronização dos dados:** esse subsistema é responsável pela comunicação com o módulo de captura. Os dados são recebidos e agregados às informações pessoais do usuário, atualizando os campos conforme o período de sincronização pré-configurado anteriormente;
- **Gravação dos dados:** o armazenamento e envio das informações dos usuários permite sua imediata recuperação por outra instância do Running Wheel. Logo, dois sistemas podem compartilhar uma sessão de corrida síncrona, *multiplayer*. Caso a sessão já tenha terminado, é possível acessar as mesmas funções utilizando-se do mecanismo de gravação dos sinais, fazendo uma sessão assíncrona;

- **Envio de dados do jogador:** os dados são armazenados remotamente, e/ou enviados a outras instâncias do jogo, conectadas através da Internet. O controle do sincronismo é feito no próprio registro o qual guarda seu *timestamp* de aquisição;
- **Análise dos dados e objetivos do jogo:** com base nas informações coletadas e desempenho passado é realizado um processo de análise da situação do jogador, em tempo real, e caso seja necessário são enviadas mensagens motivacionais para o usuário, como por exemplo: mensagens para aumentar a velocidade (caso o batimento cardíaco esteja abaixo do limiar calculado com base na sua idade e IMC), ao atingir objetivos de distância ou tempo (a cada quilômetro ou a cada 5 minutos, por exemplo) e mensagens de incentivo;
- **Recepção de informações do parceiro:** as informações de um eventual parceiro podem ser buscadas em um servidor de armazenamento na Internet;
- **Sistema de controle:** é responsável por guardar o perfil do jogador (i.e. seu avatar, suas sessões passadas gravadas, mensagens personalizadas e outras informações individuais, como por exemplo idade, peso e altura), e recebe o estado atual da sessão. Comunica-se com o sistema de geração do ambiente virtual para fazer a atualização do jogo;
- **Geração do ambiente virtual:** faz a renderização do ambiente do jogo com avatares dos participantes, cenário e informações complementares, inclusive mensagens. Os gráficos são exibidos em um monitor posicionado à frente do praticante.

A modularização do projeto do Running Wheel permite uma maior flexibilidade na integração com outros ambientes, por exemplo: permite a captura da velocidade de uma bicicleta ergométrica ou outros equipamentos de exercício, a incorporação de outros sensores do usuário e a transmissão dos dados para outros sistemas. Desta forma é possível a expansão tanto do Running Wheel quanto de suas aplicações futuras.

# 4 IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo detalha a implementação do sistema Running Wheel, definido no capítulo 3, e utilizado na avaliação e investigação das hipóteses desse trabalho. Ele está organizado da seguinte maneira: a seção 4.1 introduz uma visão geral do sistema com seus módulos principais, e a forma de comunicação entre eles. A seção 4.2 detalha o módulo de coleta de sinais, e os dispositivos eletrônicos integrados ao sistema. Na seção 4.3 será visto o módulo de controle, e os módulos de processamento dos sinais, gravação dos dados e visualização na Web. Por fim, a seção 4.4 descreve como é gerado o ambiente virtual do jogo.

## 4.1 Visão geral

Esta seção irá apresentar uma visão geral dos componentes de hardware e software do Running Wheel. A implementação e demais decisões de projeto específicas de cada componente serão detalhadas ao longo das próximas seções, dentro de cada módulo, nas seções 4.2, 4.3 e 4.4.

A Figura 4.1 traz a visão conceitual do sistema, à esquerda, e uma foto com sua montagem final no ambiente de experimentação, à direita. Os componentes de hardware do Running Wheel são:

- Esteira ergométrica;
- Computador conectado à Internet, executando o sistema Running Wheel;
- Televisor posicionado à frente do usuário, conectado ao computador;
- Servidores conectados à Internet para gravação e visualização do histórico de resultados;
- Sensores para monitoramento dos batimentos cardíacos do praticante e para detecção da velocidade da esteira ergométrica.

O esquemático do Running Wheel e seus componentes de software são apresentados na Figura 4.2, onde os elementos funcionais são representados por blocos. O diagrama compreende os módulos de captura de dados, de controle e visualização e servidores na Internet, conforme o modelo conceitual visto no capítulo 3.

O módulo de captura de dados (ver seção 4.2) foi implementado através dos seguintes blocos:

- **Arduino:** microcontrolador responsável pela coleta dos sinais dos sensores;

Figura 4.1 – À esquerda, modelo conceitual do sistema: esteira ergométrica, sensores de velocidade e frequência cardíaca, e PC para processamento e geração do ambiente virtual; à direita, Running Wheel em funcionamento



- **Arduino USB Communication:** transfere os dados coletados para o programa de controle, fazendo papel intermediário na aquisição dos sinais do jogador.

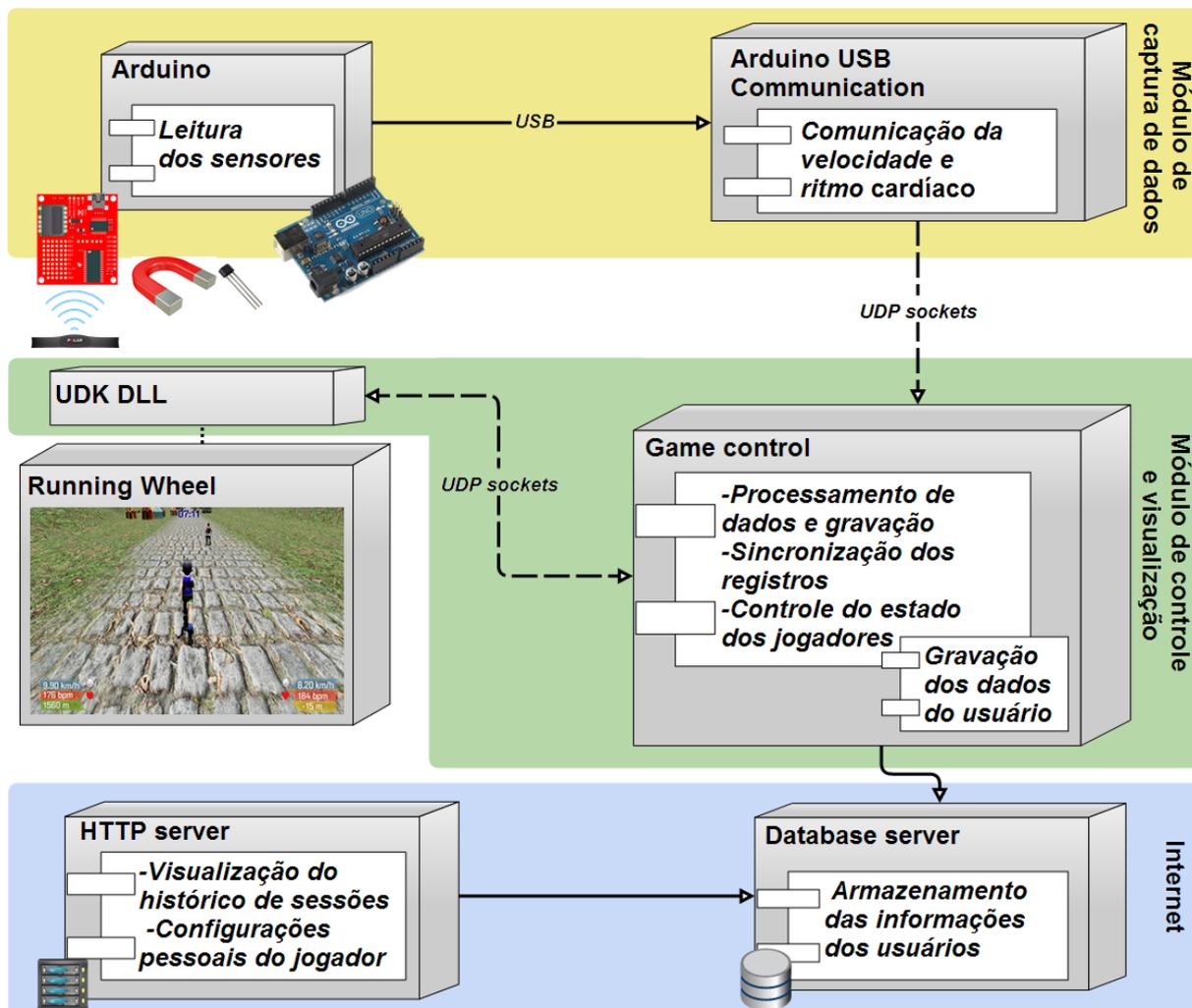
O módulo de controle e visualização (descrito na seção 4.3), por sua vez, recebe as informações coletadas e faz o processamento e geração do ambiente do jogo, sendo composto por dois blocos:

- **Game control:** realiza o processamento e gravação dos dados recebidos do módulo de captura. Comunica-se com o jogo, controlando os elementos mostrados;
- **UDK DLL:** retransmite para o jogo as mensagens de controle geradas no bloco *Game control*.

Os dados das sessões são gravados e podem ser acessados através de um site, o que foi implementado por dois subsistemas:

- **Database server:** servidor de banco de dados responsável pelo armazenamento dos registros das sessões;
- **HTTP server:** servidor Web que permite aos usuários visualizar seu histórico de sessões e configurar seu perfil pessoal de jogo.

Figura 4.2 – Diagrama esquemático do sistema Running Wheel com seus principais componentes e conexões lógicas e físicas



## 4.2 Captura de dados

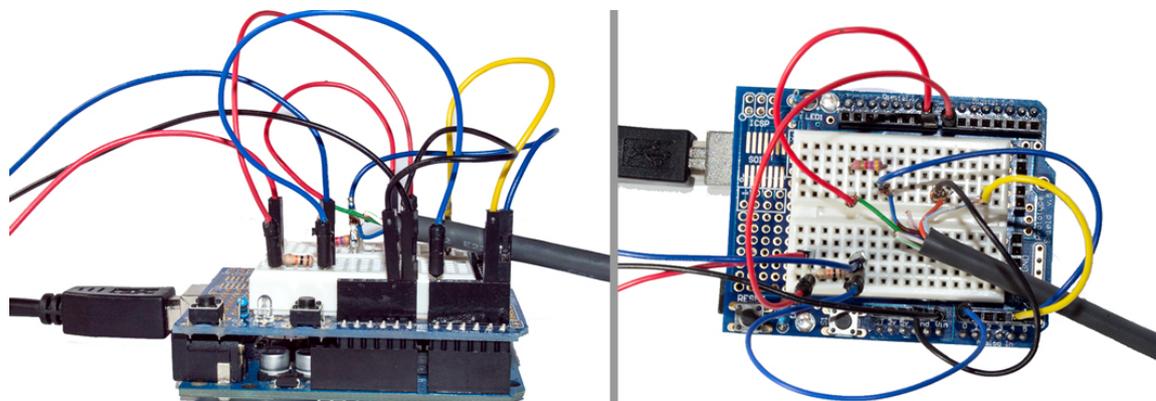
O módulo de captura de dados realiza a interface do Running Wheel com os sinais gerados pela esteira ergométrica e pelo jogador. Para comunicação com os sensores foi escolhida a placa de prototipação Arduino<sup>1</sup>, devido ao seu baixo custo, alta confiabilidade e facilidade de programação, uma vez que usa linguagem de programação C.

Ambos os sensores se conectam com o Arduino (ver montagem final na Figura 4.3) através de seus pinos de sinal, próprios de cada dispositivo. Já o Arduino, usa conexão USB para receber e transmitir os dados ao PC, que por sua vez comunica-se através de sockets UDP com o processo de controle (*Game control*).

Entre os diferentes dispositivos de mensuração de velocidade, foram estudadas três opções para serem aplicadas ao Running Wheel. Os dispositivos e seus mecanismos de funcionamento

<sup>1</sup> <http://www.arduino.cc/>

Figura 4.3 – Visão lateral e superior do circuito montado em uma protoboard conectada ao Arduino.



estão listados abaixo:

- a) Uso do próprio **sensor integrado à esteira**. Geralmente as esteiras possuem um sensor de velocidade embutido no equipamento, o qual mostra a velocidade em um visor LCD, e pode ser conectado em paralelo para envio da velocidade para o PC;
- b) Uso de **LED e foto transistor**. Utiliza-se um LED e um foto transistor para detecção da intensidade da luz refletida pela superfície da cinta da esteira. A intensidade da luz recebida varia conforme ela é absorvida ou refletida por uma superfície, possibilitando a mensuração da velocidade através de marcações equidistantes na cinta;
- c) Captura por meio de um **sensor de efeito Hall**<sup>2</sup> que registra a passagem de um ímã fixado na cinta da esteira ergométrica. Sabendo-se o tamanho da cinta e o intervalo de tempo é calculada a velocidade.

A Tabela 4.1 sumariza as vantagens e desvantagens de cada método investigado.

Tabela 4.1 – Análise dos sensores considerados para detecção da velocidade da esteira

Sensor	Descrição	Vantagem	Desvantagem
Sensor da esteira	Sensor da própria esteira	Alta precisão	Dificuldade de adaptação do software, dependendo do modelo da esteira
Foto transistor	Registra marcas ópticas na cinta da esteira	Baixo custo Facilidade de instalação	Acúmulo de sujeira pode levar à imprecisão
Sensor de efeito Hall	Registra marcas magnéticas na cinta da esteira	Baixo custo Resistente à sujeira	Necessário fixar um pequeno ímã à cinta da esteira

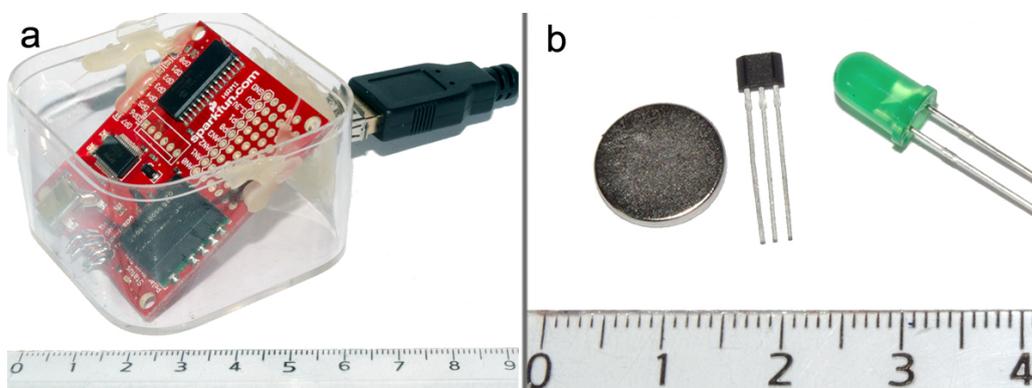
<sup>2</sup> Sensor hall é um componente eletrônico semelhante a um transistor, capaz de mudar de estado (variar sua tensão de saída) em função da mudança do campo magnético. Devido à sua alta confiabilidade e baixo custo de produção acabaram tendo diversas aplicações na indústria (RAMSDEN, 2011).

A opção escolhida foi o sensor de efeito Hall, modelo Melexis US1881 (ver Figura 4.4b). Esse componente é do tipo *latch*, ou seja, ao detectar um pólo magnético, o estado do seu pino de saída é invertido, ficando nesse estado até a aproximação do pólo oposto.

O sensor foi fixado à estrutura da esteira e um pequeno ímã colado na cinta de rolagem (visto na Figura 4.4b). A passagem desse ímã próximo ao US1881 gera um pulso no pino de saída (*Data*), o qual é propagado do componente até o Arduino, e finalmente para o PC. A mensuração da velocidade leva em conta o tamanho da esteira, configurado no módulo de controle. Desse modo, o sistema de captura da velocidade pode ser facilmente integrado à uma esteira comum, de forma independente, e dispensando desmontar o equipamento ou mesmo interferir com algum de seus componentes.

A captura do ritmo cardíaco em tempo real foi implementada através de um circuito comercial chamado Polar Heart Rate Monitor (modelo SEN-08661, mostrado na Figura 4.4a), que funciona em conjunto com o Arduino. Esse dispositivo realiza o pareamento e leitura de monitores cardíacos sem fio. Para isso, basta o usuário vestir uma cinta elástica com o módulo transmissor, sobre o peito, na altura do coração.

Figura 4.4 – a) placa de captura do ritmo cardíaco dentro de uma caixa de proteção (com régua milimetrada para escala); b) ímã, sensor Hall US1881 e LED 5mm (para comparação de tamanho) e régua para escala

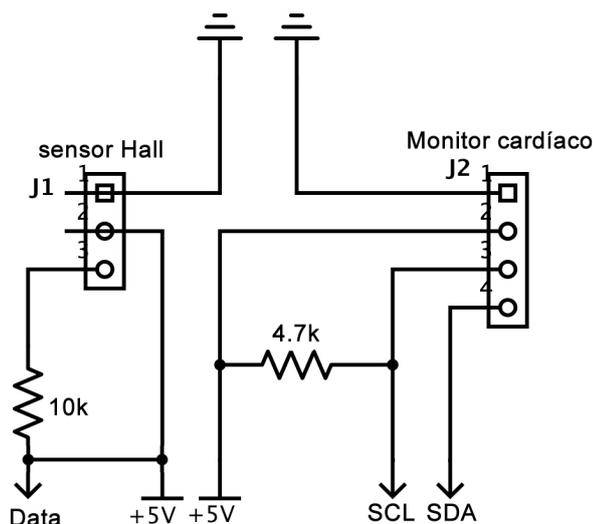


O SEN-08661 integra um chip receptor Polar-RMCM01, e conecta-se com o Arduino através da interface de comunicação  $I^2C$ , comum de muitos dispositivos eletrônicos. Essa interface utiliza dois fios para transferência serial de dados (chamados *Data*, ou SDA; e *Clock*, ou SCL) e dois para alimentação (5V e GND). A placa foi colocada próximo à esteira, porém afastada do motor, para diminuir a interferência eletromagnética causada pelo seu acionamento. Por causa disso, o projeto final do circuito utiliza resistores de *pull-up*<sup>3</sup> em ambas as entradas de sensores, como por ser visto no esquemático apresentado na Figura 4.5.

<sup>3</sup> Resistores de pull-up tem a função de evitar flutuações nos níveis de tensão em um circuito eletrônico, garantindo que as saídas estejam em um estado lógico consistente.

O Polar Heart Rate Monitor suporta grande variedade de monitores popularmente utilizados durante a corrida, tanto da Polar como de outros fabricantes. Portanto, a monitoramento do ritmo cardíaco é acessível, restando ao usuário escolher um monitor compatível dentre os diversos modelos disponíveis.

Figura 4.5 – Diagrama esquemático do circuito. Entradas: sensor Hall (J1, 3 pinos) e monitor cardíaco Polar SEN-08661 (J2, 4 pinos). Saídas: sinais Data, SCL e SDA, conectados no Arduino.



Os sinais recebidos no bloco *Arduino USB Communication* passam por um filtro para remoção de eventuais ruídos (sinais fora dos padrões de normalidade, como mudança muito brusca de velocidade ou batimento cardíaco). Após, os dados são serializados e transferidos para o bloco *Game control*, por meio de sockets UDP pelo programa *Arduino Communication*. A interface desse aplicativo é apresentada na Figura 4.6, na qual é visto, à esquerda, uma caixa de texto onde são mostrados os dados coletados dos sensores, retransmitidos ao *Game control* e, à direita, os controles de comunicação serial (porta, taxa de bauds, paridade, stop bit e modo de operação).

### 4.3 Sistema de controle

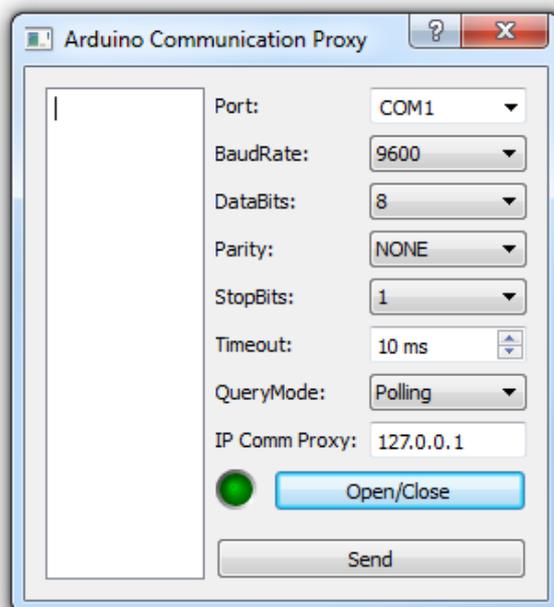
O bloco de controle (*Game control*) comunica-se com o módulo de captura de dados, com o banco de dados para busca e registro das informações da sessão e com a saída de vídeo para visualização. Sua implementação compreende o jogo em si, implementado com o UDK Engine<sup>4</sup>, o sistema de controle principal, codificado em C++ com o framework Qt<sup>5</sup>, e os sistemas Web e de banco de dados, em PHP e SQL.

Devido aos requisitos iniciais do projeto identificou-se a necessidade do uso de um framework de desenvolvimento já que várias funções requeridas como, por exemplo, comunicação pela

<sup>4</sup> <http://www.unrealengine.com/>

<sup>5</sup> <http://qt-project.org/>

Figura 4.6 – Programa *Arduino Communication*, que realiza a comunicação com o Arduino e com o módulo de controle e visualização



rede, interface gráfica com o usuário e gerência de entrada/saída de arquivos poderiam ser disponibilizadas, não necessitando ser implementadas.

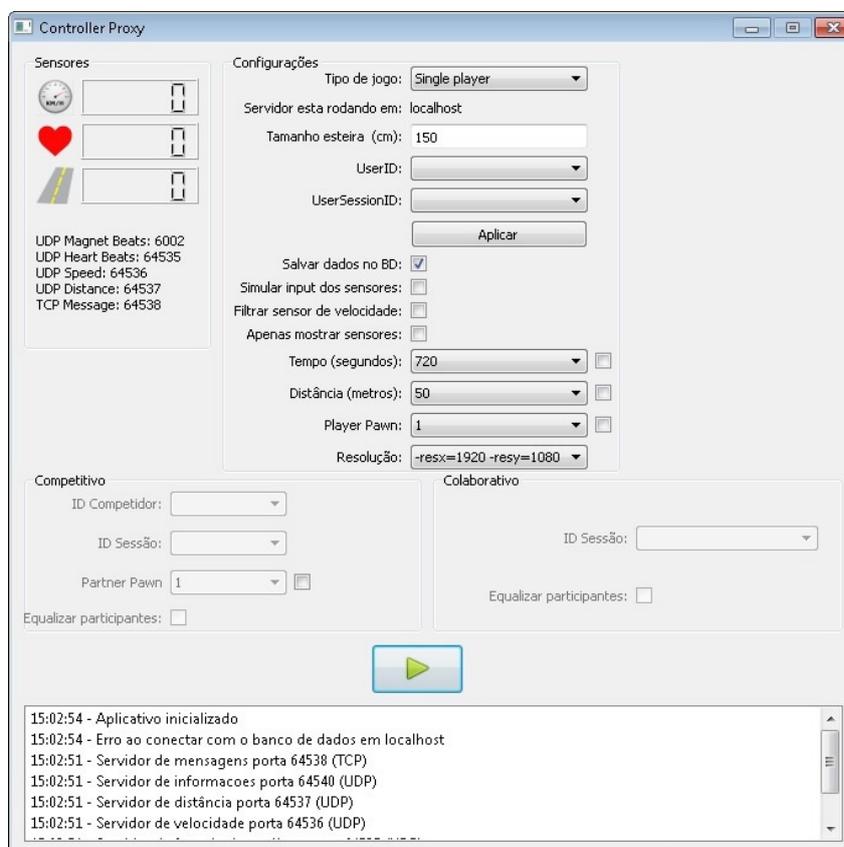
O Qt é um framework desenvolvido nativamente em C++ como forma de estender a própria linguagem. Foi criado pela empresa norueguesa Trolltech (BLANCHETTE; SUMMERFIELD, 2006). A primeira versão do Qt foi lançada em 1995 e durante os anos seguintes ele sofreu sucessivas melhorias chegando atualmente a versão 4 possuindo cerca de 500 classes e mais de 9000 funções (BLANCHETTE; SUMMERFIELD, 2006), entre as bibliotecas incluídas estão: multithreading, gerenciamento de gráficos 2D e 3D com OpenGL, integração com banco de dados, e suporte a múltiplos protocolos de rede (HTTP, FTP e DNS).

Dentre os dois frameworks analisados, por apresentar uma biblioteca mais rica, por possuir uma documentação maior e melhor estruturada e também por possuir suporte às bibliotecas de visualização DICOM, o Qt foi escolhido como framework de desenvolvimento do projeto.

O componente *Controller Proxy* (ver Figura 4.7) é o principal controle do sistema, onde é feita a configuração da sessão e compõe, juntamente com o módulo Web, a interface de comando de todo o sistema Running Wheel. Como pode ser visto na imagem, o programa apresenta o estado do usuário através de três mostradores: velocidade, ritmo cardíaco e distância. Permite configurar o tamanho da esteira e habilitar objetivos como tempo de duração e/ou a distância máxima. Há ainda campos para seleção dos usuários cadastrados, e da sessão e adversário no modo competitivo, ou da sessão no modo colaborativo. A interface conta com uma caixa de *log* onde mostra o estado do sistema e das conexões com dispositivos de monitoramento e servidor

de banco de dados, além de informações gerais sobre seu funcionamento.

Figura 4.7 – *Controller Proxy*, principal programa de configuração e controle do Running Wheel



Entre as funções do *Controller Proxy* estão: leitura dos dados dos parceiros (obtidos do banco de dados configurado no próprio programa), configuração do avatar dos jogadores, escolha do tipo de sessão (*single player*, competitiva ou colaborativa), dos objetivos, que podem ser um tempo ou distância. Após o usuário fazer a configuração da sessão, ele clica no botão *Play* que inicia o jogo, conforme seus parâmetros.

O *Controller Proxy* mantém as informações do usuário sincronizadas com os dados coletados no *Arduino Communication*, fazendo uso de servidores UDP para comunicação. Esses serviços atualizam as classes que representam os jogadores no programa principal. Os servidores do jogador e do parceiro executam de maneira independente e um contador único de sincronismo mantém os registros gravados e coletados alinhados, no mesmo passo, sendo atualizado junto com o *clock* do sistema. O *clock* do sistema é configurável e define o tempo de amostragem para armazenamento das informações de distância, ritmo cardíaco, velocidade e tempo decorrido da sessão.

A implementação modela os jogadores reais em classes as quais representam seus objetivos e seu estado atual. A Figura 4.8 traz o diagrama de classes UML das principais classes. Os atributos da classe *User* guardam os parâmetros dos objetivos (ritmo cardíaco, distância e velocidade

mínima) e monitora o estado do jogador através dos sinais *isSpeedLow* e *isHeartbeatHigh*, por exemplo. Essa classe recebe e grava, em uma lista, dados do tipo *RunnerInfo* que modelam os registros de uma sessão, ou seja, os dados registrados dos usuário.

A comunicação com o banco de dados se dá através de uma conexão direta com o SGBD, utilizando-se o protocolo proprietário PostgreSQLProtocol, disponibilizado no driver nativo para Qt (QPSQL). Para evitar interrupções ou atrasos devido a indisponibilidades da rede ou da Internet durante as sessões, os dados são lidos de uma única vez, quando o usuário clica em *Play*, e após a conclusão da sessão são escritos com um clique no botão *Stop*.

O controle do sistema de visualização ou seja, do jogo, é feito através de uma DLL, uma vez que a versão de desenvolvimento utilizada do UDK não permite a chamada direta a métodos de outro programa, sendo necessário portanto a troca de mensagens pela rede. O protocolo UDP foi escolhido por ter menor *overhead* do que o TCP, melhor desempenho e escalabilidade.

A comunicação entre o *UDK DLL* e o *Controller Proxy* acontece da seguinte maneira: o *Controller Proxy* cria um socket UDP em uma porta pré-definida e aguarda uma mensagem da *UDK DLL*, que é chamada pelo próprio jogo, em intervalos de tempo pré-configurados, para atualização dos sinais exibidos no monitor. O protocolo de comunicação serializa todas as informações do usuário em uma sequência de caracteres, decodificada no jogo.

### 4.3.1 Web e banco de dados

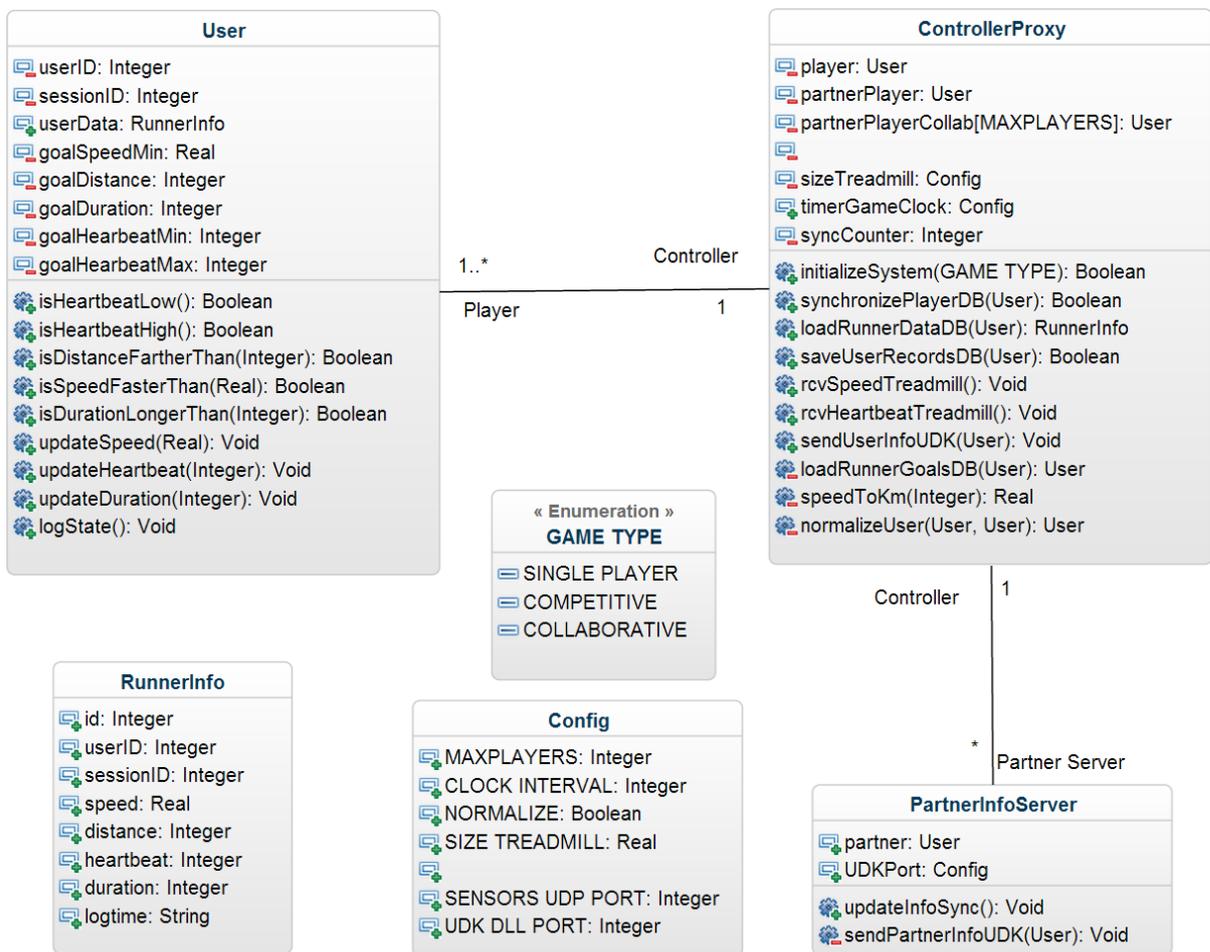
O bloco *Database server* é responsável por armazenar e recuperar todos os dados referentes aos jogadores e às sessões. As informações pessoais dos usuários são gravadas bem como as configurações individuais de cada sessão e os dados coletados do jogador. A Figura 4.9 apresenta o diagrama ER do banco de dados. As tabelas do banco são: *users*, *info\_session*, *session* e *message*, e serão detalhadas a seguir. A estrutura de tabelas utilizada permite o reuso de sessões competitivas ou colaborativas, conforme a preferência do usuário, haja visto que as informações capturadas durante a sessão ficam na tabela única *session*.

A tabela *user* contém as seguintes informações dos jogadores: id, nome, sexo, idade e identificador do avatar escolhido. O usuário é criado pelo sistema Web, sendo a ele atribuído um identificador único, que é usado na interface de controle para seleção do jogador ou do parceiro. A partir de um id de um jogador, é possível acessar todas as suas sessões cadastradas.

As metainformações sobre cada sessão ficam na tabela *info\_session*, indexadas por um identificador único. Adicionalmente são guardados os objetivos de distância, velocidade e tempo, os limites de batimentos cardíacos individuais de cada jogador, tipo de jogo, e os identificadores de eventuais parceiros na sessão.

Por sua vez, a tabela *session* faz o registro dos dados coletados do usuário durante a sessão. Além dos identificadores do usuário e da sessão (campo id da tabela *info\_session*), são guardadas

Figura 4.8 – Diagrama de classes com os principais componentes implementados no sistema de controle



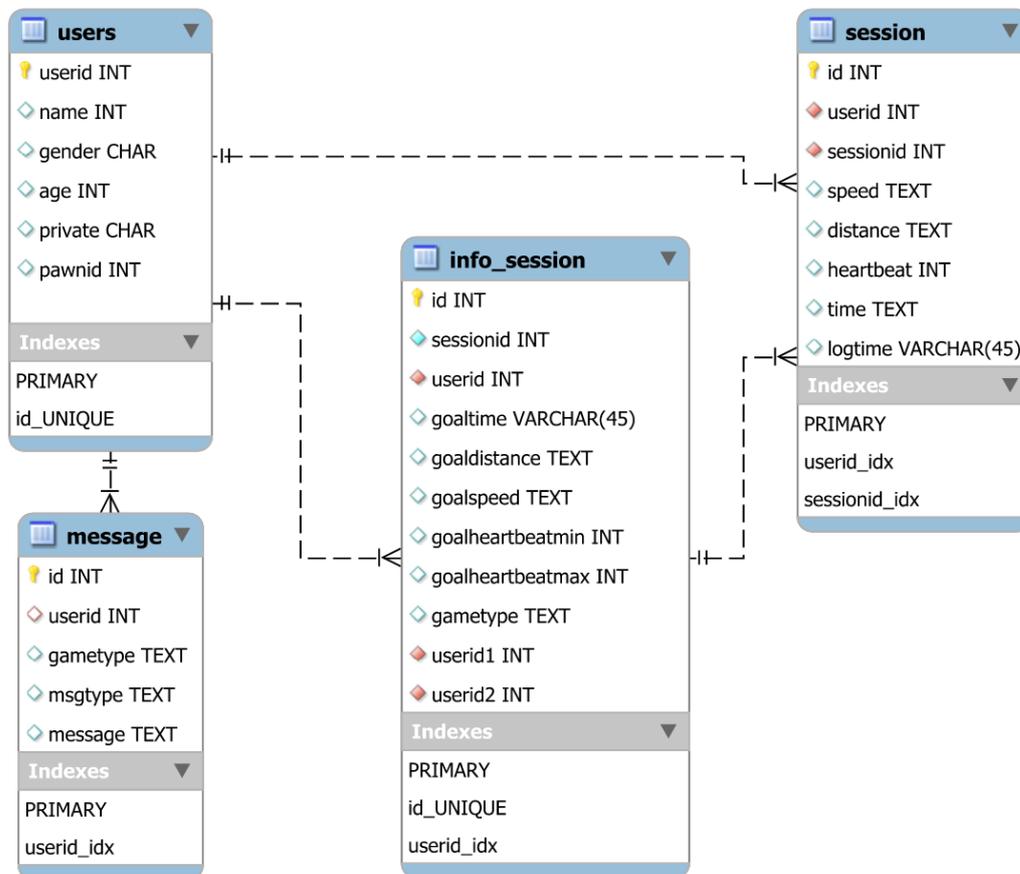
as seguintes informações: a velocidade, ritmo cardíaco, distância e duração (tempo decorrido desde o início).

A tabela *message* armazena mensagens de texto personalizadas segundo eventos da sessão (e.g. início, término, ultrapassagem do competidor, relatório de desempenho, cumprimento de metas e objetivos). Ela possui três campos principais que registram o identificador do usuário, o tipo de evento daquela mensagem e o texto em si, o qual pode conter caracteres especiais a serem substituídos no controle pelo nome do parceiro, informação de velocidade, entre outras.

O SGBD utilizado foi o PostgreSQL<sup>6</sup> devido a sua licença de uso gratuita e ao suporte para este sistema no framework Qt, o qual disponibiliza um driver para acesso e consultas. Além disso, o PHP (linguagem de implementação do sistema Web) é compatível nativamente com bancos PostgreSQL, oferecendo procedimentos para inserção, atualização e seleção de registros em SQL e favorecendo portanto o uso desse sistema. O bloco *HTTP server* implementa um site com diversas funcionalidade como visualização do histórico de desempenho, cadastro de jogadores e

<sup>6</sup> <http://www.postgresql.org/>

Figura 4.9 – Diagrama ER do banco de dados



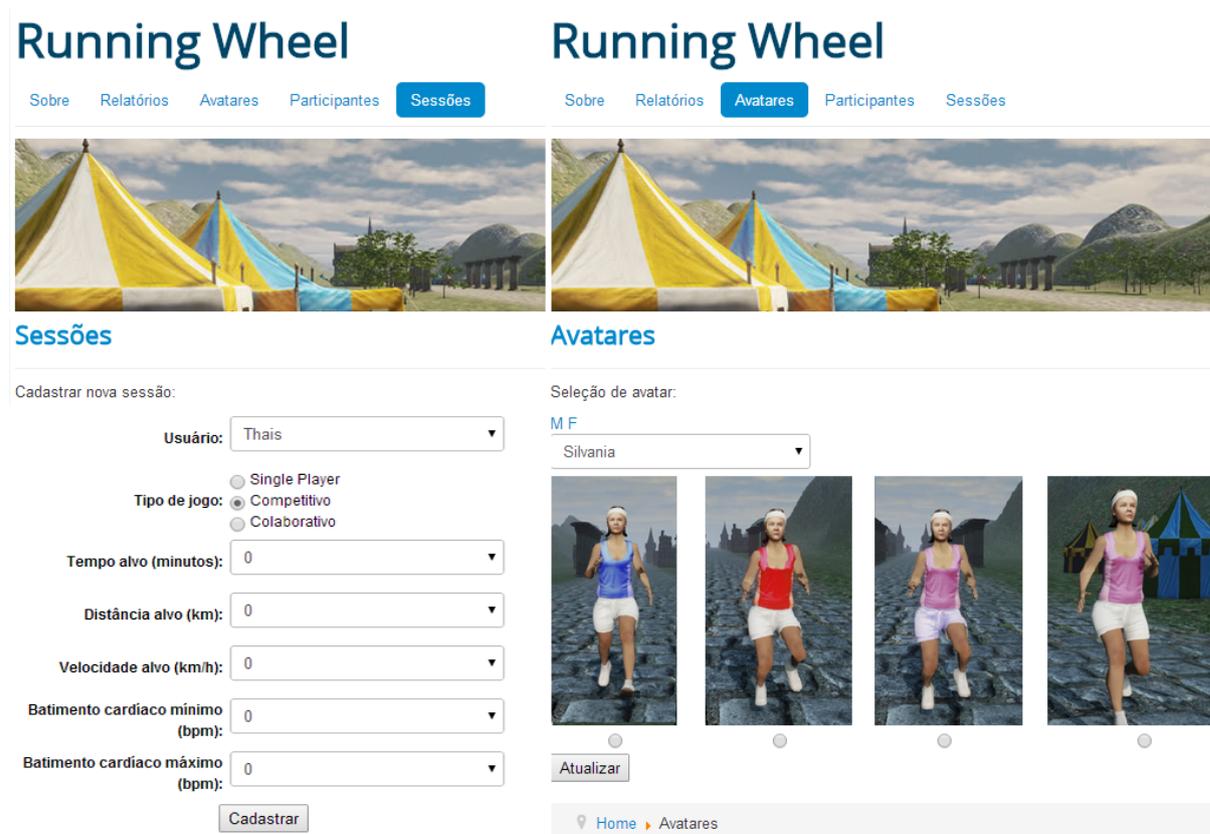
novas sessões, e seleção do personagem de preferência, como pode ser visto na Figura 4.10.

O site permite o acesso remoto de usuários cadastrados, que podem verificar através de uma listagem (*ranking*, apresentado na Figura 4.11), na página de relatórios, seu histórico pessoal e também o comparativo com outros usuários do sistema. As informações apresentadas são: nome, velocidade final, velocidade média, frequência cardíaca e distância final. Os usuários podem ainda escolher não aparecer no ranking, como forma de garantir a privacidade de suas informações.

O sistema Web implementa também a escolha do avatar do jogador, que pode optar entre quatro modelos femininos e quatro modelos masculinos, vistos na Figura 4.12. As informações de preferência, assim como o nome, idade e sexo do usuário são registradas na tabela *user* do banco de dados.

A página de criação de sessões implementa o cadastramento de uma sessão de jogo (*single player*, competitiva ou colaborativa), a definição dos objetivos e a seleção de parceiros. Essas configurações são então gravadas no banco de dados, na tabela *info\_session*, para serem recuperadas posteriormente pelo sistema de controle (*Controller Proxy*) ao iniciar o jogo.

Figura 4.10 – Visão do sistema Web: à esquerda, página de criação de sessões; e à direita, seleção de um avatar feminino



## 4.4 Sistema de visualização

O sistema de visualização realiza a renderização dos gráficos do jogo sendo portanto a interface de motivação para o usuário. Ele foi implementado com a Unreal Engine com scripts em UnrealScript para cada um dos modos de jogo.

A sincronização do jogo com o *Controller Proxy* se dá segundo um *clock* no qual a *UDK DLL* atualiza seu estado com as informações do *Controller Proxy*. O jogo então recebe uma mensagem, faz o *parsing* do conjunto de caracteres e atualiza o valor de cada uma das variáveis do jogador: distância, ritmo cardíaco, velocidade, mensagem de texto e controle do estado do jogo. Caso o modo de jogo seja *multiplayer* a mensagem conterà também a informação de velocidade, ritmo cardíaco e distância do competidor, ou do grupo, caso seja colaborativo.

Como pode ser visto na Figura 4.13, o jogo apresenta o avatar principal posicionado no centro da tela, com a informação de tempo decorrido no topo da tela e os mostradores de desempenho na lateral inferior da tela. No caso do jogo ser modo *multiplayer*, as informações do parceiro ficam no canto inferior direito. As mensagens de texto motivacionais são apresentadas no meio da tela, e os nomes dos companheiros de corrida são posicionados próximo a cada avatar individual.

O jogo foi produzido com o Unreal Development Kit (ferramenta de desenvolvimento para a

Figura 4.11 – Visão do sistema Web, página de visualização do ranking dos jogadores



Unreal Engine) e possibilita a modelagem de cenários virtuais, objetos 3D e criação de avatares. A lógica de cada um dos modos de jogo foi codificada na linguagem de script UnrealScript, estendendo classes padrão da própria Engine.

As principais classes de ambos os modos de jogo são: *Pawn* (avatar), *HUD* (informações sobre a tela) e *PlayerController* (controle). A classe *Pawn* gerencia os movimentos do personagem virtual segundo o modelo escolhido. A velocidade da animação da corrida do jogador reflete o ritmo da corrida do jogador. Nessa classe é feito o ajuste e sincronização com os dados da sessão.

A classe *HUD* é responsável pela exibição de todas as informações na tela. Os mostradores tem cores diferentes para auxiliar na identificação, ou seja, dados de velocidade aparecem com fundo azul e ritmo cardíaco com fundo vermelho, tanto para o jogador quanto para o parceiro. Sua implementação estende a definição básica da Unreal Engine, adicionando novas variáveis para guardar os sinais do jogador (e do parceiro, no caso *multiplayer*), mensagem e tempo total da sessão.

Por sua vez, a classe *PlayerController* está ligada à *UDK DLL*, recebendo as informações do módulo de controle (*Controller Proxy*). Essa classe gerencia as informações que são apre-

Figura 4.12 – Modelos de avatares femininos e masculinos disponíveis para seleção



sentadas na tela, a velocidade do avatar e sua posição. Além disso, faz o controle da posição dos personagens na tela, no caso dos modos de jogo *multiplayer*, mantendo a distância entre os avatares e fazendo ultrapassagens quando há alguma mudança no ritmo da corrida. Também é responsável por manter o avatar no caminho, conforme os elementos gráficos do cenário.

As mensagens de texto mostradas permanecem alguns segundos na tela para possibilitar a leitura pelo usuário, o que foi implementado através de um mecanismo de fila como um buffer, para armazenamento temporário.

Ao final da corrida o *Controller Proxy* envia uma mensagem de fim, fazendo com que a classe *PlayerController* apresente uma tela e mensagem de término.

Figura 4.13 – À esquerda, jogo no modo *multiplayer* competitivo. À direita, jogo no modo *single player*



# 5 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Segundo o trabalho de Sinclair, Hingston e Masek (2007, p. 292), um exergame pode ser classificado quanto à sua eficiência pela combinação de dois fatores:

- a) **Eficácia em exercitar**, decorrente do próprio movimento corporal, ou seja, dos tipos de atividades que o jogador está sujeito pelo meio de interação e/ou enredo do jogo;
- b) **Atratividade**, sendo esta característica responsável, em longo prazo, pela continuidade e regularidade, e durante a sessão, pelo incentivo para alcançar patamares que de fato tragam proveito ao praticante.

Conforme apresentado na seção 1.3, e considerando o exergame Running Wheel descrito neste trabalho, as duas principais hipóteses a serem avaliadas são as seguintes:

- **H1: existe diferença de desempenho entre os corredores que usam o Running Wheel no modo competitivo em relação aqueles que o utilizam em modo *single player*** ou seja, o modo competitivo de fato influencia o jogador;
- **H2: existe diferença de desempenho dependendo do tipo de competidor virtual escolhido**, ou seja, correr contra si mesmo, contra alguém melhor ou a livre escolha de um adversário a partir de uma lista com participantes, pode levar a resultados distintos. A verificação dessa hipótese permitirá identificar entre os diferentes competidores virtuais aquele com maior atratividade.

Este capítulo apresenta a metodologia de avaliação usada nesta pesquisa, baseando-se no Running Wheel, definido no capítulo 3, e cuja implementação foi descrita no capítulo 4. A seção 5.1 detalhará as métricas aplicadas nos testes das hipóteses e a seção 5.2 apresentará as variáveis consideradas no experimento. Os voluntários participantes do estudo serão caracterizados na seção 5.3 e o procedimento e cenários de teste serão especificados na seção 5.4.

## 5.1 Métricas

A metodologia utilizada neste trabalho baseia-se na verificação de dois grupos de parâmetros principais:

- a) medidas relacionadas à eficácia do exercício (i.e. registro do sinal cardíaco e da percepção de cansaço) e do desempenho da corrida (i.e. distância e velocidade);
- b) mensuração do incentivo proporcionado pelo tipo de exergame que está sendo experimentado, segundo os tipos de parceiros e modos de jogo definidos nas hipóteses.

A metodologia contempla também a investigação dos elementos específicos de um exergame simulador de corrida quanto à sua influência na motivação do usuário, ou seja, estabelece quais são os requisitos essenciais desejáveis para a construção de sistemas deste tipo, a serem considerados no desenvolvimento de futuros projetos.

### 5.1.1 Eficácia do exercício

Os principais indicadores de desempenho de uma corrida são mantidos no Running Wheel para acompanhamento do histórico de evolução do usuário. Esses dados são: **velocidade, distância, velocidade média e tempo decorrido da sessão**. Essas métricas são bastante comuns em provas de corrida por permitirem a comparação absoluta entre dois praticantes de maneira simples. Entretanto, há outros fatores fisiológicos importantes e necessários à uma análise mais minuciosa.

Um exercício intenso leva a uma maior demanda de energia pelos músculos. O coração é o órgão responsável pela irrigação dos tecidos constituintes do corpo com nutrientes e oxigênio. Quando estamos realizando uma atividade extenuante torna-se necessário o bombeamento de maior volume de sangue e, por consequência, ocorre elevação do ritmo de contrações cardíacas e também aumento de pressão arterial.

A verificação da capacidade do exergame ter um desempenho similar àquele de uma atividade física tradicional, como forma de garantir os benefícios à saúde, é realizada através da **monitoramento do ritmo cardíaco**. Sabendo-se a idade do indivíduo, é possível determinar a frequência cardíaca máxima segura (também chamada de  $HR_{max}$ ) para atividade física. Desta forma é possível minimizar quaisquer riscos ao Sistema Cardiovascular.

Uma proposta para a estimativa deste valor foi feita ainda em 1957, servindo de base para treinadores físicos até os dias atuais e sendo calculada através da fórmula:  $HR_{max} = 220 - idade$ , com desvio-padrão de  $\pm 8$  a  $\pm 12$  bpm, segundo a faixa etária do indivíduo (KARVONEN; KENTALA; MUSTALA, 1957).

Outra maneira de aferir a intensidade durante a prática de um exercício é através da percepção individual do esforço despendido. Além do aumento da frequência cardíaca, o corpo também sofre um aumento da pressão arterial, frequência respiratória, da quantidade de suor expelido e fadiga muscular, levando o praticante a sentir cansaço.

A percepção subjetiva desse cansaço pode ser medida através de uma escala numérica, que reúne os fatores físicos e mentais em um único valor referente à intensidade do esforço muscular percebida. A **Escala de Borg** é geralmente utilizada para esse fim, sendo que ela varia de 6 até 20, com 6 equivalendo a uma atividade pouco extenuante, e 20 referente ao pior esforço físico já experimentado pelo praticante, conforme pode ser visto na Tabela 5.1 (BORG, 1998).

Devido à variação do cansaço físico e mental ao longo de uma sessão de exercício, devido

Tabela 5.1 – Escala de Borg

Esforço percebido	Valor
	6
Muito fácil	7
	8
	9
Fácil	10
	11
Relativamente fácil	12
	13
Ligeiramente cansativo	14
	15
Cansativo	16
	17
Muito cansativo	18
	19
Exaustivo	20

à fadiga, faz-se necessário levar em conta valores amostrados no início, meio e ao final, para verificar eventuais flutuações devido a um fator motivacional externo, por exemplo.

Uma vez que o foco desta pesquisa é a investigação na motivação para atividade física, o **Teste de Cooper** (COOPER, 1968) foi a forma encontrada para medir o desempenho dos jogadores. Este teste foi desenvolvido por Cooper em 1968 para avaliar a capacidade física e o  $VO_2$  máximo através da distância alcançada em uma corrida de 12 minutos. Esse valor é então normalizado pela idade e sexo do indivíduo, resultando uma nota que varia de *1-Muito ruim* até *5-Muito bom*. A Tabela 5.2 traz o sumário de desempenho normalizado pela idade e pelo sexo para homens, e para mulheres na Tabela 5.3.

Esse teste é considerado como sendo altamente influenciável pela motivação do praticante, ou seja, pessoas mais motivadas costumam apresentar resultados melhores, o que foi ao encontro do propósito deste estudo. Além disso, o teste possibilitou a comparação do desempenho de múltiplos jogadores, uma vez que o tempo da sessão ficou limitado.

### 5.1.2 Atratividade e incentivo

O segundo fator de interesse a ser investigado é a capacidade motivacional que o jogo propicia ao usuário. De acordo com Chatzisarantis, Biddle e Meek, a *motivação* pode ser vista como um “ímpeto para um comportamento”, ou ainda a “fonte de energia e o elemento iniciador de uma ação” (CHATZISARANTIS; BIDDLE; MEEK, 1997). Portanto, é equivalente ao conceito de **atratividade** apresentado por Sinclair, Hingston e Masek (2007). Desta forma, pode-se concluir que é o próprio **incentivo**, no caso deste exergame.

Para o levantamento das percepções de incentivo deste exergame, a metodologia desenvolvida

consiste na análise de **duas métricas complementares**. Uma **pesquisa qualitativa** realizada por meio de questionários específicos para cada modo de jogo e outra **quantitativa**, utilizando como métrica a coleta das preferências de uso entre os sistemas testados.

A primeira pesquisa, qualitativa, consiste em questões sobre os fatores motivacionais percebidos como mais importantes, como por exemplo: representação do jogador através de um avatar, ultrapassagem do competidor virtual, visualização da distância e velocidade na tela, entre outras características. Estes questionários são aplicados ao longo das sessões para capturar com maior confiabilidade a evolução da impressão em médio prazo, evitando tendências decorrentes da introdução de um sistema novo. A métrica utilizada nas questões é a Escala Likert com valores de 1 a 5, com o valor 3 equivalente a um sentimento neutro, 1 - máxima discordância e 5 - máxima concordância.

A quantificação da preferência dos usuários é inferida com base no registro e contagem das escolhas dos modos de jogo pelos participantes, após a conclusão do experimento.

Tabela 5.2 – Teste de Cooper para homens

Faixa etária	Muito bom	Bom	Médio	Ruim	Muito ruim
13-14	>2700m	2400-2700m	2200-2399m	2100-2199m	<2100m
15-16	>2800m	2500-2800m	2300-2499m	2200-2299m	<2200m
17-19	>3000m	2700-3000m	2500-2699m	2300-2499m	<2300m
20-29	>2800m	2400-2800m	2200-2399m	1600-2199m	<1600m
30-39	>2700m	2300-2700m	1900-2299m	1500-1999m	<1500m
40-49	>2500m	2100-2500m	1700-2099m	1400-1699m	<1400m
>50	>2400m	2000-2400m	1600-1999m	1300-1599m	<1300m

Fonte: Cooper (1968)

Tabela 5.3 – Teste de Cooper para mulheres

Faixa etária	Muito bom	Bom	Médio	Ruim	Muito ruim
14	>2000m	1900-2000m	1600-1899m	1500-1599m	<1500m
15-16	>2100m	2000-2100m	1700-1999m	1600-1699m	<1600m
17-19	>2300m	2100-2300m	1800-2099m	1700-1799m	<1700m
20-29	>2700m	2200-2700m	1800-2199m	1500-1799m	<1500m
30-39	>2500m	2000-2500m	1700-1999m	1400-1699m	<1400m
40-49	>2300m	1900-2300m	1500-1899m	1200-1499m	<1200m
>50	>2200m	1700-2200m	1400-1699m	1100-1399m	<1100m

Fonte: Cooper (1968)

## 5.2 Variáveis

As seguintes variáveis dependentes foram consideradas: distância final (em metros, usando o protocolo adaptado do Teste de Cooper), ritmo cardíaco (constantemente monitorado, em bpm) e a percepção subjetiva de esforço (valor aferido conforme a Escala de Borg, amostrado três vezes durante cada sessão). Como variáveis independentes neste estudo temos dois grupos: a) modo *single player* e; b) modo competitivo, com distintos competidores virtuais. Os três tipos de adversários examinados foram: contra si mesmo, contra um parceiro imediatamente melhor e livre escolha entre os participantes.

O planejamento e os detalhes da avaliação, incluindo detalhes do procedimento aplicado, estão descritos na seção 5.4.

## 5.3 Participantes

Os participantes do estudo foram convidados através de mensagens enviadas às listas de e-mail institucionais da UFRGS (o convite pode ser visto na Figura 5.1), particularmente do Instituto de Informática<sup>1</sup>. Como forma de estímulo ao compromisso, os voluntários que permanecessem até o final do experimento estariam habilitados a concorrer em um sorteio à uma inscrição para uma prova de corrida de rua em Porto Alegre. Os dias e horários dos experimentos foram agendados conforme a disponibilidade e preferência dos participantes.

## 5.4 Cenários de testes e procedimentos

A avaliação das hipóteses foi feita através de um experimento com dois grupos, cada qual testando um dos modos de jogo, *single player* ou competitivo, durante seis encontros, a fim de verificar a eficácia em médio prazo. Após testarem e conhecerem cada um dos modos, os participantes tiveram a opção de experimentar o outro e depois puderam decidir o modo de sua preferência, sendo esta escolha registrada. O modo colaborativo foi preterido neste experimento devido aos resultados encontrados em testes preliminares do sistema, detalhados na seção 6.1.2.

Durante o primeiro encontro foi dada uma breve explicação do experimento, padronizada para todos os participantes. Em seguida foi entregue o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE, apresentado no Apêndice G), para leitura e concordância. Foram aferidos e registrados os valores de pressão arterial e de ritmo cardíaco, em repouso, no início de todas as sessões, de modo a restringir a participação de pessoas com quadro hipertensivo (pressão arterial acima de 140 por 90 mmHg).

Na primeira sessão, os participantes responderam um pré-questionário de anamnese (visto no Apêndice A), fornecendo informações como seu nome, idade, frequência de caminhada ou

---

<sup>1</sup> <http://www.inf.ufrgs.br>

Figura 5.1 – Imagem enviada por e-mail para alunos, funcionários e professores da UFRGS, convidando-os à participação no experimento



corrida, distância total percorrida, tempo despendido, se possuíam algum parceiro de atividade e caso positivo se eles estabeleciam algum grau de competitividade entre si, auto-avaliação do quão competitivo se considera no dia-a-dia, quanto aos motivos que o levam a se exercitar (i.e. saúde, diversão, motivos estéticos, entre outros), a preferência de caminhada/corrida na rua ou em esteira e, finalmente, se por ventura alguma sessão de corrida precisou ser cancelada por qual motivo o foi (i.e. mau tempo, indisposição, compromissos acadêmicos/profissionais, entre outros).

Os resultados do primeiro encontro serviram como base (chamada de *baseline*). Naquela sessão os usuários se exercitaram visualizando apenas a informação de velocidade, distância, ritmo cardíaco e tempo, ou seja, ausentes o cenário virtual e o avatar do jogador.

Os voluntários eram instruídos a andarem ou correrem na esteira, conforme suas capacidades físicas, lembrando-se que o Teste de Cooper busca a máxima distância dentro do tempo de 12 minutos e estes deveriam se esforçar para isto. O comando de velocidade ficou sob responsabilidade dos jogadores. Após um breve período para aquecimento muscular e familiarização com a esteira, o praticante informava quando estivesse pronto para iniciar, nesse momento os 12 minutos começavam a ser contabilizados.

Aos quatro, oito e doze minutos, aproximadamente, do Teste de Cooper, o jogador era perguntado sobre sua percepção de cansaço naquele instante, sendo apresentada a Escala de Borg à sua frente, para que este referisse o valor numérico à direita na Escala.

Ao término do exercício, os usuários completavam um pós-questionário, apresentado no Apêndice B, com perguntas sobre as características do jogo, tais como as informações visualizadas e uma avaliação sobre o potencial motivacional percebido pelo uso do sistema.

Após o primeiro encontro, com base em seu desempenho no Teste de Cooper, os participantes foram alocados de maneira aleatória a um dos grupos, ou seja, participantes que alcançaram escores semelhantes no Teste de Cooper eram atribuídos em grupos distintos.

O primeiro grupo experimentou o modo *single player* enquanto o segundo testou o modo competitivo, variando-se o tipo de competidor virtual. Para mitigar eventuais fatores de treinamento, a ordem do competidor virtual foi alternada, seguindo a configuração de padrões vista na Tabela 5.4.

No segundo encontro, solicitou-se aos usuários selecionar um avatar de sua preferência dentre os modelos apresentados. A partir do segundo encontro, eles puderam ver o *ranking* com sua posição relativa aos outros participantes do experimento.

Os procedimentos dos testes seguintes tiveram a mesma sequência de passos da primeira sessão, com diferença entre os pós-questionários de avaliação, específicos de cada um dos modos de jogo e da dispensa de aplicação do TCLE.

O questionário aplicado ao término da sessão aos integrantes do grupo *single player*, visto nos Apêndices C e D, incluía perguntas sobre qual artefato do jogo foi mais importante, influência motivacional do sistema no desempenho durante o exercício, qual a dificuldade para completar o Teste de Cooper, relevância das informações apresentadas na tela e um campo para sugestões ou observações gerais. Ao completar a última sessão, o formulário apresentou mais uma pergunta, sobre o que mudariam no sistema para torná-lo mais motivacional.

Já o questionário destinado aos membros do grupo G2, incluído nos Apêndices E e F, teve enfoque nas questões do incentivo através da competição no jogo. As perguntas versaram sobre o fator motivacional do jogo, a percepção de competitividade criada pelo jogo e as características que influenciaram isto, por exemplo, a ultrapassagem do adversário, a visualização do sinal

Tabela 5.4 – Configuração do experimento. Lista dos modos analisados em cada sessão: Baseline (BL), *single player* (SP), Competitivo contra si mesmo (CS), Competitivo adversário imediatamente acima (AA) e Livre Escolha (LE)

Grupo	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>
Single player	BL	SP	SP	SP	LE	SP/LE
	BL	CS	AA	LE	SP	SP/LE
	BL	CS	LE	AA	SP	SP/LE
Competitivo	BL	AA	LE	CS	SP	SP/LE
	BL	AA	CS	LE	SP	SP/LE
	BL	LE	AA	CS	SP	SP/LE
	BL	LE	CS	AA	SP	SP/LE

cardíaco, velocidade e distância do parceiro. Também existia um campo para comentários e sugestões sobre o sistema. Na última sessão, o formulário apresentou uma pergunta sobre a identificação do jogador com seu avatar e a percepção do competidor como o personagem virtual na tela.

A Figura 5.2 apresenta três imagens, da esquerda para a direita: uma visão do sistema de teste, com televisor posicionado à frente da esteira ergométrica, uma imagem com mais detalhes de uma participante visualizando seu avatar na tela, e uma captura de tela do Running Wheel em modo competitivo.

Figura 5.2 – Imagem de dois voluntários se exercitando com o Running Wheel e captura de tela do Running Wheel, em detalhe



# 6 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da investigação das hipóteses e métricas detalhadas no capítulo 5. Além disso, será descrita a avaliação do Running Wheel quanto ao seu desempenho e demais características técnicas do aplicativo desenvolvido, cuja implementação foi apresentada no capítulo 4.

Ele está organizado da seguinte maneira: a seção 6.1 detalha a especificação de hardware e software do sistema Running Wheel utilizado no experimento, os resultados da sua avaliação de desempenho, e também uma breve discussão sobre um teste preliminar que ajudou na definição da configuração do experimento final. A seção 6.2 traz os resultados finais do experimento com voluntários, obtidos segundo a metodologia desta pesquisa, os quais são discutidos com profundidade na seção 6.3.

## 6.1 Sistema Running Wheel

A implementação do Running Wheel foi testada com a configuração de hardware e software apresentada na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Especificação do hardware utilizado na avaliação do Running Wheel

	Componente	Fabricante	Versão/Configuração
Software	Sistema operacional	Microsoft	Windows 7 Professional Service Pack 1
	Engine gráfica	Unreal	UDK 2012-2
	Banco de dados	PostgreSQL	8.4.12 64 bits
	Servidor Web	Linux	CentOS 6.4
Hardware	Processador (CPU)	Intel	Core i7-2600K 3.40GHz
	Placa-mãe	Gigabyte	GA-P67A-D3-B3
	Disco rígido	Western Digital	WD10EARS-SATA-II
	Memória RAM	4GB	DDR3-1066 533 MHz
	Placa gráfica	NVIDIA	GeForce GTX 560 1 GB
	Rede (LAN)	Realtek	PCIe Gigabit Ethernet
	Rede (Wireless)	TP-Link Nano USB2.0	150Mbps 802.11b/g/n
	Monitor	AOC	L42H831 42" 1080p
	Esteira	Athletic	Advanced 3
	Monitor cardíaco	Speedo	58003
Placa de captura	Arduino	Uno R3	

### 6.1.1 Avaliação do sistema

O teste de desempenho avaliou a taxa de quadros (FPS) medida nos diferentes modos de jogo (*single player* e *multiplayer*) e a taxa de utilização do processador. Também foi registrado o consumo de memória RAM do sistema, para os diferentes componentes implementados: sistema de controle (*Controller Proxy*), sistema de captura e monitoramento de dados (*Arduino Communication*) e jogo (*UDK*).

Os resultados desse experimento são apresentados na Tabela 6.2, e refletem três amostras (n) registradas após o tempo de carregamento do sistema. A taxa de quadros foi aferida pela própria engine UDK. Para as outras informações foi utilizado o gerenciador de tarefas do Microsoft Windows 7 SP1.

Tabela 6.2 – Resultados da análise de desempenho feita através de três amostragens para cada modo de jogo

Modo	n	Desempenho		Uso de memória (KB)		
		CPU (%)	FPS	Controller Proxy	Arduino Communication	UDK (MB)
single player	1	3	30,60	7052	4360	433,55
	2	4	27,20	6984	4308	421,96
	3	2	29,80	6792	4384	422,40
	$\bar{x}$	3	29,20	6943	4351	425,97
multiplayer	1	6	28,80	7384	4384	431,68
	2	6	26,50	7244	4248	445,38
	3	8	27,70	7428	4272	440,15
	$\bar{x}$	6,7	27,67	7352	4301	439,07

### 6.1.2 Teste preliminar

Durante a fase de concepção, o Running Wheel foi submetido a testes de maneira preliminar, utilizando-se destes resultados para estabelecer os pontos de interesse a serem investigados posteriormente. Foram feitos testes durante o evento UFRGS Portas Abertas em 2013, com cerca de 21 visitantes, em sua maioria estudantes de Ensino Médio (ver Figura 6.1), o que contribuiu para a definição metodológica, principalmente quanto às questões mais importantes a serem verificadas e o próprio sistema em si.

Os visitantes eram convidados a usar o sistema, correndo ou caminhando na esteira, conforme sua disponibilidade e capacidade física, por períodos curtos de um ou dois minutos, no máximo. O sistema estava instalado no laboratório de projeto e desenvolvimento do grupo de Computação Gráfica da UFRGS.

Devido ao curto período para preparação dos participantes, o ritmo cardíaco não foi monitorado nem registrado e uma vez que eles não vestiam roupas apropriadas à atividade física, não

Figura 6.1 – Visitante participando do teste preliminar do Running Wheel



foram examinados dados referentes ao seu desempenho, como velocidade ou distância alcançada, muito embora eles tenham sido gravados.

A resposta recebida pelos participantes foi bastante positiva, inclusive foi possível observar episódios de competição entre colegas de escola visitantes, tentando ultrapassar as marcas de distância atingidas anteriormente, demonstrando o potencial deste modo de jogo. Outra observação interessante foi a crescente identificação dos usuários com seu avatar, mesmo no modo *single player*, o que apontou a necessidade de investigações adicionais nesse modo.

O teste constatou que, num primeiro momento, seria mais relevante a investigação do modo *single player* e do modo competitivo pois o modo colaborativo demandaria outro *setup* do Running Wheel, mais tempo para conclusão do desenvolvimento, o que poderia comprometer o término desse projeto. Também restava a validação do modo básico de jogo (*single player*), e portanto a escolha para o experimento mais compreensivo excluiu o modo colaborativo.

Esse teste comprovou a robustez do sistema implementado, no entanto mostrou também ser necessário uma sala exclusiva para condução do experimento em larga escala, a qual deveria possibilitar espaço físico maior para a esteira e para o participante poder se exercitar confortavelmente.

## 6.2 Avaliação com usuários

Quinze voluntários realizaram ao menos um experimento, dentro desses doze atenderam um mínimo de seis sessões, no transcurso de aproximadamente um mês, sendo esse grupo considerado nas análises. Os testes foram realizados em uma sala específica do Instituto de Informática, preparada para o teste, em horário e frequência definidos de acordo com a disponibilidade dos usuários.

A faixa etária dos participantes era de 22 a 52 anos de idade ( $\bar{x}=33.91$ ,  $\sigma=11.06$ ), todos integrantes da UFRGS, sendo dez homens, oito discentes (entre alunos de graduação e pós-graduação), três professores e um técnico-administrativo.

Quanto aos hábitos de exercício, a maioria declarou caminhar ou correr ao menos uma vez por semana, porém muitos não se exercitavam regularmente em esteira e relataram se sentirem mais motivados quando faziam suas atividades na rua ou no equipamento de suas academias.

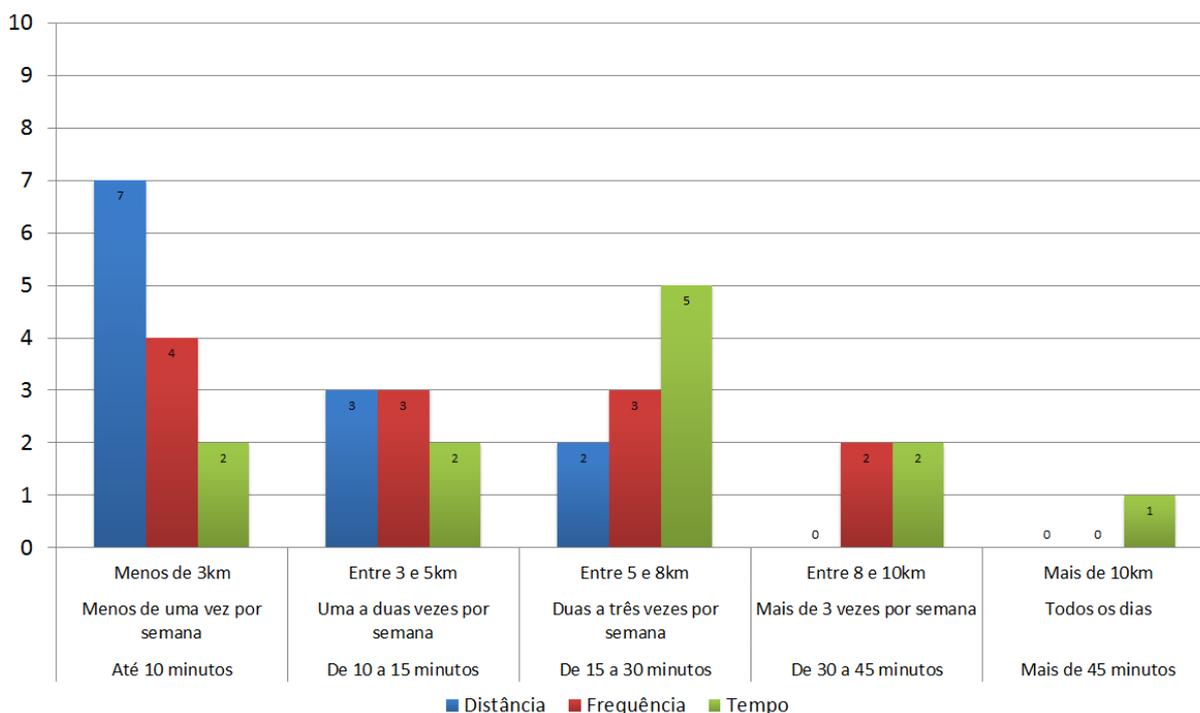
Na primeira sessão, os voluntários foram solicitados responder um questionário contendo perguntas sobre seus hábitos de atividades físicas como corrida ou caminhada, classificando-as quanto à frequência e intensidade. A partir dessas informações chegamos ao seguinte perfil dos 12 voluntários: sete participantes disseram correr com frequência distâncias de até 3 km, oito afirmaram se exercitar de uma a três vezes por semana e a maioria por intervalos de tempo entre 15 e 30 minutos, como pode ser visto em detalhes na Figura 6.2.

Quanto às suas motivações, dez voluntários apontaram a preocupação com a saúde como motivo para se exercitarem, seguido por diversão, apontado oito vezes, e por motivos estéticos, marcado seis vezes. Foi perguntado se tinham algum colega, amigo ou parceiro qualquer regular de exercício. Oito disseram não contar com ninguém e entre aqueles que responderam positivamente, nenhum reportou ter criado vínculo competitivo com esta pessoa, ou seja, ambos se exercitam juntos apenas por conveniência ou companheirismo.

### 6.2.1 Avaliação objetiva

Após serem apresentados ao Running Wheel, os usuários de ambos os modos acharam-no muito motivador. Ao serem questionados se algum dos modos o tivesse motivado mais, qual modo teria sido, 10 dos usuários responderam o modo competitivo e 2 apontaram o modo *single player*, como pode ser visto à direita, na Figura 6.3. Os usuários responderam quais características foram as principais fontes de estímulo: em primeiro lugar foi se **sentir como o avatar** ou seja, a representação visual do jogador na tela; a segunda principal causa de incentivo foi a **imersão no mundo virtual**, o que significa o próprio ambiente do jogo (ver Figura 6.3, à esquerda). Outras características motivacionais mencionadas pelos participantes foram as mensagens de texto e a realimentação com dados de desempenho do usuário, representado visualmente em sua posição relativa ao adversário, criando um incentivo constante durante a sessão.

Figura 6.2 – Distância (em azul), frequência (em vermelho) e tempo de duração (em verde), praticados pelos voluntários, em média, nas suas atividades regulares



Os voluntários responderam após cada sessão o quão motivacional eles perceberam que o sistema foi, avaliando sua impressão em uma Escala Likert variando de *1–Nenhum pouco motivacional* até *5–Muito motivacional*. Como pode ser visto na Figura 6.4, o modo competitivo recebeu a indicação de *muito motivacional* mais vezes do que o modo *single player*. O modo *single player* ainda foi avaliado cerca de 8% das vezes como *pouco motivacional* enquanto o modo competitivo sempre foi avaliado como ao menos *motivacional*. Esse resultado é bastante importante uma vez que a principal característica de incentivo, a competição, estava ausente no modo *single player*.

Outro fator investigado foi como a competição acontecia no ambiente virtual. No pré-questionário aplicado ao início do experimento, os voluntários foram perguntados quanto à sua auto percepção de competitividade no dia-a-dia, referindo-a numa Escala Likert variando de *1–Nenhum pouco competitivo* até *5–Extremamente competitivo*. Após jogarem o modo competitivo a mesma questão foi apresentada. Os resultados são mostrados na Figura 6.5, e evidenciam uma mudança em sua percepção de competitividade após as sessões com o Running Wheel.

A análise dos parâmetros de eficácia do exercício (distância, velocidade, percepção de cansaço e ritmo cardíaco) demonstraram, em alguns casos, diferenças significativas entre os dois grupos. Os registros dos dados cardíacos foram processados através de uma análise de variância aplicando ANOVA One-way para diferença entre os usuários das sessões do modo competitivo contra àquelas do modo *single player*, e foi encontrada diferença significativa entre os dois

Figura 6.3 – À esquerda, principais características apontadas como fonte de motivação: avatar (indicada como a mais importante por 5 participantes), ambiente virtual (4) e outros (3); à direita, o modo de jogo preferido entre os usuários: competitivo (preferido por 10 participantes) e *single player* (2)

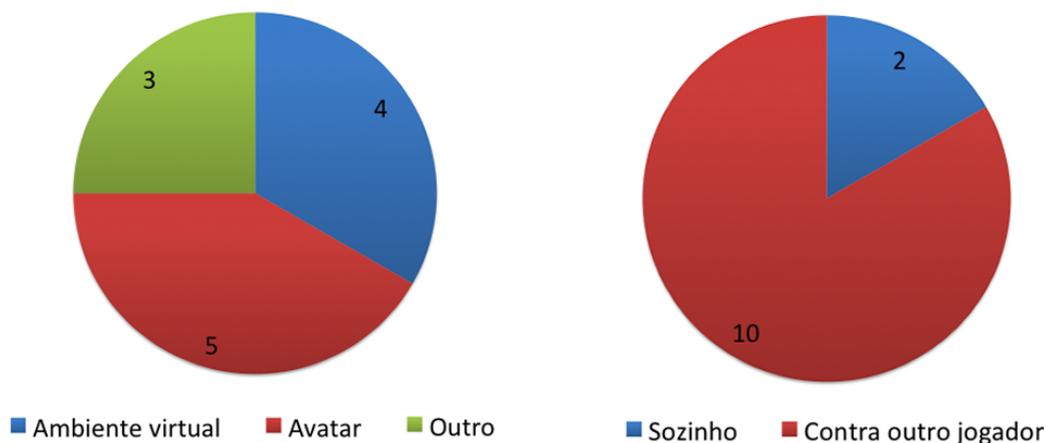
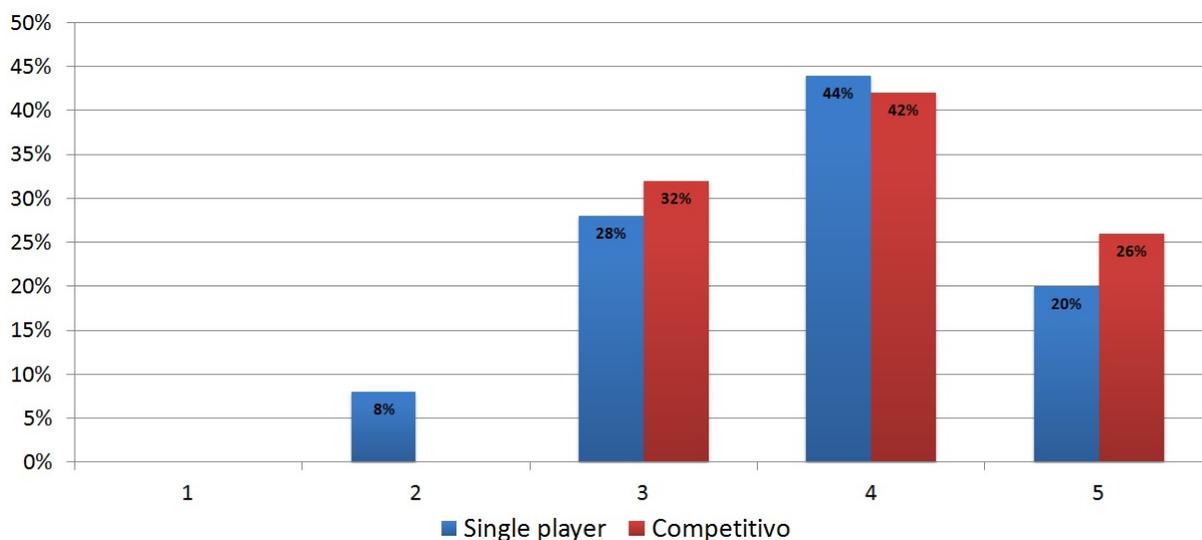


Figura 6.4 – Avaliações do modo *single player* (azul,  $\bar{x} = 3,76$ ) e competitivo (vermelho,  $\bar{x} = 3,93$ ) do quão motivacional eles foram percebidos



grupos ( $p < 0,01$ ) na qual os jogadores do grupo competitivo tiveram uma média cerca de 5,9% maior do que aqueles do modo *single player*. A Figura 6.6, apresenta as médias de batimentos cardíacos e distância alcançada em 12 minutos (Teste de Cooper) em ambos os modos de jogo.

Esse aumento da energia despendida foi confirmado pelos dados colhidos sobre a percepção subjetiva de cansaço. A análise dos dados intermediários das sessões demonstrou um aumento significativo ( $p < 0,01$ ) do esforço no modo competitivo ( $\bar{x} = 14,07$ ) quando comparado com o *single player* ( $\bar{x} = 12,89$ ).

A mesma análise estatística foi feita para os registros de distância e velocidade, entretanto

Figura 6.5 – Competitividade aferida na primeira sessão (azul,  $\bar{x} = 2,46$ ) e após experimentar o modo competitivo (vermelho,  $\bar{x} = 3,64$ )

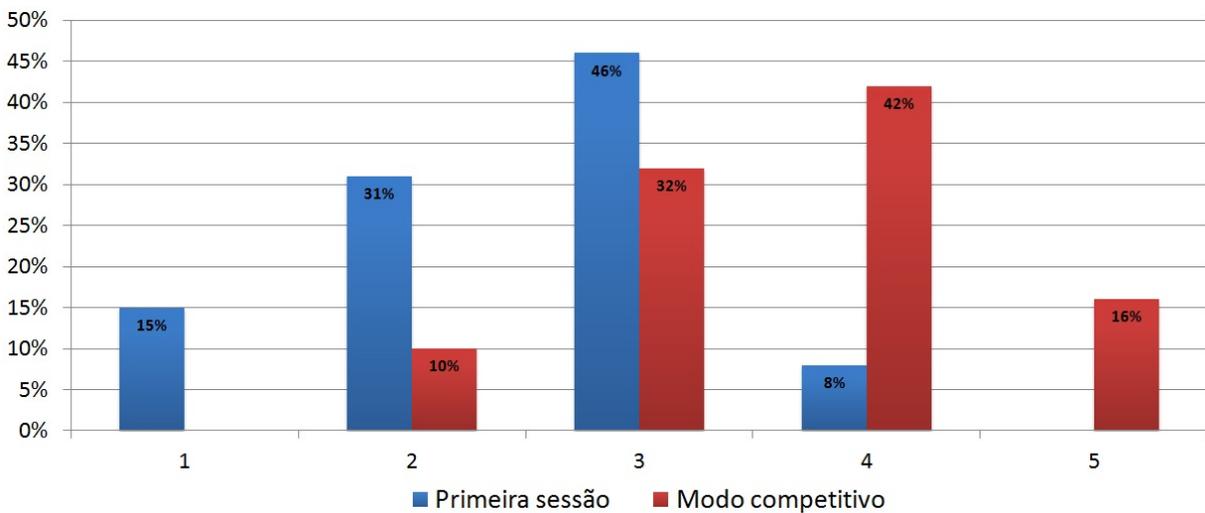
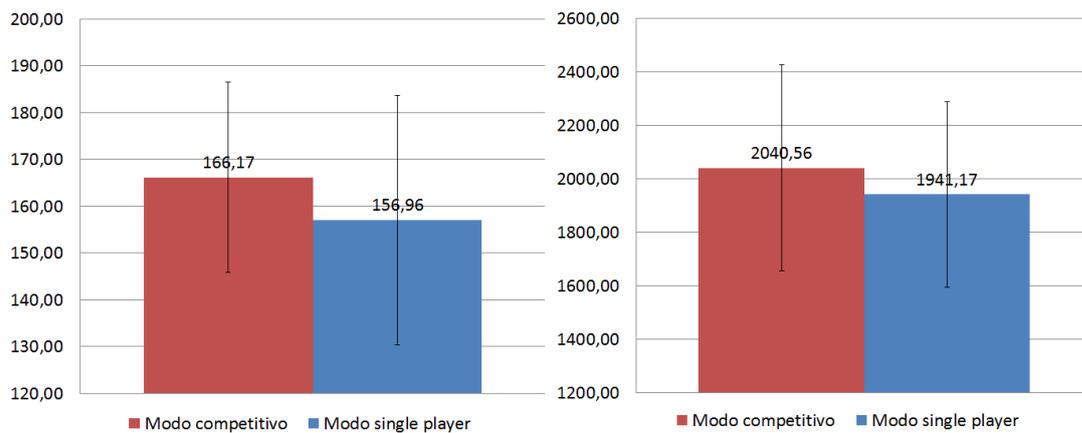


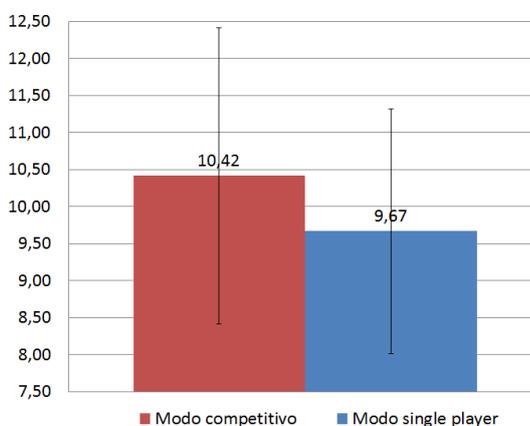
Figura 6.6 – À esquerda, médias de batimentos cardíacos (bpm); à direita, médias de distância (em metros), de todas as sessões dos modos competitivo e *single player*



não foi possível estabelecer diferença significativa entre os grupos, o que deve ser objeto de investigações futuras, através de testes de longo prazo ou com maior número de participantes. A Figura 6.7 mostra as médias de velocidade (medida em km/h) alcançadas pelos jogadores durante os testes.

Os resultados também demonstraram melhora no condicionamento físico dos jogadores ao fim das semanas do experimento. Durante as últimas sessões a média de batimentos cardíacos teve uma redução média de 5 a 10 bpm, quando comparado com a mesma intensidade nas sessões anteriores. Por outro lado, a análise dos dados não encontrou diferença significativa entre os diversos adversários virtuais (i.e. contra si mesmo, contra um parceiro imediatamente melhor ou competidor livre escolha), o que deve ser explorado em investigações futuras, detalhadas no capítulo 7.

Figura 6.7 – Médias de velocidade (km/h), de todas as sessões dos modos competitivo e *single player*



### 6.2.2 Avaliação subjetiva<sup>1</sup>

A impressão subjetiva dos participantes quanto ao sistema foi obtida pela análise das observações e sugestões registradas nos formulários. O resultado das avaliações está sumarizado de maneira complementar na Tabela 6.3.

As informações textuais apresentadas na tela foram avaliadas de maneira positiva pelos usuários, visto por afirmações como: “*mensagens motivacionais são importantes*” (P2), “*as informações da tela foram muito motivacionais*” (P5), e também “*[as] informações fazem você ter uma avaliação imediata do seu desempenho*” (P9).

O acompanhamento do ritmo cardíaco também foi destacado “*chamou atenção a visualização do ritmo cardíaco [pois] você fica atento se está se esforçando a mais ou a menos [do que sessões passadas]*” (P9).

O modo *single player* foi considerado bastante motivacional pelos jogadores. Um dos participantes, após ser introduzido à primeira sessão no modo *single player*, afirmou: “*senti que o tempo passou mais rápido!*” (P5); o que pode sinalizar uma influência da realidade virtual em sua sensação de tempo real e até mesmo do espaço, de acordo com o relato do participante P9: “*o avatar dá segurança em relação à você e a esteira*”. Esse usuário inicialmente teve receio em tropeçar na esteira ergométrica. Porém ao visualizar seu avatar no mundo virtual, sua autoconfiança aumentou: “*[...] o medo de cair [na esteira] ficou menor em relação a seguir o avatar e saber que [o avatar] representa você*”, ou seja, o jogo alterou sua percepção corporal e até mesmo sua marcha na esteira. Essa característica poderia ser ainda mais incentivada oferecendo-se “*além do modo de terceira pessoa, [...] um modo de primeira pessoa*” (P6),

<sup>1</sup> Essa avaliação reporta cada voluntário participante do estudo através de um identificador único sequencial aleatório (i.e. participantes P1 até P12), de modo a manter sua privacidade e possibilitar uma melhor compreensão dos comentários recebidos.

possibilitando um aumento da sensação de imersão.

O modo competitivo foi percebido como ainda mais motivacional do que o *single player*: “[o modo competitivo é] muito mais interessante do que sem adversário” (P4); e “ter um competidor oponente foi o que achei mais motivacional no sistema” (P6); evidenciando-se o potencial motivacional que a presença de um competidor adiciona ao jogo.

As avaliações apontaram para as possíveis fontes de estímulo deste modo de jogo, como a característica de poder ultrapassar um adversário no mundo virtual: “ver a ultrapassagem do adversário [...] foi um bom motivador para correr mais”; e “ver o concorrente ultrapassar o jogador é algo realmente motivante, mesmo que o jogador esteja atrás” (P10). Outro ponto destacado foi a possibilidade de correr contra si próprio, tentando a superação de uma marca própria anterior: “correr ao lado de sua melhor marca é bom para acompanhar a evolução de [seu] condicionamento” (P2); e o fato de poder competir com alguém conhecido “acredito que adicione um nível de motivação a mais [correr contra alguém conhecido]” (P10), pois “[...] você presta mais atenção ao seu desempenho” (P9).

Identificar o adversário também foi reportado como um fator de incentivo: “[usar] ao invés do avatar, uma foto” (P10); ou seja, aumentar o realismo do personagem virtual pode aumentar o estímulo.

Uma fonte de reclamações foi o limite de velocidade da esteira ergométrica em 12 km/h, considerado baixo por alguns corredores. Entre os comentários recebidos estão: “acho que é necessário uma esteira que permita mais velocidade ao praticante” (P3); e “no fim do exercício tentei aumentar a velocidade, mas não foi possível” (P10). Também receberam sugestões os sistemas de medição da velocidade: “notei uma certa imprecisão [...] quanto à medição de velocidade” (P8); “melhorar resposta à alteração de velocidade” (P4); e de captura do ritmo cardíaco: “adequar filtros nos batimentos cardíacos pois em algumas vezes aparecem valores muito díspares” (P2).

Outro pedido frequente nas respostas foi o de inclusão de música em versões futuras do sistema: “[...] senti falta de música” afirmou o participante P9, que disse realizar seu exercício normalmente ouvindo alguma música; “[coloquem] música” (P7); “[incluir] som (talvez música cujo ritmo se ajuste ao ritmo da pessoa)” (P11); “poderia ter um som ou música durante a corrida” (P2); ou ainda colocar alguma trilha sonora com “adição de efeitos sonoros” (P2).

Algumas observações foram feitas quanto ao cenário: “poderia ter um cenário um pouco mais variado” (P6); e “ainda que no início a paisagem motive [...] depois de alguns minutos eu estava desligado do que acontecia” (P4). Esses comentários indicam que uma ambientação com mais ação, movimento ou ainda mais diversificada, poderia aumentar a distração, podendo assim ter um impacto positivo no incentivo. Uma sugestão recebida nesse sentido é a geração de cenários aleatórios: “[adicionar] elementos [...] aleatoriamente ao cenário, para que cada corrida seja única” (P10).

Outras idéias também foram levantadas pelos usuários quanto à criação de “*ambientes reais mapeados*” (P12), com “*curvas*” (P11), disponibilizando cenários virtuais baseados em mapas reais de cidades, de forma a simular uma corrida em um “*parque, ou pelas montanhas, ou por um deserto, [...] poderia ser mais interessante visualmente*” (P10). Também foi sugerida a criação de *checkpoints* ou ainda a especificação mais precisa da distância entre elementos do mapa, por exemplo: “*achei interessante os portões, só não tive certeza se eles localizavam-se a 100m ou não, se sim, seria interessante, mais uma motivação*” (P1).

Algumas considerações poderiam integrar implementações futuras, por exemplo, alguns participantes levantaram a idéia de colocar um cronômetro regressivo “*mostrar o tempo restante (além do tempo total)*” (P11) e “*ver o tempo em forma de contagem regressiva*” (P1). Entretanto essas mesmas funcionalidades foram referenciadas como sendo desmotivantes para outros participantes: “*[ver o] tempo da sessão me deixa aflito*” (P9).

Desta forma, deve-se considerar no futuro uma metodologia de avaliação que comporte a personalização do jogo às preferências de cada participante, tomando-se em conta as condições do experimento para a investigação.

Ainda quanto à personalização dos desafios, foi destacada a utilização das “*informações de idade e peso para avisar quando os batimentos estão acima do normal*” (P7), para criação de “*metas de treino*” (P8), segundo as capacidades individuais de cada usuário, através um “*modo de dificuldade incremental*” (P10), e que portanto estimulasse os jogadores a um aumento de desempenho gradativo, consoante com sua condição física, de modo a minimizar lesões e outros riscos. Esse incentivo poderia vir através de múltiplos competidores durante a corrida, por exemplo: “*mostrar um adversário imediatamente inferior e/ou dois superiores*” (P11); possibilitando ao jogador a escolha entre múltiplos adversários, ao invés de apenas um oponente.

Tabela 6.3 – Impressões dos voluntários sobre o Running Wheel e suas principais características

Característica	Comentário recebido
single player	“ <i>senti que o tempo passou mais rápido!</i> ” (P5)
Competitivo	“ <i>[o modo competitivo é] muito mais interessante do que sem adversário</i> ” (P4)
	“ <i>ter um competidor oponente foi o que achei mais motivacional no sistema</i> ” (P6)
	“ <i>[as] informações fazem você ter uma avaliação imediata do seu desempenho</i> ” (P9)
	“ <i>ver a ultrapassagem do adversário [...] foi um bom motivador para correr mais</i> ” (P10)

Competitivo	<i>“ver o concorrente ultrapassar o jogador é algo realmente motivante, mesmo que o jogador esteja atrás”</i> (P10)
	<i>“correr ao lado de sua melhor marca é bom para acompanhar a evolução de [seu] condicionamento”</i> (P2)
	<i>“acredito que adicione um nível de motivação a mais [correr contra alguém conhecido]”</i> (P10)
	<i>“[no modo competitivo] você presta mais atenção ao seu desempenho”</i> (P9)
Mensagens	<i>“além de ver a si mesmo é muito importante a competição”</i> (P9)
	<i>“mensagens motivacionais são importantes”</i> (P2)
	<i>“as informações da tela foram muito motivacionais”</i> (P5)
Ritmo cardíaco	<i>“[as] informações fazem você ter uma avaliação imediata do seu desempenho”</i> (P9)
	<i>“mensagens a cada 100m não são motivantes”</i> (P10)
Avatar	<i>“chamou atenção a visualização do ritmo cardíaco [pois] você fica atento se está se esforçando a mais ou a menos [do que sessões passadas]”</i> (P9)
	<i>“deixar o acompanhamento dos batimentos cardíacos [...] durante a desaceleração”</i> (P2)
	<i>“o avatar dá segurança em relação à você e a esteira”</i> (P9)
	<i>“[...] o medo de cair [na esteira] ficou menor em relação a seguir o avatar e saber que [o avatar] representa você”</i> (P9)
	<i>“além do modo de terceira pessoa poderia ter um modo de primeira pessoa”</i> (P6)
Cenário	<i>“[usar] ao invés do avatar, uma foto”</i> (P10)
	<i>“a distância observável para o adversário as vezes parecia não corresponder com a diferença apresentada”</i> (P11)
	<i>“poderia ter um cenário um pouco mais variado”</i> (P6)
	<i>“ainda que no início a paisagem motive [...] depois de alguns minutos eu estava desligado do que acontecia”</i> (P4)
	<i>“[adicionar] elementos [...] aleatoriamente ao cenário, para que cada corrida seja única”</i> (P10)
<i>“ambientes reais mapeados”</i> (P12)	
<i>“ter curvas e cenários variados”</i> (P11)	
<i>“[correr no] parque, ou pelas montanhas, ou por um deserto, [...] poderia ser mais interessante visualmente”</i> (P10)	

---

	<i>“achei interessante os portões, só não tive certeza se eles localizavam-se a 100m ou não, se sim, seria interessante, mais uma motivação”</i> (P1)
	<i>“mostrar o tempo restante (além do tempo total)”</i> (P11)
	<i>“ver o tempo em forma de contagem regressiva”</i> (P1)
	<i>“[ver o] tempo da sessão me deixa aflito”</i> (P9)
	<i>“informações de idade e peso para avisar quando os batimentos estão acima do normal”</i> (P7)
	<i>“seria interessante ter metas de treino, e aparecer mensagens de texto que fizessem o corredor atingir a meta planejada”</i> (P8)
	<i>“modo de dificuldade incremental [através de um] matching inteligente de adversário [de mesmo nível]”</i> (P10)
	<i>“informações de idade e peso para avisar quando os batimentos estão acima do normal”</i> (P7)
Outras	<i>“seria interessante ter metas de treino, e aparecer mensagens de texto que fizessem o corredor atingir a meta planejada”</i> (P8)
	<i>“modo de dificuldade incremental [através de um] matching inteligente de adversário [de mesmo nível]”</i> (P10)
	<i>“mostrar um adversário imediatamente inferior e/ou dois superiores”</i> (P11)
	<i>“seria interessante que o sistema avisasse de antemão sobre [mudanças] no ritmo do competidor”</i> (P8)
	<i>“[...] saber a idade [ou] perfil atlético dos adversários [para competir sem] passar muito dos limites [físicos]”</i> (P11)
	<i>“poderia ter um sistema de pontos que penalize o usuário se desempenhar muito acima do registro anterior, e recompensar por desempenho levemente acima do anterior [para evitar lesões por carga muito intensa]”</i> (P10)

---

### 6.3 Discussão

Os resultados das avaliações com voluntários revelaram uma preferência pelo modo *multi-player* competitivo. Mesmo voluntários que haviam reportado inicialmente não serem competitivos afirmaram, após a intervenção, terem sentido uma maior competitividade. A preferência pelo modo competitivo repetiu-se nas avaliações subjetivas. Os jogadores afirmaram gostar de ter um parceiro, poder ultrapassá-lo e tê-lo como meta de desempenho.

Além disso, o modo competitivo propiciou um exercício mais eficaz, o que prova a hipótese H1 (diferença de desempenho entre os modos de jogo). Foi registrado um maior esforço despendido pelos voluntários, aferida pela Escala de Borg ( $\bar{x} = 14,07$  do competitivo contra  $\bar{x} = 12,89$  do *single player*). Ainda, a análise estatística (ANOVA One-way) do ritmo de batimentos cardíacos mostrou uma diferença significativa de cerca de 5,9% acima dos níveis do grupo *single player*, o que indica que pode ter havido maior esforço por parte dos voluntários que disputaram contra um adversário virtual.

Entretanto, os resultados da análise dos dados de distância e velocidade foram inconclusivos, apesar das médias de velocidade e distância do modo competitivo serem melhores do que aquelas alcançadas no modo *single player*. O mesmo foi observado sobre a hipótese H2 (diferença de desempenho entre os diferentes tipos de avatares), que pode ser explicada por uma falta de identificação do tipo de competidor no avatar do parceiro, ou pela maioria dos participantes não se conhecerem pessoalmente. Não obstante os horários e dias dos testes terem sido combinados segundo as preferências pessoais de cada participante, é possível que o desempenho seja afetado adversamente dependendo do turno, em função do ciclo circadiano (e.g. algumas pessoas tem melhor desempenho em provas matutinas do que vespertinas) ou mesmo de fatores climáticos externos como a temperatura, por exemplo. Possivelmente a repetição do experimento no futuro com uma amostra maior deve trazer resultados definitivos para essas questões.

Quanto à questão dos participantes não se conhecerem, de fato esta pode ser uma característica importante a ser considerada na análise da composição da amostra. Durante o experimento, notou-se que entre os participantes que se conheciam mutuamente, surgiu um forte sentimento de competição. Particularmente em um caso, membros de um mesmo grupo de pesquisa criaram uma competição paralela ao experimento, inclusive com troca amistosa de provocações, que incentivavam ambos a aumentar suas marcas durante as sessões.

Outro ponto que poderia ser aperfeiçoado em estudos futuros é a utilização de uma esteira ergométrica com velocidade máxima maior. Alguns voluntários do experimento conseguiram chegar facilmente à velocidade máxima da esteira do experimento, o que acabou prejudicando a detecção de influências motivacionais na distância alcançada no Teste de Cooper. O modelo empregado estava limitado à aproximadamente 12 km/h, enquanto há modelos comerciais que alcançam até 20 km/h.

Com relação ao jogo, os participantes ficaram bastante surpresos ao serem introduzidos ao sistema. Os comentários recebidos nas primeiras sessões foram eminentemente positivos, visto na avaliação dos questionários (seção 6.2.2). Apesar dos elogios, algumas sugestões e críticas foram feitas, principalmente quanto ao sistema de captura da velocidade da esteira e, em menor parte, distribuídos entre outros itens do jogo.

As críticas ao sistema de velocidade se concentraram em problemas de imprecisão e atrasos na atualização na tela. Apesar de sua robustez o sistema de monitoramento da velocidade

ainda apresenta uma resposta muito lenta à mudança de passo na esteira. Entre as opções de melhoria estão a adição de mais um sensor Hall, ou o uso do dispositivo próprio da esteira. Foi observado também que o uso da placa Arduino próximo à esteira ergométrica levava a erros nas leituras. Ao pesquisar sobre este fenômeno descobriu-se que os erros eram causados pelo ruído eletromagnético ocasionado pela ativação do motor elétrico da esteira, sendo necessário afastar a placa ou isolá-la com uma gaiola de Faraday, tendo sido aplicada a primeira opção.

Os comentários trouxeram importante contribuição na compreensão que algumas características motivacionais são bastante motivadoras para algumas pessoas enquanto outras prefeririam uma abordagem diferente. As próximas implementações devem possibilitar ao jogador fazer configurações pessoais, ou seja, habilitar funções conforme sua preferência. Por exemplo, o usuário deve poder definir quais mensagens de texto receberá e qual a sua frequência durante a sessão. Também deve ser viabilizada a criação de metas e desafios com todas as combinações de sinais como, por exemplo, atingir determinada distância, dentro de determinado tempo e mantendo o batimento cardíaco dentro de um limite específico. Mais opções de avatares devem ser disponibilizadas, uma vez que esse fator, juntamente com o ambiente virtual, foram apontados majoritariamente como fontes de estímulo.

Ainda com relação aos testes, um resultado positivo observado foi a ausência de relatos de lesões devido ao experimento, o que ratifica as precauções tomadas durante os experimentos.

# 7 CONCLUSÃO

As motivações para a criação de exergames foram apresentadas no capítulo 1, como respostas às questões de saúde como o envelhecimento populacional e o aumento das taxas de obesidade nos grupos mais jovens, situações observadas tanto em países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento. A adoção de uma rotina regular de atividade física moderada poderia trazer benefícios significativos aos praticantes. Porém, por diversos fatores, há baixas taxas de adesão. Uma resposta à isso seriam os exergames, ou seja, jogos eletrônicos que incorporam elementos de exercício em seus sistemas, como forma de estímulo.

Exergames podem ser fonte de incentivo à prática de atividades físicas, como visto no capítulo 2. O estímulo se dá por vários aspectos do jogo e diferentes modos de disputa podem influenciar de maneira diversa os jogadores. A partir da análise dos trabalhos relacionados foi criada a proposta do Running Wheel, um exergame motivacional para corrida e caminhada em esteira ergométrica, com dois modos de jogo, *single player* e *multiplayer*.

No capítulo 3 foram detalhadas as características de incentivo incorporadas ao projeto e especificados os componentes funcionais do sistema. O modo *single player* foi apresentado, sendo base para os modos *multiplayer*, os quais se classificam em competitivo ou colaborativo, permitindo a adaptação aos perfis, capacidades e preferências dos usuários.

Seguindo a definição do Running Wheel, o capítulo 4 relatou o processo de desenvolvimento e as decisões de implementação e tecnologias utilizadas na concepção do sistema. Os dispositivos para coleta dos sinais de ritmo cardíaco do jogador e da velocidade foram apresentados, juntamente com o programa que recebe esses dados e os transmite para o programa de controle principal. O controle faz a análise, o registro e a exibição do ambiente do jogo, utilizando as informações pessoais do usuário, e seu estado atual.

A avaliação do jogo seguiu a metodologia de pesquisa descrita no capítulo 5, investigando as diferenças entre os dois modos de jogo: *single player* e *multiplayer* competitivo; e o desempenho dos tipos competidores virtuais.

O sistema Running Wheel foi testado em mais de 20 horas de sessões, com cerca de 35 pessoas, durante seu desenvolvimento. O sensor de velocidade e o monitor de ritmo cardíaco mostraram-se robustos mesmo tendo baixo custo e, combinado com a facilidade de uso dos programas de captura de dados e controle, favorecem sua ampla implantação em outros ambientes como academias, residências e também em futuros projetos de pesquisa.

Os resultados encontrados demonstraram a capacidade do modo *multiplayer* propiciar uma maior motivação aos usuários, os quais alcançaram um índice de esforço maior, comprovando a hipótese H1 postulada. A hipótese H2 que afirmava existir diferença de desempenho dependendo

dos diferentes tipos de parceiros virtuais não pode ser comprovada, motivando investigações futuras, apresentadas a seguir.

## 7.1 Trabalhos futuros

Novas investigações devem incluir a pesquisa do modo colaborativo, especificamente para validar sua capacidade de motivação quando comparada ao modo competitivo. Para isso, deve ser feita uma caracterização do perfil dos participantes quanto à competitividade e também às suas preferências individuais. Como visto na definição da proposta, o modo colaborativo contém elementos que favorecem a socialização com troca de mensagens entre os participantes, copresença dos parceiros através de mais avatares, comunicação por meio de microfones e alto-falantes, e a possibilidade de configurar objetivos comuns ao grupo. Pesquisas futuras devem portanto concentrar esforços na validação da efetividade dessas funcionalidades.

Um apontamento relacionado à imersão, sugerido pelos participantes do experimento, foi quanto ao cenário. Implementações futuras podem conter mais opções e incluir logradouros reais, além de mapas mais detalhados e com mais elementos para distração. Cornelis et al. (2008) apresentam um método para criação automática de modelos de cidades, fazendo o mapeamento de ambientes reais com duas câmeras. Recentemente, a proposta de Torii, Havlena e Pajdla (2009) utiliza as fotos disponibilizadas no sistema Google Street View, permitindo a criação de mapas virtuais de grandes capitais mundiais, as quais são bastantes detalhadas no sistema do Google, com imagens permitindo uma visão 360°. A utilização de sítios reais permite também a adição de elementos visuais físicos conhecidos, que marquem a distância percorrida pelo jogador, possibilitando mais uma fonte de estímulo.

Outra área de interesse para pesquisas futuras são sistemas mais eficientes para aquisição de informações dos jogadores durante o exercício. O sistema de coleta implementado é suscetível a trapaças e pode ter sua precisão aprimorada. A implantação do Running Wheel em larga escala, em múltiplos ambientes, motiva à criação de mecanismos *anti cheating*, para garantir a validade dos dados de velocidade e ritmo cardíaco dos usuários. Uma das formas de mitigação seria o emprego de câmeras de vídeo, como por exemplo, o sensor Microsoft Kinect, o qual permite a captura de movimentos do corpo todo. É possível detectar o caminhar através de imagens adquiridas por este dispositivo, permitindo calcular o tempo de cada passo e a velocidade do praticante, como visto em Gabel et al. (2012). Além disso, o Kinect v2.0 (vendido em conjunto com o Microsoft Xbox One) permite o monitoramento da frequência cardíaca sem fios, dispensando o uso de cinta cardíaca ou qualquer outro aparato. A detecção se dá por imagens infravermelho, obtidas e analisadas em tempo real (PANZARINO, 2013).

Ainda com relação ao sistema de coleta de sinais, futuras implementações poderiam incluir a possibilidade de importação dos dados de corridas ou caminhadas capturados por outros programas, por exemplo, Nike+ e Garmin Connect. O suporte pode abranger também a exibição

do ambiente virtual em dispositivos móveis como tablets e smartphones. Apesar da sensação de imersão potencialmente ser prejudicada devido às telas menores, a portabilidade pode ser um fator importante de facilitação da adaptação do sistema a esteiras ergométricas convencionais.

Um elemento importante que poderia ser explorado ainda mais é a copresença de parceiros de exercício. Esta funcionalidade busca trazer a experiência das grandes corridas de rua e maratonas (e.g. Maratona de Nova Iorque, Corrida de São Silvestre ou mesmo provas locais) para o Running Wheel. A proposta é apresentar avatares utilizando dados reais colhidos durante o evento (por exemplo a velocidade média em um trecho de subida) exibindo-os conforme o ritmo do usuário. A visualização de mais competidores, com dezenas de avatares e com o cenário refletindo a prova escolhida poderia trazer um estímulo maior ao usuário. Com relação ao estímulo, uma funcionalidade de diagnóstico inicial da condição física do usuário seria importante em futuras implementações pois permitiria um sistema de sugestão de treinos que atenderiam os objetivos do usuário, considerando suas limitações e sobretudo níveis seguros de exercício.

## 7.2 Contribuição da pesquisa: trabalhos produzidos

O trabalho desenvolvido nesta pesquisa gerou as seguintes publicações:

- Nunes, Nedel e Roesler (2013) introduz o Running Wheel e os modos de jogo competitivo e colaborativo e uma forma de análise do sistema (Apêndice H). Foi apresentado no IEEE VR 2013 como uma proposta de avaliação do sistema de incentivo.

**NUNES, M.; NEDEL, L.; ROESLER, V. Motivating people to perform better in exergames: Collaboration vs. competition in virtual environments. In: IEEE. Virtual Reality (VR), 2013 IEEE. Lake Buena Vista, FL, 2013. p. 115–116. – *Qualis A2*.**

- Nunes, Nedel e Roesler (2014) apresenta o Running Wheel em detalhes e reporta os resultados da avaliação do modo competitivo e *single player*, segundo a metodologia e hipóteses descritas nesta dissertação (Apêndice I). O trabalho descreveu em maiores detalhes a implementação do sistema e os resultados atingidos com sua avaliação, tendo sido apresentado no ACM SAC 2014.

**NUNES, M.; NEDEL, L.; ROESLER, V. Motivating people to perform better in exergames: Competition in virtual environments. In: ACM. Symposium On Applied Computing (SAC), 2014 ACM (to appear). Gyeongju, Korea, 2014. – *Qualis A1*.**

Além dos trabalhos acadêmicos, o sistema Running Wheel desenvolvido está sendo documentado e catalogado para ser utilizado em outras pesquisas, servindo, portanto, como base para investigações futuras na área de exergames.

# REFERÊNCIAS

ANDERSON-HANLEY, C. et al. Exergaming and older adult cognition: A cluster randomized clinical trial. *American Journal of Preventive Medicine*, v. 42, n. 2, p. 109 – 119, 2012. ISSN 0749-3797. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749379711008622>>. Citado 4 vezes nas páginas 44, 45, 46 e 48.

BARANOWSKI, T. et al. Playing for real: Video games and stories for health-related behavior change. *American Journal of Preventive Medicine*, v. 34, n. 1, p. 74 – 82.e10, 2008. ISSN 0749-3797. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749379707006472>>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 28.

BATISTA, M.; RISSIN, A. A transição nutricional no brasil: tendências regionais e temporais. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 19, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

BAUMEISTER, R.; BUSHMAN, B. *Social Psychology and Human Nature*. [S.l.]: Cengage Learning, 2011. Citado na página 49.

BBC. *Microsoft Kinect “fastest-selling device on record”*. 2011. <<http://www.bbc.co.uk/news/business-12697975>>. Acessado em: 26-10-2013. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/news/business-12697975>>. Citado na página 33.

BJÖRK, S. et al. Pirates!—using the physical world as a game board. In: *INTERACT*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 423–430. Citado na página 34.

BLANCHETTE, J.; SUMMERFIELD, M. *C++ GUI programming with Qt 4*. [S.l.]: O’Reilly Japan, 2006. Citado na página 66.

BORG, G. *Borg’s Perceived Exertion and Pain Scales*. [S.l.]: Human Kinetics, 1998. 131–53 p. Citado na página 75.

BRETON, Z. de U.; ZAPIRAIN, B.; ZORRILLA, A. Kimentia: Kinect based tool to help cognitive stimulation for individuals with dementia. In: *e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), 2012 IEEE 14th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 325–328. Citado na página 36.

CAMPBELL, T.; NGO, B.; FOGARTY, J. Game design principles in everyday fitness applications. In: *Proceedings of the 2008 ACM conference on Computer supported cooperative work*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (CSCW ’08), p. 249–252. ISBN 978-1-60558-007-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1460563.1460603>>. Citado 3 vezes nas páginas 41, 42 e 47.

CHATZISARANTIS, N. L. D.; BIDDLE, S. J. H.; MEEK, G. A. A self-determination theory approach to the study of intentions and the intention–behaviour relationship in children’s physical activity. *British Journal of Health Psychology*, Blackwell Publishing Ltd, v. 2, n. 4, p. 343–360, 1997. ISSN 2044-8287. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.2044-8287.1997.tb00548.x>>. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 76.

CHOI, E.-S. et al. Beatbox music phone: gesture-based interactive mobile phone using a tri-axis accelerometer. In: *Industrial Technology, 2005. ICIT 2005. IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 97–102. Citado na página 34.

COOPER, K. H. A means of assessing maximal oxygen intake. *JAMA: the journal of the American Medical Association*, Am Med Assoc, v. 203, n. 3, p. 201–204, 1968. Citado 2 vezes nas páginas 76 e 77.

CORNELIS, N. et al. 3d urban scene modeling integrating recognition and reconstruction. *International Journal of Computer Vision*, Springer US, v. 78, n. 2-3, p. 121–141, 2008. ISSN 0920-5691. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11263-007-0081-9>>. Citado na página 97.

DECI, E. L.; RYAN, R. M. *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. [S.l.]: Plenum (New York), 1985. Citado na página 49.

DETERDING, S. et al. From game design elements to gamefulness: Defining "gamification". In: *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*. New York, NY, USA: ACM, 2011. (MindTrek '11), p. 9–15. ISBN 978-1-4503-0816-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2181037.2181040>>. Citado na página 29.

DONOVAN, T. *Replay: The History of Video Games*. Yellow Ant Media Ltd, 2010. ISBN 9780956507204. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=\\_lrSSAAACAAJ](http://books.google.com.br/books?id=_lrSSAAACAAJ)>. Citado na página 21.

DUCHENEAUT, N.; MOORE, R. J. More than just xp: learning social skills in massively multiplayer online games. *Interactive Technology and Smart Education*, Emerald Group Publishing Limited, v. 2, n. 2, p. 89–100, 2005. Citado na página 21.

DUKES, P. et al. Punching ducks for post-stroke neurorehabilitation: System design and initial exploratory feasibility study. In: *3D User Interfaces (3DUI), 2013 IEEE Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 47–54. Citado na página 29.

ERMI, L.; MÄYRÄ, F. Fundamental components of the gameplay experience: Analysing immersion. *Worlds in Play: International Perspectives on Digital Games Research*. New York: Peter Lang Publishers, p. 37–53, 2007. Citado na página 35.

ETHERINGTON, D. *Niantic Labs Bears More Fruit: Location-Based Massively Multiplayer Game Ingress Hits Google Play*. 2012. Disponível em: <<http://techcrunch.com/2012/11/15/niantic-labs-bears-more-fruit-location-based-massively-multiplayer-game-ingress-hits-google-play>>. Citado na página 34.

FOLKINS, C. H.; SIME, W. E. Physical fitness training and mental health. *American Psychologist*, American Psychological Association, v. 36, n. 4, p. 373, 1981. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 47.

FRIES, J. F. et al. Reducing health care costs by reducing the need and demand for medical services. *New England Journal of Medicine*, Mass Medical Soc, v. 329, n. 5, p. 321–325, 1993. Citado na página 21.

GABEL, M. et al. Full body gait analysis with kinect. In: *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1964–1967. ISSN 1557-170X. Citado na página 97.

GAO, Z. et al. Impact of interactive dance games on urban children's physical activity correlates and behavior. *Journal of Exercise Science & Fitness*, v. 10, n. 2, p. 107 – 112, 2012. ISSN 1728-869X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1728869X12000366>>. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 47.

GOBEL, S. et al. Serious games for health: personalized exergames. In: *Proceedings of the international conference on Multimedia*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (MM '10), p. 1663–1666. ISBN 978-1-60558-933-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1873951.1874316>>. Citado na página 27.

HAMARI, J.; KOIVISTO, J.; SARSA, H. Does gamification work? – a literature review of empirical studies on gamification. In: *System Sciences (HICSS), 2014 47th Hawaii International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 3025–3034. Citado na página 29.

HILL, J. O.; PETERS, J. C. Environmental contributions to the obesity epidemic. *Science*, v. 280, n. 5368, p. 1371–1374, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/280/5368/1371.abstract>>. Citado na página 24.

HOYSNIEMI, J. International survey on the dance dance revolution game. *Comput. Entertain.*, ACM, New York, NY, USA, v. 4, n. 2, abr. 2006. ISSN 1544-3574. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1129006.1129019>>. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 47.

IBGE. *POF 2008-2009: desnutrição cai e peso das crianças brasileiras ultrapassa padrão internacional*. 2010. [Http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=1699](http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=1699). Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=1699>>. Citado na página 23.

JOHNSON, J. *From Atari Joyboard to Wii Fit: 25 years of exergaming*. 2008. Disponível em: <<http://gadgets.boingboing.net/2008/05/15/from-atari-joyboard.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

KARVONEN, M. J.; KENTALA, E.; MUSTALA, O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales Medicinæ Experimentalis et Biologiæ Fenniae*, v. 35, n. 3, p. 307–15, 1957. Citado na página 75.

KENCHAIHAH, S. et al. Obesity and the risk of heart failure. *New England Journal of Medicine*, v. 347, n. 5, p. 305–313, 2002. Disponível em: <<http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa020245>>. Citado na página 24.

KING, D. et al. 'gamification': Influencing health behaviours with games. *Journal of the Royal Society of Medicine*, v. 106, n. 3, p. 76–78, 2013. Disponível em: <<http://jrs.sagepub.com/content/106/3/76.short>>. Citado na página 29.

LANNINGHAM-FOSTER, L. et al. Energy expenditure of sedentary screen time compared with active screen time for children. *Pediatrics*, v. 118, n. 6, p. e1831–e1835, 2006. Disponível em: <<http://pediatrics.aappublications.org/content/118/6/e1831.abstract>>. Citado na página 24.

LEE, C. D.; FOLSOM, A. R.; BLAIR, S. N. Physical activity and stroke risk. *Stroke*, v. 34, n. 10, p. 2475–2481, 2003. Disponível em: <<http://stroke.ahajournals.org/content/34/10/2475.abstract>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 35.

LIU, D. *A case history of the success of Dance Dance Revolution in the United States*. 2002. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 47.

MADDISON, R. et al. Energy expended playing video console games: an opportunity to increase children's physical activity? *Pediatric exercise science*, Human Kinetics Publishers; 1999, v. 19, n. 3, p. 334, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

MENDONÇA, C. P.; ANJOS, L. A. Aspectos das práticas alimentares e da atividade física como determinantes do crescimento do sobrepeso/obesidade no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, Cadernos de Saúde Pública, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2004000300006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2004000300006)>. Citado na página 22.

MICHAEL, D. R.; CHEN, S. L. *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. [S.l.]: Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005. ISBN 1592006221. Citado 3 vezes nas páginas 27, 28 e 29.

NAYAK, M. *A look at the 66 billion video-games industry*. 2013. Disponível em: <<http://in.reuters.com/article/2013/06/10/gameshow-e-idINDEE9590DW20130610>>. Citado na página 21.

NUNES, M.; NEDEL, L.; ROESLER, V. Motivating people to perform better in exergames: Collaboration vs. competition in virtual environments. In: IEEE. *Virtual Reality (VR), 2013 IEEE*. Lake Buena Vista, FL, 2013. p. 115–116. Citado na página 98.

NUNES, M.; NEDEL, L.; ROESLER, V. Motivating people to perform better in exergames: Competition in virtual environments. In: ACM. *Symposium On Applied Computing (SAC), 2014 ACM (to appear)*. Gyeongju, Korea, 2014. Citado na página 98.

PANZARINO, M. *The new Xbox One Kinect tracks your heart rate, happiness, hands and hollers*. 2013. Disponível em: <<http://thenextweb.com/microsoft/2013/05/22/the-new-xbox-one-kinect-tracks-your-heart-rate-happiness-hands-and-hollers>>. Citado na página 97.

PARK, T. et al. Transforming solitary exercises into social exergames. In: *Proceedings of the ACM 2012 conference on Computer Supported Cooperative Work*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (CSCW '12), p. 863–866. ISBN 978-1-4503-1086-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2145204.2145332>>. Citado 3 vezes nas páginas 43, 44 e 48.

POPKIN, B. M.; DOAK, C. M. The obesity epidemic is a worldwide phenomenon. *Nutrition Reviews*, Blackwell Publishing Ltd, v. 56, n. 4, p. 106–114, 1998. ISSN 1753-4887. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01722.x>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 24.

RAMSDEN, E. *Hall-effect sensors: theory and application*. [S.l.]: Access Online via Elsevier, 2011. Citado na página 63.

RYAN, R. M.; DECI, E. L. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, v. 55, n. 1, p. 68–78, 2000. Citado na página 50.

- SALMON, J. et al. Reducing sedentary behaviour and increasing physical activity among 10-year-old children: overview and process evaluation of the 'switch-play' intervention. *Health Promotion International*, v. 20, n. 1, p. 7–17, 2005. Disponível em: <<http://heapro.oxfordjournals.org/content/20/1/7.abstract>>. Citado na página 24.
- SINCLAIR, J.; HINGSTON, P.; MASEK, M. Considerations for the design of exergames. In: *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia*. New York, NY, USA: ACM, 2007. (GRAPHITE '07), p. 289–295. ISBN 978-1-59593-912-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1321261.1321313>>. Citado 5 vezes nas páginas 24, 30, 35, 74 e 76.
- SMITH, B. Physical fitness in virtual worlds. *Computer*, v. 38, n. 10, p. 101 – 103, oct. 2005. ISSN 0018-9162. Citado na página 35.
- SMITH, D. *Kinect Sports And Kinect Joy Ride Get Free DLC*. 2010. Disponível em: <<http://game-insider.com/2010/12/14/kinect-sports-and-kinect-joy-ride-get-free-dlc/>>. Citado na página 33.
- SMITH, S. T. et al. A novel dance dance revolution (ddr) system for in-home training of stepping ability: basic parameters of system use by older adults. *British Journal of Sports Medicine*, v. 45, n. 5, p. 441–445, 2011. Disponível em: <<http://bjsm.bmj.com/content/45/5/441.abstract>>. Citado na página 37.
- SOARES, L.; RITTO, C. *Pesquisa do IBGE confirma que obesidade é epidemia no Brasil*. 2010. [Http://veja.abril.com.br/multimedia/infograficos/obesidade-no-brasil](http://veja.abril.com.br/multimedia/infograficos/obesidade-no-brasil). Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/multimedia/infograficos/obesidade-no-brasil>>. Citado na página 23.
- STEFANI, S. D.; BARROS, E. *Clínica médica: consulta rápida*. [S.l.]: Grupo A, 2004. Citado na página 45.
- SUHONEN, K. et al. Seriously fun: Exploring how to combine promoting health awareness and engaging gameplay. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Entertainment and Media in the Ubiquitous Era*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (MindTrek '08), p. 18–22. ISBN 978-1-60558-197-2. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1457199.1457204>>. Citado na página 30.
- TORII, A.; HAVLENA, M.; PAJDLA, T. From google street view to 3d city models. In: *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2009 IEEE 12th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 2188–2195. Citado na página 97.
- TUCKER, K. L.; BURANAPIN, S. Nutrition and aging in developing countries. *The Journal of Nutrition*, v. 131, n. 9, p. 2417S–2423S, 2001. Disponível em: <<http://jn.nutrition.org/content/131/9/2417S.abstract>>. Citado na página 25.
- UNNITHAN, V.; HOUSER, W.; FERNHALL, B. Evaluation of the energy cost of playing a dance simulation video game in overweight and non-overweight children and adolescents. *International journal of sports medicine*, © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart· New York, v. 27, n. 10, p. 804–809, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 47.
- VANDEWATER, E. A.; SHIM, M.; CAPLOVITZ, A. G. Linking obesity and activity level with children's television and video game use. *Journal of Adolescence*, v. 27, n. 1, p. 71 – 85, 2004. ISSN 0140-1971. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140197103000903>>. Citado na página 35.

WATTERS, C. et al. Extending the use of games in health care. In: *System Sciences, 2006. HICSS '06. Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2006. v. 5, p. 88b. ISSN 1530-1605. Citado na página 28.

WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. report of a who consultation. *World Health Organization Technical Report Series*, World Health Organization, v. 894, n. 7, p. i–xii, 1–253, 2000. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11234459>>. Citado na página 22.

WHO. *World Health Statistics Report*. [S.l.]: World Health Organization, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

WILLIAMS, G. C. et al. Autonomous regulation and long-term medication adherence in adult outpatients. *Health Psychology*, v. 17, n. 3, p. 269–276, 5 1998. Citado na página 50.

WYLIE, C. G.; COULTON, P. Mobile exergaming. In: *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (ACE '08), p. 338–341. ISBN 978-1-60558-393-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1501750.1501830>>. Citado na página 34.

# **Apêndices**



– APÊNDICE A –

# QUESTIONÁRIO DE ANAMNESE

Projeto Running Wheel

**Nome completo: \***

**Qual a sua faixa etária? \***

**Com que frequência você pratica caminhada ou corrida? \***

- Menos de uma vez por semana
- Uma a duas vezes por semana
- Duas a três vezes por semana
- Mais de 3 vezes por semana
- Todos os dias

**Qual distância você caminha ou corre normalmente? \***

- Menos de 3km
- Entre 3km e 5km
- Entre 5km e 8km
- Entre 8km e 10km
- Mais de 10km

**Quanto tempo você caminha ou corre? \***

- Até 10 minutos
- De 10 à 15 minutos
- De 15 à 30 minutos
- De 30 à 45 minutos
- Mais de 45 minutos

**Você tem algum parceiro(a) de caminhada ou corrida? \***

- Sim
- Não

O quão competitivo você se considera no dia-a-dia? \*

Nenhum pouco  
competitivo

Pouco competitivo

Competitivo

Muito competitivo

Extremamente  
competitivo

Você prefere fazer uma caminhada ou corrida na esteira ou na rua? \*

Esteira

Rua

Qual sua motivação para se exercitar? \*

Participo de um grupo de caminhada/corrída

Motivo de saúde

Por diversão

Motivos estéticos (ter um corpo mais definido)

Para participar de competições

Outro

Você já deixou de realizar uma sessão de caminhada ou corrida que tinha planejada? Se sim, por quê?

Nunca deixei de praticar

Ausência de um parceiro de caminhada/corrída

Mau tempo (chuva, frio ou calor muito intenso)

Compromisso inesperado

Desmotivação por qualquer motivo

Outro

Submit

0%

– APÊNDICE B –  
QUESTIONÁRIO *BASELINE*

Projeto Running Wheel (G0)

Nome completo \*

Avalie a influência motivacional do sistema no seu desempenho durante a sessão: \*

Nenhum pouco motivacional      Pouco motivacional      Motivacional      Bastante motivacional      Muito motivacional

Avalie a sua dificuldade para completar o teste: \*

Muito difícil                      Difícil                      Médio                      Fácil                      Muito fácil

Avalie a importância de visualizar a velocidade que você estava desempenhando \*

Nenhum pouco importante      Pouco importante      Médio      Importante      Muito importante

Avalie a importância de visualizar seu ritmo cardíaco \*

Nenhum pouco importante      Pouco importante      Médio      Importante      Muito importante

Avalie a importância de visualizar a distância que você percorreu \*

Nenhum pouco importante      Pouco importante      Médio      Importante      Muito importante

Avalie a importância de visualizar o tempo decorrido da sessão \*

Nenhum pouco importante      Pouco importante      Médio      Importante      Muito importante

Avalie a importância das mensagens de texto apresentadas durante a corrida \*

Nenhum pouco importante	Pouco importante	Médio	Importante	Muito importante
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

---

**Outras sugestões ou comentários sobre o sistema**

---

**Submit**

0%

– APÊNDICE C –

**QUESTIONÁRIO *SINGLE PLAYER***

Projeto Running Wheel (G1)

**Nome completo \***

**Qual característica do jogo você achou mais importante?**

- Ambiente virtual
- Ver a si próprio (avatar)
- Nenhuma
- Outra  \*

**Avalie a influência motivacional do sistema no seu desempenho durante a sessão: \***

- |                              |                       |                       |                       |                       |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nenhum pouco<br>motivacional | Pouco motivacional    | Motivacional          | Bastante motivacional | Muito motivacional    |
| <input type="radio"/>        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

**Avalie a sua dificuldade para completar o teste: \***

- |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muito difícil         | Difícil               | Médio                 | Fácil                 | Muito fácil           |
| <input type="radio"/> |

**Avalie a importância de visualizar a velocidade que você estava desempenhando \***

- |                            |                       |                       |                       |                       |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nenhum pouco<br>importante | Pouco importante      | Médio                 | Importante            | Muito importante      |
| <input type="radio"/>      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

**Avalie a importância de visualizar seu ritmo cardíaco \***

- |                            |                       |                       |                       |                       |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nenhum pouco<br>importante | Pouco importante      | Médio                 | Importante            | Muito importante      |
| <input type="radio"/>      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

**Avalie a importância de visualizar a distância que você percorreu \***

- |                            |                       |                       |                       |                       |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nenhum pouco<br>importante | Pouco importante      | Médio                 | Importante            | Muito importante      |
| <input type="radio"/>      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

**Avalie a importância de visualizar o tempo decorrido da sessão \***

Nenhum pouco importante

Pouco importante

Médio

Importante

Muito importante

**Avalie a importância das mensagens de texto apresentadas durante a corrida \***

Nenhum pouco importante

Pouco importante

Médio

Importante

Muito importante

**Outras sugestões ou comentários sobre o sistema****Submit**

0%



**Avalie a importância de visualizar o tempo decorrido da sessão \***

Nenhum pouco importante

Pouco importante

Médio

Importante

Muito importante

**Avalie a importância das mensagens de texto apresentadas durante a corrida \***

Nenhum pouco importante

Pouco importante

Médio

Importante

Muito importante

**Se você pudesse mudar algo no jogo o que seria? \***

- Cenário
- Personagem (avatar)
- Adicionar competidor parceiro
- Outras mensagens de texto
- Outra  \*

**Outras sugestões ou comentários sobre o sistema****Submit**

0%

# – APÊNDICE E –

## QUESTIONÁRIO *MULTIPLAYER* COMPETITIVO

Projeto Running Wheel (G2)

Nome completo \*

Você soube durante toda a corrida quem era seu parceiro? \*

- Sim  
 Não

Avalie a sua dificuldade para completar o teste: \*

- Muito difícil      Difícil      Médio      Fácil      Muito fácil
- 

O quão competitivo você se sentiu ao disputar o jogo? \*

- Nenhum pouco competitivo      Pouco competitivo      Competitivo      Bastante competitivo      Muito competitivo
- 

Avalie a influência motivacional do sistema no seu desempenho durante a sessão: \*

- Nenhum pouco motivacional      Pouco motivacional      Motivacional      Bastante motivacional      Muito motivacional
- 

Avalie a importância de visualizar a velocidade que você estava desempenhando \*

- Nenhum pouco importante      Pouco importante      Indiferente      Importante      Muito importante
- 

Avalie a importância de visualizar seu ritmo cardíaco \*

- Nenhum pouco importante      Pouco importante      Indiferente      Importante      Muito importante
- 

Avalie a importância de visualizar a distância que você percorreu \*

Nenhum pouco importante	Pouco importante	Indiferente	Importante	Muito importante
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<hr/>				
<b>Avalie a importância de visualizar o tempo decorrido da sessão *</b>				
Nenhum pouco importante	Pouco importante	Indiferente	Importante	Muito importante
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<hr/>				
<b>Avalie a importância das mensagens de texto apresentadas durante a corrida *</b>				
Nenhum pouco importante	Pouco importante	Indiferente	Importante	Muito importante
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<hr/>				
<b>Next</b>				
0%				

## Projeto Running Wheel (G2)

New Page

**Avalie a importância de visualizar a velocidade do seu adversário durante a corrida \***

Nenhum pouco importante  Pouco importante  Indiferente  Importante  Muito importante

**Avalie a importância de ver o ritmo cardíaco do seu adversário durante a corrida \***

Nenhum pouco importante  Pouco importante  Indiferente  Importante  Muito importante

**Avalie a importância de ver a diferença de distância sua com relação ao seu adversário durante a corrida \***

Nenhum pouco importante  Pouco importante  Indiferente  Importante  Muito importante

**Avalie a importância da representação espacial dos participantes (ultrapassagem, corrida lado-a-lado) \***

Nenhum pouco importante  Pouco importante  Indiferente  Importante  Muito importante

**Outras sugestões ou comentários sobre o sistema**

Back

Submit

50%

# – APÊNDICE F –

## QUESTIONÁRIO *MULTIPLAYER* COMPETITIVO FINAL

Projeto Running Wheel (G2-Fnal)

**Nome completo \***

---

**Você sempre soube durante toda a corrida quem era seu parceiro? \***

Sim

Não

---

**Avalie a sua dificuldade para completar o teste: \***

Muito difícil      Difícil      Médio      Fácil      Muito fácil

---

**O quão competitivo você se sentiu ao disputar o jogo? \***

Nenhum pouco competitivo      Pouco competitivo      Competitivo      Bastante competitivo      Muito competitivo

---

**Avalie a influência motivacional do sistema no seu desempenho durante a sessão: \***

Nenhum pouco motivacional      Pouco motivacional      Motivacional      Bastante motivacional      Muito motivacional

---

**Avalie a importância de visualizar a velocidade que você estava desempenhando \***

Nenhum pouco importante      Pouco importante      Indiferente      Importante      Muito importante

---

**Avalie a importância de visualizar seu ritmo cardíaco \***

Nenhum pouco importante      Pouco importante      Indiferente      Importante      Muito importante

---

**Avalie a importância de visualizar a distância que você percorreu \***

Nenhum pouco importante

Pouco importante

Indiferente

Importante

Muito importante

---

**Avalie a importância de visualizar o tempo decorrido da sessão \***

Nenhum pouco importante

Pouco importante

Indiferente

Importante

Muito importante

---

**Avalie a importância das mensagens de texto apresentadas durante a corrida \***

Nenhum pouco importante

Pouco importante

Indiferente

Importante

Muito importante

Next

0%

## Projeto Running Wheel (G2-Final)

New Page

**Avalie a importância de visualizar a velocidade do seu adversário durante a corrida \***

Nenhum pouco importante  Pouco importante  Indiferente  Importante  Muito importante

**Avalie a importância de ver o ritmo cardíaco do seu adversário durante a corrida \***

Nenhum pouco importante  Pouco importante  Indiferente  Importante  Muito importante

**Avalie a importância de ver a diferença de distância sua com relação ao seu adversário durante a corrida \***

Nenhum pouco importante  Pouco importante  Indiferente  Importante  Muito importante

**Avalie a importância da representação espacial dos participantes (ultrapassagem, corrida lado-a-lado) \***

Nenhum pouco importante  Pouco importante  Indiferente  Importante  Muito importante

**Disputar contra um adversário virtual motiva tanto quanto disputar contra um adversário real. \***

Discordo totalmente  Discordo  Indiferente  Concordo  Concordo totalmente

**Eu consegui identificar o personagem virtual como um parceiro real de corrida. \***

Discordo totalmente  Discordo  Indiferente  Concordo  Concordo totalmente

**Qual item mais ajudou você a identificar seu parceiro de corrida como uma pessoa real? \***

- Nenhum
- Avatar (o próprio personagem)
- Mensagens de texto
- Tag (texto próximo ao personagem)

Outro

---

**Se você pudesse mudar algo no jogo o que seria? \***

- Cenário
- Personagem (avatar)
- Adicionar mais competidores (parceiros)
- Outras mensagens de texto
- Outra  \*

---

**Qual competidor você achou melhor? \***

- Você mesmo
- Competidor conhecido (alguém que você conhece no mundo real)
- Competidor desconhecido (alguém que você não conhece no mundo real)
- Competidor melhor que você

---

**Outras sugestões ou comentários sobre o sistema**

Back

Submit

50%

## Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa sobre fatores motivacionais para a prática de exercícios físicos. Este documento tem o propósito de explicar os objetivos do estudo, os procedimentos, os riscos e como serão conduzidos os testes.

Pedimos que leia este documento atentamente e esclareça todas as dúvidas antes de consentir na sua participação.

**Objetivo:** Exergames são jogos eletrônicos que tem por objetivo fazer o usuário praticar alguma atividade física através da sua forma de interação. Jogadores que utilizam regularmente exergames acabam combinando a diversão do jogo com os benefícios para a saúde da prática regular de exercícios.

Este estudo visa avaliar características de um jogo simulador de corrida através da realização de testes padronizados de caminhada ou corrida.

**Procedimentos:** Os participantes realizarão um teste de corrida em uma esteira ergométrica sendo facultado o uso de um frequencímetro (medidor de batimento cardíaco) durante a sessão. Neste teste os participantes irão percorrer a maior distância que conseguirem dentro de 12 minutos, tentando manter uma velocidade constante durante a sessão. Os participantes podem correr ou caminhar ficando o controle da velocidade da esteira sob responsabilidade de cada um.

Durante o teste os participantes serão questionados quanto ao seu nível de cansaço e ao término será apresentado um questionário de avaliação sobre a sessão.

Os dados da sua sessão (velocidade e ritmo cardíaco) poderão ser registrados e utilizados neste estudo somente.

O tempo total de cada encontro será de cerca de 30 minutos. O estudo se estenderá por pelo menos seis sessões, respeitando as preferências de horário/dia dos voluntários.

Os participantes podem, sem nenhum prejuízo e a qualquer tempo, interromper o teste, se assim o desejarem.

**Riscos e benefícios:** O presente estudo pode apresentar riscos para pessoas que possuam algum tipo de condição cardiopulmonar (pressão alta, insuficiência, asma, bronquite, entre outras), ortopédicas ou musculares. Se você tem qualquer uma destas condições deve indicar neste momento.

Os benefícios para o participante são oportunidades para se exercitar, e poder contribuir para uma pesquisa sobre o papel motivacional de exergames que levará ao projeto de sistemas de incentivo mais eficientes no futuro.

### CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO

Eu, \_\_\_\_\_, abaixo assinado(a), concordo em participar do estudo. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido o sigilo das informações e que posso retirar meu consentimento a qualquer momento. Reconheço que estou em bom estado de saúde e não tenho problemas médicos que me restringiriam de participar deste experimento.

Local e data: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Concordo que meus dados de velocidade e ritmo cardíaco, coletados durante as sessões, sejam compartilhados com outros participantes do estudo (marque em caso afirmativo).

# Motivating People to Perform Better in Exergames: Collaboration vs. Competition in Virtual Environments

Mateus Nunes\*

Luciana Nedel†

Valter Roesler‡

Institute of Informatics – Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS)

## ABSTRACT

Repetitive indoor exercises as running on a treadmill or cycling on an exercise bike use to be tedious and hard to keep in diary basis. In sports, social relationships are an important source of stimulus to achieve a goal. Better performances can be achieved when one compete against others, as well as when a group collaborate to achieve a common target. In this work we propose a motivational system to help people to perform better in exergames using a virtual environment and testing the effects of collaboration and competition in such environment.

**Index Terms:** H.5.1 [Multimedia Information Systems]: Artificial, augmented, and virtual realities—Life Cycle; H.1.2 [User/Machine Systems]: Human factors—

## 1 INTRODUCTION

Immersive virtual environments may bring a way to better motivate people to enjoy more intense activities for longer periods of time by providing a cognitive input for both distraction and goal achievement. Cognitive stimulus comes from the immersion itself, giving a different, more pleasant perspective of the physical activity, and, in some way changing what the user is seeing and feeling. An impulse to reach a goal (e.g. a distance, time or speed) could come from an underneath game stimulating players to succeed. Another important stimulus that pushes people to exercise themselves is socialization, either in a collaborative or competitive way. However, individual and repetitive exercises as jogging or cycling – unlike team games – are difficult to do in groups for many reasons: people do this indoor using treadmills for instance, friends do not have the same goals or even the same rhythm, people that exercise in diary bases do not do this at the same time and place, etc.

In this work we introduce an immersive exercise game to motivate people to run on a treadmill. Two game modes were proposed: competitive and collaborative. Our main goal is to verify which mode give us better results regarding game experience, fun, and stimulus to continue doing exercise daily.

## 2 RELATED WORK

Mueller et al. [2] developed a system that allows people from different parts of the world to talk during a jogging session as they were co-located. The system was based on a mobile phone and a headset with spacial audio capability. Runners effort was estimated using heart rate sensors and if it was above or below a predefined range, they received a virtual feedback quite similar to the one received if they were jogging together at the same place. If player A had a heart beat very high (which implies he was running very fast), he would hear player B behind him. If player A heart rhythm was too low (he was probably walking or running slow) he would

\*e-mail: mbnunes@inf.ufrgs.br

†e-mail: nedel@inf.ufrgs.br

‡e-mail: roesler@inf.ufrgs.br



Figure 1: System overview. In the left, the set up used for exercising while playing, and in the right, an in-game screenshot of two players running together.

hear B's voice in front of him, inspiring him to go faster and reach B. Participants reported a strong social experience, similar of being co-located with their partners, which motivated them to run more.

Ahn et al. [1] also implemented a social exergame called Swan Boat where players could run on a treadmill and their speed was used as input to a game that simulated a rafting adventure. If they moved faster, their boat would navigate faster as well. They reported a significant improvement on the mean speed of participants that used the game against those that did not.

## 3 THE MOTIVATIONAL SYSTEM

We propose a motivational system – an exergame – that encourages people to endure and enjoy more the physical exercise they are doing through stimulus from a display showing a virtual environment where the player can interact with others in a competitive or collaborative way. Unlike the previous works presented in Section 2, we allow players to play together even if they do not have the same goal, are in different places, and play in different timetable. We believe that the immersion achieved in a virtual world can bring an important cognitive input to lessen the perceived effort during the exercise session.

The system setup (see Figure 1) consists of a treadmill, a computer connected to the web, a display for visualization, a microphone and a speaker, two hardware modules with sensors: for wireless monitoring the heartbeats using a heart rate monitor; and for capturing the treadmill belt movement and the rate which the motor spins the belt.

First of all, the player should register himself in the system with his name and id, choose a challenge (e.g. achieve a new distance or time personal record, complete 500 km, run faster than someone else, etc.), and set the workout for the next session. Challenges may be competitive or collaborative. Then, the player starts his run in the treadmill. Heart beats, distance followed and instantaneous speed are captured and sent to the game server in real time. While running, the player sees his avatar running with the same velocity in a virtual environment displayed in the screen placed in front of the treadmill (see Figure 1). During the jogging, he will cross with other avatars representing someone else of the same team (if the collaboration mode is on), or a competitor.

Multiple participants can play together and each player can see if they are slower or faster than others by his avatar position on

the screen (if others are faster, they will eventually outpace him). During a game session it is also possible to talk with others using microphone and speakers connected to the computer. Players in the same challenge are not obliged to play at the same time, or even to achieve the same target distance. Distances and velocities are normalized and then applied to the player avatar in the virtual environment. Otherwise some of the competitors will never meet each other in the virtual world. If the competitor or collaborator is not playing at the same time, the system use the data captured from his previous exercise session and use this to move his avatar (also normalized).

Different cues and text messages are given to motivate people to go faster and farther based on current speed, heart rate and the challenge set before the session. These features were created using concepts of Competence, Autonomy and Relatedness from the Self Determination Theory (SDT), a psychological theory that explains how people are driven to accomplish things [3].

### 3.1 Competitive game

In this game mode we aim to provide the best competitive experience for players, enabling two players to run against each other. Players have access, during the race, to information regarding their speed and heart beat, as well as their opponents. Using a virtual environment for competition is convenient because it allows people from different places to compete instead of having to be at the same place. As mentioned before, it is even possible to compete on different schedules once you can select recorded data from a past race. In fact, one could choose to run against himself/herself using information gathered on the day before, for example. Despite being very motivational for some players, we identified a need to also address those that look into sports, especially jogging, as a way to socialize and interact with others. They usually find a competitive environment quite demotivating as opposed to a more common-objective, collaborative environment.

### 3.2 Collaborative game

This mode of play allows a group of participants to run together to reach a previously agreed challenge (e.g. to achieve a global distance or to run a large number of days in a row). This kind of challenges are common in running social networks as Nike+<sup>1</sup>, for instance. Incentive comes from every player, since they can communicate in real time and also leave recorded audio messages for other players to listen when they reach milestones. We identified a different kind of motivation that emerges from social relations and the immersive virtual environment could provide a way for this to take place just like happens on real world.

## 4 EXPERIMENT DESIGN

We aim to evaluate and understand what kind of objects or in-game features allow collaboration and competition on a virtual environment, and to measure their impact on the overall performance of players engaging the two types of games.

Users will test four different setups: (a) a treadmill by itself, just like in the traditional way, no game or other support or encouraging system is provided (this setup serves as control); (b) a treadmill with the exergame on single player mode (user sees the avatar alone in the screen and information about speed and heartbeat is given); (c) competitive, player vs. player mode (on this mode, a player pick another person to run against, and receive feedback about his performance compared with the competitor's); (d) collaborative mode with multiple players. Participants engage in a group of runners accordingly to their individual goals. During the session, motivational messages are shown. Also, the other players appear as avatars on the virtual environment. Verbal communication between players is also supported.

<sup>1</sup><http://nikeplus.nike.com>

Table 1: List of features analysed in each game mode: single player (SP), competitive (CMP), and collaborative (COL).

Feature	SP	CMP	COL
Immersive virtual environment	yes	yes	yes
Heart beat monitoring	yes	yes	yes
Speed monitoring	yes	yes	yes
Opponent copresence	no	yes	no
Copresence of others in a group	no	no	yes
Text messages	no	yes	yes
Talking with others	no	no	yes
VE cues (avatars position)	no	yes	yes

Participants chosen for the study need to be all enrolled on a regular exercise routine already and have no additional risks using the system than they would have on a regular practice. Users will be invited to test all setups and after each session, they will answer a set of questions about that session. We will log all user generated information such as distance, speed and heart rate, during the exercise. Finally, participants will be asked to rate the perceived exertion of the exercise on Borg Scale<sup>2</sup>.

The evaluation allows a qualitative and quantitative analysis of the system features (summarized in Table 1).

We understand that qualitative research is valuable for pointing strong and weak points on each implementation as well as important features to be included or improved on each game mode, but the general preference may be quite distinct. After experiencing the four setups, users can choose whatever they want to use, and a score is kept. Analysis of this information provides resource to understand, besides all qualitative considerations, which system users would rather use on a daily basis.

## 5 FINAL COMMENTS

We aim to investigate differences between competition and collaboration on virtual environments as a motivation tool for exercise. We considered different features in each game mode that can leverage user's experience. The system implementation is ready and tests with users are being carried. Potential users show great interest to try the system and think that the immersive virtual environment can really improve their motivation and results. As a future work, we will introduce more cues for immersion in order to allow an even more realistic experience, reflecting the user movements on his avatar. In the end of this work, we intend to have a set of recommendations to be applied in the development of multi-user virtual reality applications. We also hope to identify the differences among collaboration and competition in these scenarios.

## REFERENCES

- [1] M. Ahn, S. Kwon, B. Park, K. Cho, S. P. Choe, I. Hwang, H. Jang, J. Park, Y. Rhee, and J. Song. Running or gaming. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '09, pages 345–348, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [2] F. Mueller, F. Vetere, M. R. Gibbs, D. Edge, S. Agamanolis, and J. G. Sheridan. Jogging over a distance between europe and australia. In *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '10, pages 189–198, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [3] R. Ryan and E. Deci. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1):68, 2000.

<sup>2</sup>Similar to a Likert Scale ranging from 6-very low effort to 20-maximum effort

# Motivating People to Perform Better in Exergames: Competition in Virtual Environments

Mateus Nunes, Luciana Nedel, Valter Roesler  
Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Institute of Informatics  
Porto Alegre, RS  
{mbnunes,nedel,roesler}@inf.ufrgs.br

## ABSTRACT

Repetitive indoor exercises as running on a treadmill or cycling on an exercise bike use to be tedious, meanwhile immersive virtual environments can bring a greater incentive especially when combined with other sources of motivation such as competition. In this work we introduce Running Wheel, an exergame with both single player and competitive modes with real time capture of heartbeat rhythm and speed of the treadmill. Two hypotheses were tested: (a) there is difference between users that ran with the competitive mode versus the single player mode; and (b) there is difference in performance depending on the kind of competitor picked. We evaluated the system with 12 volunteers which performed at least 6 jogging sessions. Results show that participants got strongly motivated and most of them tried to overcome their limitations and overtake others which in turn led to more effort, perceived by an increase in heartbeat rhythm.

## Categories and Subject Descriptors

H.5.1 [Multimedia Information Systems]: Artificial, augmented, and virtual realities; H.1.2 [User Machine Systems]: Human factors

## Keywords

virtual reality, motivational system, exergame

## 1. INTRODUCTION

Immersive virtual environments may bring a way to better motivate people to enjoy more intense and repetitive activities for longer periods of time since it can detach users from the real world to some extent and thus ease the effort perceived during exercise, and provide a cognitive input for both distraction and goal achievement. Cognitive stimulus comes from the immersion itself, giving a different, more pleasant perspective of the physical activity, and, in some way changing what the user is seeing and feeling. An impulse to reach

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

SAC'14 March 24-28, 2014, Gyeongju, Korea.

Copyright 2014 ACM 978-1-4503-2469-4/14/03 ...\$15.00.



Figure 1: System overview. Running Wheel captures heart beat rhythm wirelessly and treadmill speed. This information is recorded and used in a motivational exergame to improve performance.

a goal (e.g., a distance, time, or speed) could come from an underneath game stimulating players to succeed.

An **exergame** (combination of *exercise* and *game*), may include multiple features for incentive including the following: (a) the capture of users biorhythm data and exertion devices speed or intensity (such as speed of a treadmill or exercise bike); (b) avatars based on player's appearance and current physical effort; (c) multiplayer capabilities (allowing users from distant locations to enjoy the game together); (d) the display of messages for feedback about performance and encouragement; and so on. All this data can then be processed by the game engine and presented to the player aiming to provide a better incentive.

An important factor that may positively impact the adoption of this system is the pervasive use of technologies such as smartphones, tablets and even video-games. Data collected by these devices could be gathered by exergames either as input (i.e., monitoring pace and number of daily steps taken [10]) or as output (i.e., on the screen itself for visual presentation [15], apps for messages and audio communication between partners [4]).

We believe widespread use of exergames as the one introduced by us in this paper (see Figure 1) could lead to higher rates of people exercising regularly at the right intensity, which could assist with many growing health concerns regarding heart disease and obesity for example. While causes of obesity are considered multi-factorial, regular physical activity can bring important health benefits for the prac-

titioner [7]. Introducing a daily routine of at least 30 minutes of exercise can lower the average risk of comorbidities commonly associated with obesity such as heart disease, hypertension, diabetes and even prevent strokes [9, 16, 8].

An important stimulus that pushes people to exercise voluntarily is socialization. People usually enjoy more exercising in groups, for instance a couple of workmates jogging twice a week in the park, or even in a more competitive way when teams play against each other to win a tournament. Despite greater motivation for exercise emerging from social interactions, individual and repetitive exercises as jogging or cycling are difficult to do in groups for many reasons: some people prefer to exercise indoor using treadmills for instance while other prefer to exercise outdoor; friends do not have the same goals or even the same fitness level or rhythm; many friends do not exercise at the same time and place.

In this work we introduce an immersive exergame to motivate people to run on a treadmill. The game uses avatars placed on a virtual environment to represent the runner and his/her partners. Multiple features are included to give feedback about the player, like speed, exertion and overall performance, trying to increase the motivation to people that enjoy the social aspect of exercise. We also proposed a single player and a competitive multiplayer game as a motivational tool for exercise on a treadmill, and evaluated users' performance against a standard initial test. The two approaches (single player and multiplayer) are justified since some people are more motivated through competition, while others get motivated simply interacting in a more social manner.

This paper is organized as follows. In Section 2 we introduce background works related with this research. Section 3 describes the details of the Running Wheel game and Section 4 explains how the game was implemented. Section 5 brings the methodology we used in this user studies. Results are shown in Section 6. Finally, Section 7 presents the conclusions and the system evolution.

## 2. RELATED WORKS

Mueller et al. [11] addressed the social aspect of jogging providing a system that allowed people from different parts of the world to talk during a jogging session as they were co-located. The system was based on a mobile phone and a headset with spatial audio capability.

Runners' effort was estimated using heart rate sensors and if the rhythm was above or below a predefined range, they received a virtual feedback based on the heart rate of the other player. For example, if player A had a heart beat very high (which implies he was running very fast), he would hear player B behind him. If player A heart rhythm was low (he was probably running slowly or walking) he would hear B's voice in front of him, inspiring him to go faster and reach B. Participants reported a strong social experience, similar of being co-located with their partners, which motivated them to run more.

Nevertheless it was also acknowledged during the research that some runners don't like at all to talk during sessions because they're focused on breathing and improving their pace. We believe that this might indicate the arising of more competitive aspects that must be further investigated.

Ahn et al. [1] also implemented a social exergame called Swan Boat where players could run on a treadmill and their speed was used as input to a game that simulated a rafting adventure, also bracelets were used to help steer the boats.

A preliminary study formed groups of participants that competed against each other, and if one group moved faster, their boat would navigate faster as well, the idea was to each group to collaborate to reach better scores and beat the other teams. They reported a significant improvement on the mean speed of participants that used the game against those that did not.

However it was noted that participants who didn't have a good fitness level could become uninterested due to losing repeatedly, and maybe a handicap should be introduced.

Another interesting aspect of exercises is the evaluation of effort across multiple modalities. Park et al. [13] explored this aspect integrating people performing different tasks in a unique social way, synchronizing people by estimating the intensity of each different activity.

Four modalities were chosen for that study: hula hooping, treadmill running, stationary cycling and rope jumping. Rhythm was extracted in real time using different sensors for each device. Users practiced on all equipments simultaneously and a rhythm hint was presented for each user based on the rhythm of a leader participant.

Park et al. [13] highlighted the importance of interpersonal synchrony for motivation even with heterogeneous modalities and how this element significantly reduced the perceived workload of participants.

Achieving synchrony can be viewed as a way to provide different people ways to play with each other. Biometric data gathered from users such as heart rhythm, respiration frequency, blood pressure and galvanic skin response can be used as input to assess the exertion level and then a more personalized evaluation can be computed [6]. However since exergames usually explore body movements as inputs it is crucial for these sensor to be unobtrusive.

A particular useful body signal is the heart beat rate, since it is relatively easy to capture using off-the-shelf wearable sensors, and important information can be computed analyzing its variation. More trained people generally have lower heart rates than untrained ones, so it's possible to scale individual's performance in-game based on his/hers fitness capability.

Using this physiological signal Stach et al. [17] introduced and evaluated a scaling method with an exergame where players rode an exercise bike driving racing trucks on the virtual environment. Heart rate monitoring was used to estimate participants' individual effort and then a final result based on the relative exertion level was used as input for the trucks on the game, controlling how fast it would go.

Exergames have been linked to improvements in effort during exercise in older adults, resulting in health benefits. Anderson-Hanley et al. [2] evaluated a group of older adults in retirement communities using a stationary bike with a virtual reality system against a group that had the same bike but no support system and found that those who used the system had better cognitive function than the control group.

## 3. GAME OVERVIEW

We propose a motivational system – an exergame – called Running Wheel that encourages people to endure and enjoy more the physical exercise they are doing through stimulus from a display showing a virtual environment where the player can interact with others in a competitive way. Unlike the previous works presented in Section 2, we allow players

to play together even if they do not have the same goal, are in different places, and play in different timetable. We believe that immersion achieved in a virtual world can bring an important cognitive input to lessen the perceived effort during an exercise session.

First of all, the player should register in the system with his/her name and choose a challenge, which can be to achieve a goal distance (e.g. 5 miles), time (e.g. 30 minutes), or to compete against someone else. It is also possible to combine multiple goals. Then, the player starts to run in the treadmill. Heart beats, distance and pace are tracked and sent to the game server in real time. While running the player sees his avatar in the virtual environment performing at the same speed he is doing in the real world, displayed in a large screen placed in front of the treadmill (see Figure 1).

In the competitive mode (or multiplayer), the player will also visualize another avatar besides, representing the competitor. Both players run side-by-side just like they would do on the real world. If a runner is slower than the adversary, his/her avatar will also run slower in the game, and eventually will be outpaced by the adversary. In this game mode we aim to provide the best competitive experience for players, enabling two players to run against each other. Then, both players have access, during the race, to information regarding their speed and heart beat, as well as their opponents.

Using a virtual environment for competition is convenient because it allows people from different places to compete instead of having to be at the same place. As mentioned before, it is even possible to compete on different schedules once you can select recorded data from a past race. In fact, one could also choose to run against himself/herself using information gathered on the day before, for example.

Multiple participants can play together and each player can see if they are slower or faster than others by his/her avatar position on the screen (the fastest avatar will eventually outpace the others). Players in the same challenge are not obliged to play simultaneously, or even to achieve the same target distance. Distances and velocities are normalized and then applied to the player avatar in the virtual environment. If the competitor is not playing at the same time, the system retrieves the data captured from a preceding session and uses it to render the competitors' avatar on the screen (also normalized).

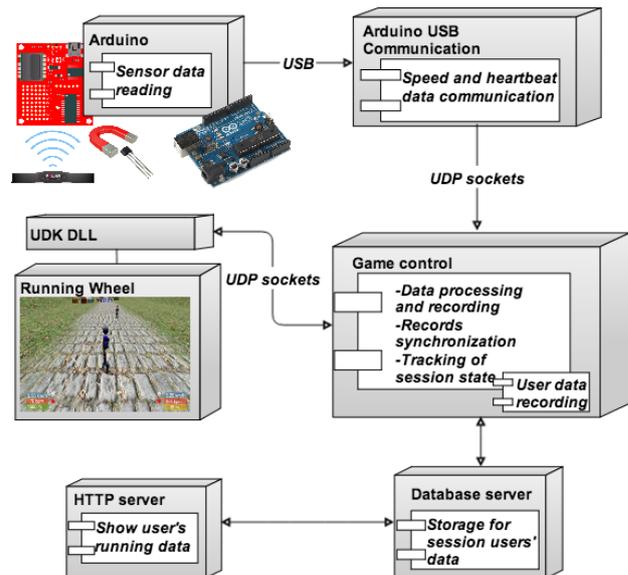
Different suggestions and text messages are given to motivate people to go faster and farther based on the current speed, heart rate and covered distance. These features were created using the concepts of Competence, Autonomy and Relatedness from the Self Determination Theory (SDT), a psychological theory that explains how people are driven to accomplish things [14].

#### 4. SYSTEM IMPLEMENTATION

The system consists of a treadmill, a computer connected to the web, a display for visualization and two hardware modules with sensors for monitoring the heart rhythm and to capture the speed of the treadmill (see Figure 1). All data is captured in real time and then sent to a processing unit that renders an avatar representing the real user.

Running Wheel is composed of several blocks that are presented on Figure 2 and will be further detailed.

The Arduino block receives two sensor inputs represented in the figure by a wireless chest belt and a magnet activating



**Figure 2: System design schematic.** First module handles data collection reading sensors for speed and heart beat rhythm. The main control module receives sensors' information and processes them, communicating with a database server for records registration and manages which information is displayed on the visualization module.

a Hall Effect transistor. A wireless chest belt is worn over the player's chest and sends his/her heart rhythm to a capture board attached to the treadmill. A small magnet is firmly attached to the spinning belt of the treadmill and activates a Hall Effect transistor each time it passes over it, capturing the treadmill speed.

Both hardware modules for speed capture and heartbeat sensing are based on the microcontroller prototype board Arduino<sup>1</sup> which is responsible for all communication with the PC using one USB port. This hardware device gathers all information and transforms it in UDP network packets which are sent to the PC on a regular basis through the Arduino's Ethernet interface. This is represented in Figure 2 by the block "Arduino Communication". The objective using this approach was to conceive a system easy to install on any treadmill without having to integrate with the manufacturer's implementation. Besides, we chose to use inexpensive off-the-shelf hardware to make it affordable and thus attractive to be installed in a home environment and in the gyms.

The System Control Block in Figure 2 is the main exergame software and consists of two parts: a Controller module in charge of sensors' information and users' profile handling, and a visualization module that handles all graphics processing, simulating the Virtual Environment accordingly to Controller's instructions. The System Control Block receives signals of both speed and heart beat, recording all information regarding sessions, gathering data from other players and triggering events on the visualization module based on user's current state and session goals (time or dis-

<sup>1</sup><http://www.arduino.cc/>



**Figure 3:** From left to right, a participant exercising in a competitive mode, another in a single player mode, and a screenshot of the game in competitive mode (observe the information of speed, heart beat, and distance on the inferior corners of the screen).

tance, for example), defining the correct stimuli to be shown on the screen. This block has also the game implementation that was developed using UDK Engine<sup>2</sup>.

The Database Server Block is responsible for storage and retrieval of all data related to players and sessions. Information such as name, gender, age, preferred messages and avatar configuration are recorded in the User Records Table whereas information about sessions are saved on two other tables, one for meta-information (single player or competitive, players involved, date and time) and another table for raw data (speed, distance, heart beat and so on).

The HTTP Server Block enables users to access remotely the system to get to know their performance and easily track their progress. The main features available are: visualization of ranking (updated automatically after each session), list of previous races and setup of the player's character (changing name, clothes, or even picking a different model).

## 5. EXPERIMENT DESIGN

Competition in the real world may emerge in different ways, not only through competition with other players. It is possible for people to get self-motivated to beat their past results (for example somebody striving to run longer or faster than he/she achieved yesterday), or another person doing a similar task, following the same rules. In this case the right partner is important for correct incentive since an amateur runner usually would not get very motivated to run against a professional marathon runner, in fact that could even hinder his/her motivation. On the other hand the professional runner would not get much motivation to compete with the novice.

The main hypotheses we seek to prove are:

- H1: there is a difference in performance between runners that use Running Wheel in competitive mode *versus* the ones exercising in single player mode
- H2: there is a difference in performance depending on the kind of virtual competitor chosen

### 5.1 Participants

Twelve volunteers agreed to take part on the study by attending at least 6 sessions. Ages ranged from 22 to 52

<sup>2</sup><http://www.unrealengine.com/>

years old ( $\bar{x} = 33.91$ ,  $\sigma = 11.06$ ), 10 were male, 84% of them declared to walk or run at least once a week. Most of them (75%) affirmed not having a partner for their activities, and among the ones that had, all stated to have not established any competitive relationship out of it.

### 5.2 Procedure

Since the main focus of this research is to investigate the primary motivation behind competitive versus single player exergames for fitness, we chose to adapt a methodology described in [12]. We applied a popular physical stress test called Cooper Fitness Test [5] which grades participants performance based on how far they ran on a fixed amount of time. The distance covered is then normalized by age and gender yielding a final result on a Likert Scale (1 - poor to 5 - excellent). This test is regarded as being greatly influenced by motivation and moreover it allowed us to compare performance across players and against themselves since the time of each session was limited to 12 minutes accordingly to the test guidelines.

We measured perceived exertion during sessions by asking participants to rate their fatigue on the Borg Rating of Perceived Exertion Scale [3] which is similar to a Likert Scale but ranging from 6 (no exertion at all) to 20 (maximal exertion).

All participants started performing their first session of Cooper Fitness Test to record the baseline data to be used on subsequent sessions. In this control mode they used the treadmill by itself, just like in the traditional way, no game or other encouraging system was provided. Then participants were ranked by the score achieved on Cooper Test and split on different groups randomly. Interviews and empirical data collected on preliminary studies helped us to define the most relevant game modes to be examined.

On the following days users exercised with the system throughout 5 more rounds testing two different modes: (a) single player (SP) mode, where the user saw the avatar alone in the screen. Information about speed and heartbeat was given together with encouraging messages (see Figure 3 left and middle); (b) competitive mode divided in three categories: against oneself (SF); against an immediate superior adversary (AA); against any adversary chosen by the participant (FP). In the competitive mode a player run against another person and receive feedback about his/her perfor-

mance compared with the competitor’s – see Figure 3 right. This setup (summarized in Table 1) was chosen to avoid training artifacts and to allow both groups to try all game modes. The last session gave participants choice to pick either game mode. We kept a score of which game mode was preferred for later analysis on the favorite option among users.

**Table 1: Test setup: list of game modes analyzed in each session by groups (G1: single player, G2: competitive): single player (SP), competitive against oneself (SF), adversary ranked immediately above (AA) and free pick among participants (FP).**

Group	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
G1	Baseline	SP	SP	SP	FP	SP/FP
G2	Baseline	SF	AA	FP	SP	SP/FP
	Baseline	SF	FP	AA	SP	SP/FP
	Baseline	AA	SF	FP	SP	SP/FP
	Baseline	AA	FP	SF	SP	SP/FP
	Baseline	FP	AA	SF	SP	SP/FP
	Baseline	FP	SF	AA	SP	SP/FP

All performance information such as speed, heartbeat and distance was recorded, and after the second session they could see how their position was compared with other participants. During each test we asked runners to rate their perceived effort three times with 4 minutes interval from each sample.

**Qualitative Analysis.** After every game session we applied a specific questionnaire to understand which features helped users to perform and enjoy more the exercise. The analysis of the perceived exertion, obtained using a Borg Scale, provided information on how games affect the perceived spent effort of the participants during the race.

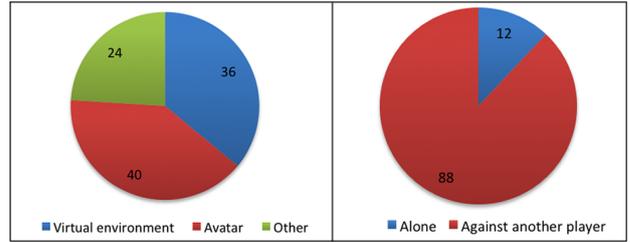
**Quantitative Analysis.** A quantitative analysis was performed after participants finished each round. The quantitative data analyzed were the speed, distance and heart rate between game rounds.

## 6. RESULTS

After being introduced to Running Wheel users found it very motivating. Comments were mostly positive and users reported having felt the time passing by faster than before (with no supporting system). Both modes were praised but most users found the competitive mode more encouraging than running alone.

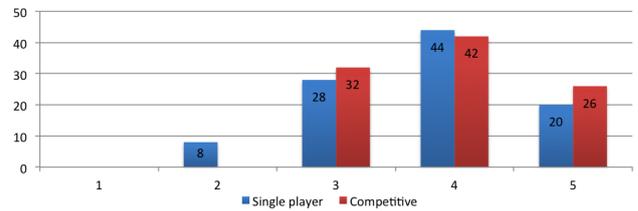
Most participants reported two features as the main source of stimulus (see Figure 4): the first one was **being the avatar** (40%), which means the visual representation of oneself on the screen and the second one was the **virtual immersion** (36%), which means the game itself. Other mentioned features were motivational text messages that appeared from time to time, and feedback about user’s performance compared to others which was presented as a general rank, before each session. At the end of the experiment we asked runners which mode motivated them more and 88% of the users said the competitive mode was more motivational as opposed to 12% that voted on single player, which can be seen on Figure 4 (right).

Volunteers answered after each session how motivational they felt the system was, rating it in a Likert Scale ranging from **1-Not motivational at all** to **5-Very motivational**.

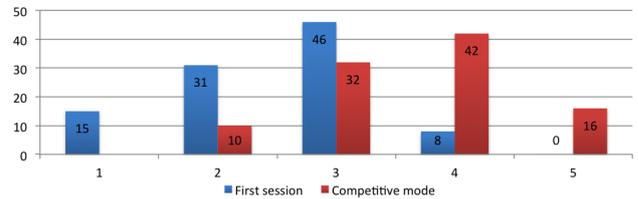


**Figure 4: Main features reported as source of motivation (left) and the preferred game type (right).**

As we can see on Figure 5, the competitive mode was perceived as “very motivational” by more players than the single player. Running Wheel single player received 8% of rating as “little motivational” on the other hand the competitive mode was always rated above “motivational”.



**Figure 5: Single player (blue,  $\bar{x} = 3.76$ ) and Competitive (red,  $\bar{x} = 3.93$ ) ratings for how motivational users perceived the system was.**



**Figure 6: Competitiveness assessed on the first session (blue,  $\bar{x} = 2.46$ ) and perceived after using Running Wheel competitive (red,  $\bar{x} = 3.64$ ).**

Another factor we investigated was how competition emerged. At the first session we asked participants how competitive they perceived themselves (Likert Scale ranging from **1-Not competitive at all** to **5-Extremely competitive**), later we questioned the same thing after they had played Running Wheel on competitive mode. Results are presented on Figure 6 and indicates a difference in perception after the experience with Running Wheel.

Recorded heart beat data was processed and a statistical analysis of variance was applied using ANOVA One-way for difference among users of the competitive versus those that performed on the single player mode. A significant difference was found between the two groups ( $p < 0.01$ ) where players that enjoyed Running Wheel competitive had a mean heart beat rhythm 5.9% above those that experienced the game by themselves. This increase in workout load was also confirmed when we asked players to rate their perceived exertion. Analysis of data gathered in the middle of the sessions

showed a significant rise ( $p < 0.01$ ) of effort in competitive multiplayer ( $\bar{x} = 14.07$ ) when compared to single player ( $\bar{x} = 12.89$ ).

The results also showed an increase in the physical conditioning of the players at the end of the experimental weeks. During the last sessions, the average beat rate of the players suffered a reduction of about 5 to 10 bpm when running in the same speed of previous sessions. On the other hand we found no significance in results between virtual adversaries (i.e. against oneself, a better player or a free picked competitor). We perceived players wanted to surpass anyone running besides them indistinctly. New experiments should be done to better investigate this hypothesis.

## 7. FINAL REMARKS

The goal of the experiment was to investigate differences between competitive and single player modes on virtual environments as a motivational tool for improve exercise levels and to reduce the boredom of exercising alone. We considered different features in each game mode that could leverage user's motivation. We implemented both modes in a virtual exergame connected to a treadmill and performed a series of experiments with 12 real users.

Results showed that the competitive mode improved performance significantly, and clearly the last sessions showed a reduction in the hearth rhythm of the players. The users preferred the competitive mode, but the qualitative analysis concluded also that the single player mode had an important potential by itself.

Nonetheless we found out that even users who affirmed at the beginning of the study not being competitive at all felt compelled to surpass competitors during sessions, which indicate that even in this virtual environment competitiveness can emerge and users can benefit from that stimulus.

Participants showed great interest to continue using the system on a regular basis and think that the immersive virtual environment can really improve their motivation and results.

As a future work, we will introduce more cues for immersion in order to allow an even more realistic experience, reflecting the user movements on the avatar and allowing communication between remote users online and offline. Messages of mocking among users could serve as an important additional stimulus to create a circle of healthy interaction for motivation. In the end of this work, we intend to have a set of recommendations to be applied in the development of multi-user virtual reality applications.

Another characteristic we could enhance is the scenario, creating maps based on real world elements for example: streets, parks, marathon routes, and so on may give users a more pleasant experience and provide amusement and distraction from the boring and repetitive task of running on a treadmill.

## 8. REFERENCES

- [1] M. Ahn, S. Kwon, B. Park, K. Cho, S. P. Choe, I. Hwang, H. Jang, J. Park, Y. Rhee, and J. Song. Running or gaming. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '09, pages 345–348, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [2] C. Anderson-Hanley, P. J. Arciero, A. M. Brickman, J. P. Nimon, N. Okuma, S. C. Westen, M. E. Merz, B. D. Pence, J. A. Woods, A. F. Kramer, and E. A. Zimmerman. Exergaming and older adult cognition: A cluster randomized clinical trial. *American Journal of Preventive Medicine*, 42(2):109 – 119, 2012.
- [3] G. A. Borg. *Physical performance and perceived exertion*. Gleerup Lund, 1962.
- [4] L. Chittaro and F. Zuliani. Exploring audio storytelling in mobile exergames to affect the perception of physical exercise. In *Proceedings of Pervasive Health 2013: 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, Los Alamitos, CA, 2013. IEEE Computer Society Press.
- [5] K. H. Cooper. A means of assessing maximal oxygen intake. *JAMA: the journal of the American Medical Association*, 203(3):201–204, 1968.
- [6] R. J. K. Jacob. The future of input devices. *ACM Comput. Surv.*, 28(4es), Dec. 1996.
- [7] P. T. James, R. Leach, E. Kalamara, and M. Shayeghi. The worldwide obesity epidemic. *Obesity Research*, 9(S11):228S–233S, 2001.
- [8] S. Kenchaiah, J. C. Evans, D. Levy, P. W. Wilson, E. J. Benjamin, M. G. Larson, W. B. Kannel, and R. S. Vasan. Obesity and the risk of heart failure. *New England Journal of Medicine*, 347(5):305–313, 2002.
- [9] C. D. Lee, A. R. Folsom, and S. N. Blair. Physical activity and stroke risk. *Stroke*, 34(10):2475–2481, 2003.
- [10] M. Mladenov and M. Mock. A step counter service for java-enabled devices using a built-in accelerometer. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Context-Aware Middleware and Services: affiliated with the 4th International Conference on Communication System Software and Middleware (COMSWARE 2009)*, CAMS '09, pages 1–5, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [11] F. Mueller, F. Vetere, M. R. Gibbs, D. Edge, S. Agamanolis, and J. G. Sheridan. Jogging over a distance between europe and australia. In *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '10, pages 189–198, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [12] M. Nunes, L. Nedel, and V. Roesler. Motivating people to perform better in exergames: Collaboration vs. competition in virtual environments. In *Virtual Reality (VR), 2013 IEEE*, pages 115–116. IEEE, 2013.
- [13] T. Park, U. Lee, B. Lee, H. Lee, S. Son, S. Song, and J. Song. Exersync: Facilitating interpersonal synchrony in social exergames. 2013.
- [14] R. Ryan and E. Deci. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1):68, 2000.
- [15] J. Silva and A. El Saddik. Exertion interfaces for computer videogames using smartphones as input controllers. *Multimedia Systems*, pages 1–14, 2012.
- [16] B. Smith. Physical fitness in virtual worlds. *Computer*, 38(10):101 – 103, oct. 2005.
- [17] T. Stach, T. Graham, J. Yim, and R. Rhodes. Heart rate control of exercise video games. In *Proceedings of Graphics interface 2009*, pages 125–132. Canadian Information Processing Society, 2009.