

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**RAFAEL DE ANDRADE PEREIRA**

**UMA ARQUITETURA DE JOGOS SÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO  
FINO DAS MÃOS EM DISPOSITIVOS MÓVEIS**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**RAFAEL DE ANDRADE PEREIRA**

**UMA ARQUITETURA DE JOGOS SÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO  
FINO DAS MÃOS EM DISPOSITIVOS MÓVEIS**

**A serious game architecture for assessing fine hand movement on mobile  
devices**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa (UTFPR).  
Orientadora: Profa. Dra. Simone Nasser Matos.  
Coorientadores: Prof. Dra. Helyane Bronoski Borges,  
Prof. Dr. Rui P. Lopes

**PONTA GROSSA**

**2023**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa**



RAFAEL DE ANDRADE PEREIRA

**UMA ARQUITETURA DE JOGOS SÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO FINO DAS MÃOS EM  
DISPOSITIVOS MÓVEIS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciência Da Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Sistemas E Métodos De Computação.

Data de aprovação: 20 de Setembro de 2023

Dra. Simone Nasser Matos, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Liliane Dos Santos Machado, Doutorado - Universidade Federal da Paraíba (Ufpb)

Dr. Wilson Henrique Veneziano, Doutorado - Universidade de Brasília (Unb)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 20/09/2023.

## RESUMO

Os jogos sérios, ao integrar elementos lúdicos com propósitos educativos, treinamento, diagnóstico ou reabilitação amplia sua influência no auxílio de atividades executadas por um ser humano. No campo da reabilitação os jogos sérios proporcionam atividades de coordenação motora fina essencial para movimentos precisos das mãos. Ao realizar o estudo da literatura se observou uma lacuna na utilização de dispositivos móveis como ferramentas de avaliação desse tipo de coordenação, bem como a falta de métodos de avaliação da coordenação em sua arquitetura. Este trabalho criou uma arquitetura para o desenvolvimento de jogos sérios, com foco na avaliação da coordenação motora fina em dispositivos móveis e suas tecnologias. A arquitetura integra duas leis formais: a Lei de Fitts, que relaciona tempo de movimento, amplitude e precisão, e a Lei de Hick, que prevê o tempo de reação do usuário frente a diferentes opções disponíveis. A combinação dessas leis com os protocolos estabelecidos permitiu o delineamento de uma arquitetura que pode auxiliar desenvolvedores na criação de jogos sérios com finalidade específica de avaliar a coordenação motora fina das mãos. A arquitetura também incorporou dois protocolos autorais, Prot1 e Prot2, especificamente criados para avaliar a coordenação motora fina através de sensores de movimento e interações táteis, respectivamente. Esses protocolos enriqueceram o escopo de avaliação, permitindo um entendimento mais completo das variáveis que influenciam a coordenação motora fina em contextos de dispositivos móveis. Foram criados três jogos para avaliar a arquitetura, os quais foram aplicados em um grupo de dez alunos de graduação e mestrado em computação. O primeiro jogo validou a Lei de Fitts com interações na tela, o segundo explorou sensores de movimento, e o terceiro mesclou uma avaliação customizada com a Lei de Hick, mensurando tempo de reação e precisão. A arquitetura desenvolvida pode ser incorporada não só em novos jogos, mas também em jogos sérios já existentes, otimizando sua capacidade de avaliação da coordenação motora fina. A arquitetura revelou resultados promissores, incluindo a efetiva aplicabilidade das Leis formais de Fitts e Hick em dispositivos móveis e evidenciando seu potencial na análise de interações e a introdução de uma ferramenta para avaliar a coordenação motora fina nesses dispositivos. Realizou-se uma comparação com as arquiteturas disponíveis na literatura destacando as características da arquitetura proposta, evidenciando a flexibilidade e adaptabilidade.

Palavras-chave: coordenação motora fina; jogos sérios; dispositivos móveis; arquitetura de desenvolvimento.

## ABSTRACT

Serious games, by integrating playful elements with educational, training, diagnostic, or rehabilitation purposes, broaden their influence in assisting activities performed by a human being. In the field of rehabilitation, serious games offer activities for fine motor coordination essential for precise hand movements. A study of the literature revealed a gap in the use of mobile devices as assessment tools for this type of coordination, as well as a lack of assessment methods for coordination in its architecture. This work created an architecture for the development of serious games, focusing on the assessment of fine motor coordination in mobile devices and their technologies. The architecture integrates two formal laws: Fitts' Law, which relates movement time, amplitude, and precision, and Hick's Law, which predicts user reaction time to different available options. The combination of these laws with established protocols allowed for the design of an architecture that can assist developers in creating serious games specifically aimed at evaluating fine motor coordination of the hands. The architecture also incorporated two proprietary protocols, Prot1 and Prot2, specifically created to assess fine motor coordination through motion sensors and tactile interactions, respectively. These protocols enriched the evaluation scope, allowing a more comprehensive understanding of the variables influencing fine motor coordination in the context of mobile devices. Three games were created to evaluate the architecture, which were applied to a group of ten undergraduate and master's students in computing. The first game validated Fitts' Law with screen interactions, the second explored motion sensors, and the third combined a customized assessment with Hick's Law, measuring reaction time and precision. The developed architecture can be incorporated not only into new games but also into existing serious games, optimizing their capacity to evaluate fine motor coordination. The architecture showed promising results, including the effective applicability of Fitts' and Hick's formal laws on mobile devices, demonstrating their potential in the analysis of interactions and introducing a tool to assess fine motor coordination in these devices. A comparison was made with the architectures available in the literature, highlighting the characteristics of the proposed architecture, showing its flexibility and adaptability.

Keywords: fine motor coordination; serious games; mobile devices; development architecture.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de classificação <i>GPS</i> .....	19
Figura 2 – Etapas de desenvolvimento de um jogo sério.....	22
Figura 3 – Experimento de Paul Fitts .....	24
Figura 4 – Possível pixel principal.....	25
Figura 5 – Bordas e cantos mágicos .....	26
Figura 6 – Diferença entre controles remotos antigos X atuais.....	28
Figura 7 – Busca simplificada Google.....	29
Figura 8 – Gestos em telas sensíveis ao toque .....	31
Figura 9 – Coordenadas cartesianas em dispositivos móveis.....	32
Figura 10 – Gestos em telas sensíveis ao toque .....	33
Figura 11 – Vetor e eixos do acelerômetro .....	34
Figura 12 – Funcionamento acelerômetro .....	35
Figura 13 – Vetor e eixos do giroscópio .....	36
Figura 14 – Jogo <i>Asphalt 9</i> .....	37
Figura 15 – Visão geral da metodologia.....	40
Figura 16 – Processo de afunilamento do resultado .....	42
Figura 17 – Arquitetura S1.....	45
Figura 18 – Arquitetura S2.....	47
Figura 19 – Arquitetura S3.....	48
Figura 20 – Arquitetura S4.....	49
Figura 21 – Arquitetura S5.....	50
Figura 22 – Arquitetura S6.....	52
Figura 23 – Arquitetura S7.....	53
Figura 24 – Arquitetura S8.....	54
Figura 25 – Arquitetura S9.....	56
Figura 26 – Arquitetura S10.....	57
Figura 27 – Resumo dos dispositivos e tecnologias .....	59
Figura 28 – Processo de afunilamento do resultado .....	64
Figura 29 – Dispositivos utilizados.....	68
Figura 30 – Visão geral da arquitetura .....	75
Figura 31 – Flexibilidade das mecânicas da arquitetura proposta .....	77
Figura 32 – Flexibilidade das mecânicas da arquitetura proposta .....	78
Figura 33 – Dificuldades em utilizar a Lei de Fitts.....	79
Figura 34 – Adaptação da Lei de Fitts em dispositivos móveis.....	80
Figura 35 – Utilização da Lei de Fitts proposta .....	81
Figura 36 – Adaptação da Lei de Fitts .....	84
Figura 37 – Movimentos compostos .....	84
Figura 38 – Regras para atividades com a Lei de Fitts .....	85
Figura 39 – Regras para utilização da Lei de Hick .....	89
Figura 40 – Jogo Kids Mazes .....	91
Figura 41 – Níveis de dificuldade: Kids Mazes .....	91
Figura 42 – Jogo Bugs Smasher.....	95
Figura 43 – Sessão de treinamento completa.....	100
Figura 44 – Jogos (Atividades) criados.....	103
Figura 45 – Atividade 01 .....	104
Figura 46 – Índice de dificuldades diferentes .....	105
Figura 47 – Relatório gerado .....	106

<b>Figura 48 – Representação gráfica dos movimentos.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 49 – Atividade 02 .....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 50 – Relatório gerado .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 51 – Atividade 03 .....</b>	<b>130</b>
<b>Figura 52 – Níveis de dificuldades .....</b>	<b>131</b>
<b>Figura 53 – Relatório gerado .....</b>	<b>131</b>
<b>Figura 54 – Dental Game (adaptado) .....</b>	<b>144</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Finalidade da arquitetura .....	44
Gráfico 2 – Arquitetura S9 .....	60
Gráfico 3 – Público-Alvo identificado .....	67
Gráfico 4 – Gráfico de dispersão TM x ID.....	111
Gráfico 5 – Comparação entre os usuários .....	114
Gráfico 6 – Correlação entre Aceleração e inimigos desviados .....	124
Gráfico 7 – Correlação entre Aceleração e Tempo de reação .....	125
Gráfico 8 – Comparação entre os usuários .....	126
Gráfico 9 – Comparação entre os usuários .....	127
Gráfico 10 – Aceleração x Inimigos desviados para P10.....	128
Gráfico 11 – Aceleração x Tempo de reação para P10 .....	129
Gráfico 12 – Gráfico de dispersão TR x Ações possíveis.....	135
Gráfico 13 – Comparação da precisão do toque na tela.....	137
Gráfico 14 – Precisão do toque x Tempo médio de reação .....	138
Gráfico 15 – Correlação entre Precisão x Tempo médio de reação para a Atividade 03 .....	138
Gráfico 16 – Comparação tempos de reação.....	139
Gráfico 17 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P1 .....	158
Gráfico 18 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P2 .....	158
Gráfico 19 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P3 .....	159
Gráfico 20 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P4 .....	159
Gráfico 21 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P5 .....	160
Gráfico 22 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P6 .....	160
Gráfico 23 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P7 .....	161
Gráfico 24 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P8 .....	161
Gráfico 25 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P9 .....	162
Gráfico 26 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P10 .....	162
Gráfico 27 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P1 .....	164
Gráfico 28 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P2 .....	164
Gráfico 29 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P3 .....	165
Gráfico 30 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P4 .....	165
Gráfico 31 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P5 .....	166
Gráfico 32 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P6 .....	166
Gráfico 33 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P7 .....	167
Gráfico 34 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P8 .....	167
Gráfico 35 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P9 .....	168
Gráfico 36 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P10 .....	168

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Aspectos contidos no modelo GPS .....	19
Quadro 2 – Comparação entre Acelerômetro e Giroscópio .....	37
Quadro 3 – Artigos elegíveis .....	42
Quadro 4 – Finalidade da arquitetura .....	43
Quadro 5 – Implementação das arquiteturas.....	58
Quadro 6 – Artigos elegíveis .....	65
Quadro 7 – Critérios para a avaliação do desenvolvimento motor.....	70
Quadro 8 – Atributos a serem armazenados .....	83
Quadro 9 – Etapas para a aplicação da Lei de Fitts .....	87
Quadro 10 – Atributos a serem armazenados .....	88
Quadro 11 – Etapas para a aplicação da Lei de Fitts .....	90
Quadro 12 – Atributos elegíveis.....	92
Quadro 13 – Métricas elegíveis para os sensores de movimento .....	93
Quadro 14 – Etapas para utilização do Protocolo Prot1 .....	94
Quadro 15 – Atributos: <i>Touchscreen</i> apenas .....	96
Quadro 16 – Métricas elegíveis para toque na tela .....	96
Quadro 17 – Etapas para utilização do Protocolo Prot2.....	97
Quadro 18 – Etapas para utilização da arquitetura .....	98
Quadro 19 – Dispositivos utilizados .....	102
Quadro 20 – Aplicação da Lei de Fitts.....	112
Quadro 21 – Aplicação da Lei de Hick.....	136
Quadro 22 – Comparação entre as arquiteturas.....	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de trabalhos por repositório.....	41
Tabela 2 – Quantidade de trabalhos por repositório.....	63
Tabela 3 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 01.....	108
Tabela 4 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 02.....	108
Tabela 5 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 03.....	109
Tabela 6 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 04.....	109
Tabela 7 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 05.....	110
Tabela 8 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 06.....	110
Tabela 9 – Resultado dos dados por usuário .....	112
Tabela 10 – Comparação do resultado geral .....	119
Tabela 11 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P1 .....	119
Tabela 12 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P2 .....	120
Tabela 13 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P3 .....	120
Tabela 14 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P4 .....	120
Tabela 15 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P5 .....	121
Tabela 16 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P6 .....	121
Tabela 17 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P7 .....	121
Tabela 18 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P8 .....	122
Tabela 19 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P9 .....	122
Tabela 20 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P10.....	122
Tabela 21 – Resultado geral usuário P10.....	128
Tabela 22 – Resultado geral para a Atividade 03.....	133
Tabela 23 – Coleta de dados: Atividade 03 / Nível 01.....	133
Tabela 24 – Coleta de dados: Atividade 03 / Nível 02.....	134
Tabela 25 – Coleta de dados: Atividade 03 / Nível 03.....	134
Tabela 26 – Quantidade de ações possíveis.....	135
Tabela 27 – Resultado dos dados por usuário da Atividade 03 .....	136

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
DI	Deficiência Intelectual
IA	Inteligência Artificial
ID	Índice de Dificuldade
IHC	Interação Humano Computador
TM	Tempo de Movimento
TR	Tempo de Reação

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Jogos Sérios.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Coordenação motora e movimentos finos das mãos .....</b>	<b>22</b>
2.2.1	Lei de Fitts .....	23
2.2.2	Lei de Hick.....	26
<b>2.3</b>	<b>Dispositivos móveis e suas tecnologias.....</b>	<b>30</b>
2.3.1	Tela Touchscreen.....	30
2.3.2	Acelerômetro e Giroscópio .....	33
<b>2.4</b>	<b>Considerações finais do capítulo .....</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodologia da Pesquisa .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Mapeamento sistemático sobre arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios .....</b>	<b>40</b>
3.2.1	Planejamento .....	40
3.2.2	Execução.....	40
3.2.3	Análise dos resultados .....	42
3.2.4	Discussão .....	60
<b>3.3</b>	<b>Mapeamento sistemático sobre Jogos Sérios que abordam a coordenação motora fina.....</b>	<b>62</b>
3.3.1	Planejamento .....	62
3.3.2	Execução.....	62
3.3.3	Análise dos resultados .....	64
3.3.4	Discussão .....	71
<b>3.4</b>	<b>Considerações finais do capítulo .....</b>	<b>72</b>
<b>4</b>	<b>ARQUITETURA DE JOGO SÉRIO PARA AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS FINOS DAS MÃOS.....</b>	<b>74</b>
<b>4.1</b>	<b>Visão geral .....</b>	<b>74</b>
<b>4.2</b>	<b>Aplicação da Lei de Fitts .....</b>	<b>78</b>
4.2.1	Atributos armazenados para a Lei de Fitts .....	82
4.2.2	Regras e restrições para a Lei de Fitts.....	83

<b>4.3</b>	<b>Aplicação da Lei de Hick</b> .....	<b>87</b>
4.3.1	Atributos armazenados para a Lei de Hick.....	88
4.3.2	Regras e restrições para a Lei de Hick.....	88
<b>4.4</b>	<b>Protocolo de movimento Prot1</b> .....	<b>90</b>
4.4.1	Atributos armazenados para o Protocolo Prot1 .....	91
4.4.2	Regras e restrições para o Protocolo Prot1.....	94
<b>4.5</b>	<b>Protocolo de toque na tela Prot2</b> .....	<b>94</b>
4.5.1	Atributos armazenados para o Protocolo Prot2.....	95
4.5.2	Regras e restrições do Protocolo Prot2.....	97
<b>4.6</b>	<b>Uso da arquitetura em um jogo sério</b> .....	<b>98</b>
<b>4.7</b>	<b>Considerações finais do capítulo</b> .....	<b>99</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>100</b>
<b>5.1</b>	<b>Descrição do experimento</b> .....	<b>101</b>
<b>5.2</b>	<b>Atividade 01 – Jogo de arraste e solte com a Lei de Fitts</b> .....	<b>103</b>
5.2.1	Execução e coleta de dados da Atividade 01 .....	107
5.2.2	Análise dos resultados da Atividade 01 .....	112
<b>5.3</b>	<b>Atividade 02 – Jogo de nave e sensores de movimentos com o Prot1</b> <b>115</b>	
5.3.1	Execução e coleta de dados para a Atividade 02.....	118
5.3.2	Análise dos resultados da Atividade 02.....	123
<b>5.4</b>	<b>Atividade 03 – Jogo de toque na tela com o Prot2 e a Lei de Hick</b> ..	<b>129</b>
5.4.1	Execução e coleta de dados para a Atividade 03.....	132
5.4.2	Análise dos resultados da Atividade 03.....	137
<b>5.5</b>	<b>Comparação da Arquitetura Proposta e as da Literatura</b> .....	<b>140</b>
<b>5.6</b>	<b>Aplicação da arquitetura em um jogo sério</b> .....	<b>143</b>
<b>5.7</b>	<b>Considerações finais do capítulo</b> .....	<b>144</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>146</b>
<b>6.1</b>	<b>Trabalhos futuros</b> .....	<b>148</b>
<b>APÊNDICE A - GRÁFICOS DE DISPERSÃO LEI DE FITTS</b> .....		<b>157</b>
<b>APÊNDICE B - GRÁFICOS DE DISPERSÃO LEI DE HICK</b> .....		<b>163</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao contrário dos games convencionais que visam apenas diversão, os jogos sérios são projetados para cumprir propósitos definidos, como capacitação, ensino, publicidade, simulações ou avaliações (BATISTA *et al.*, 2019).

A utilização de jogos sérios no processo de aprendizado fornece benefícios como: estímulos à fantasia, ao desafio e à curiosidade (FERREIRA *et al.*, 2018).

Os jogos sérios podem ser utilizados em distintas áreas e com diferentes tecnologias e dispositivos. Os dispositivos móveis modernos têm se tornado alvo de intensa pesquisa acadêmica no contexto dos jogos sérios graças à sua capacidade de detectar movimentos finos das mãos por meio de sensores como acelerômetro, giroscópio e sua tela sensível ao toque (HIDALGO *et al.*, 2018).

No entanto, entender a arquitetura de software é fundamental para o desenvolvimento otimizado de tais jogos. Segundo VAROTO (2002), a arquitetura pode ser descrita como uma organização abstrata de um sistema, inclusive jogos, visando otimizar os recursos humanos, facilitar a reutilização e diminuir custos e tempo de desenvolvimento. Em outras palavras, é a estrutura que delinea a concepção do sistema, seus componentes e a inter-relação entre eles (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2003).

Dentro deste contexto e procurando compreender o universo das arquiteturas de software voltadas ao desenvolvimento de jogos sérios, foi estabelecido um mapeamento sistemático para analisar o cenário atual dessas arquiteturas. Posteriormente, visando uma análise ainda mais detalhada, um segundo mapeamento sistemático foi elaborado, focando na investigação de jogos que tratam especificamente da coordenação motora fina. Para a execução de ambos os mapeamentos, recorreu-se ao método proposto por Kitchenham e Charters (2007).

A partir dos resultados dos mapeamentos verificou-se que o campo de estudo voltado para arquiteturas de jogos sérios focadas em dispositivos móveis é ainda carente. Além disso, foi constatado que a exploração de jogos em dispositivos móveis direcionados aos movimentos finos das mãos é um domínio de pesquisa ainda pouco explorada.

Em resposta a essa demanda, este trabalho criou uma arquitetura flexível para o desenvolvimento de jogos sérios com foco na avaliação da coordenação motora fina em dispositivos móveis e suas tecnologias. A arquitetura integra duas leis

que avaliam a coordenação motora: a Lei de Fitts (FITTS, 1954), que relaciona tempo de movimento, amplitude e precisão, e a Lei de Hick (HICK, 1952), que prevê o tempo de reação do usuário frente a diferentes opções disponíveis.

Além das leis de Fitts e Hick, foram introduzidos dois protocolos adicionais, nomeados de Protocolo de movimento Prot1 e Protocolo de toque na tela Prot2, para contemplar as tecnologias presentes em dispositivos móveis: sensores de movimentos (giroscópio e acelerômetro) e tela sensível ao toque, respectivamente. Os protocolos criados complementam a utilização das leis formais, visto suas limitações, como por exemplo, a utilização da Lei de Fitts em movimentos não lineares, como os que são produzidos em sensores de movimentos.

A arquitetura foi usada na criação de três jogos sérios para diagnosticar os movimentos finos das mãos, a fim de validar o uso das Lei de Fitts e Hick em dispositivos móveis. Os jogos foram testados por alunos de graduação e de mestrado que participam do Laboratório de Engenharia de Software e Inteligência Computacional (LESIC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, na cidade Ponta Grossa. Os resultados da aplicação pelos alunos foram registrados e analisados para verificar a eficácia das interações em tela, sensores de movimentos e tempo de reação e precisão. Além disto, realizou-se uma comparação da arquitetura com as disponíveis na literatura destacando suas características como a flexibilidade e adaptabilidade.

### **1.1 Justificativa**

Os dispositivos móveis, em particular, são dispositivos populares e de fácil acesso, que podem ser eficientes quando empregados no processo de aquisição de novos conhecimentos. Segundo a GSMA (2021) no final de 2020, existiam 5,2 bilhões de pessoas inscritas em serviços móveis, representando 67% da população global. Estes dispositivos, além de populares, são equipados com tecnologias avançadas que podem ser utilizadas para detecção de movimentos e precisão de toques, ressaltando seu potencial no contexto de jogos sérios (ANTONIO *et al.*, 2020).

Assim, a necessidade de criar ferramentas para o desenvolvimento de jogos sérios voltados à avaliação desses movimentos em dispositivos móveis é evidente, tanto no domínio da produção de software quanto no campo científico. Essas ferramentas podem ter aplicações no ensino tradicional até a reabilitação motora. De

acordo com isso, Rosser *et al.* (2017) destacou a eficiência de videogames e jogos em treinamentos que exigem movimentos finos.

Uma arquitetura bem estruturada, que integre tecnologias modernas com práticas da literatura, pode servir como base para protocolos multidisciplinares de avaliação e treinamento, beneficiando, por exemplo, pacientes em reabilitação e crianças em processos de aprendizagem.

## **1.2 Objetivos**

A presente dissertação tem como objetivo geral criar uma arquitetura para jogos sérios a fim de avaliar os movimentos finos das mãos.

Para concretização do objetivo geral, foi necessário definir os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um mapeamento sistemático sobre arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios;
- Realizar um mapeamento sistemático sobre os jogos sérios existentes na literatura que abordam a coordenação motora fina;
- Identificar quais métodos para a avaliação dos movimentos finos das mãos podem ser usados em dispositivos móveis, bem como adaptá-los, se necessário;
- Avaliar a arquitetura proposta por meio de seu uso em três jogos.

## **1.3 Organização do trabalho**

A estrutura deste trabalho está organizada em seis capítulos. O Capítulo 1 contextualiza o tema, apresenta a justificativa, os objetivos e a organização do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre jogos sérios; coordenação motora e movimentos finos das mãos; Leis de Fitts e Hick que são utilizados na composição da mecânica de avaliação dos movimentos finos das mãos; dispositivos móveis e suas tecnologias.

O Capítulo 3 apresenta o estado da arte por meio de dois mapeamentos: i) para identificar as arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios disponíveis; ii) para levantar os jogos sérios que estão relacionados com a coordenação motora fina.

O Capítulo 4 apresenta a arquitetura proposta para o desenvolvimento de jogos sérios para dispositivos móveis com o objetivo de avaliar os movimentos finos das mãos. Detalha como o componente da mecânica da arquitetura aborda a Lei de Fitts e Lei de Hick e a criação de dois protocolos que permitem a utilização dos sensores de movimentos e toque na tela.

O Capítulo 5 descreve a implementação de três (3) jogos a partir da arquitetura desenvolvida. Relata também os resultados da execução dos jogos por alunos para mostrar por meio da aplicação da arquitetura quais informações são obtidas.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões sobre o desenvolvimento desta pesquisa e os trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos para o desenvolvimento desta pesquisa. A Seção 2.1 descreve sobre o que são jogos sérios e suas aplicações. A Seção 2.2 descreve sobre a coordenação motora e o movimento finos das mãos e apresenta as Lei de Fitts (1964) e a Lei de Hick (1952) que foram base para a criação da arquitetura desenvolvido por esta pesquisa. A Seção 2.3 contempla sobre os dispositivos móveis, bem como o funcionamento das tecnologias contidas nestes dispositivos. A Seção 2.4 apresenta as considerações finais do capítulo.

### 2.1 Jogos Sérios

Dörner *et al.* (2016) e Meftah *et al.* (2017) definem o jogo sério como um jogo digital que emprega tecnologias e abordagens típicas de videogames, tais como ambientes 3D, simulação de objetos e desafios. Entretanto, além de entreter, possui objetivos adicionais, como promover aprendizado ou benefícios à saúde.

Diferentemente dos jogos tradicionais, os jogos sérios têm como meta principal atender a objetivos específicos, como treinamento, educação, propaganda, simulação ou diagnóstico, e não simplesmente entreter (BATISTA *et al.*, 2019). Assim, eles procuram representar o conceito em questão com a maior fidelidade possível (MICHAEL; CHEN, 2005).

Do âmbito científico, a criação desses jogos demanda uma abordagem interdisciplinar que envolve campos tecnológicos como Inteligência Artificial (IA), Interação Humano-Computador (IHC), Redes e Computação Gráfica. Além disso, é fundamental que essas tecnologias sejam aplicadas tendo sempre os benefícios para o usuário como foco central (DE GLORIA *et al.*, 2014).

O aprendizado não é o único objetivo característico dos jogos sérios, pois podem buscar objetivos mais complexos, como a aquisição de habilidades específicas. Um exemplo é o jogo Jornada do Acolhimento, criado pelo movimento Falar inspira vida (JANSEN, 2021). Este jogo foi criado por um grupo composto por psicólogos, psiquiatras e outras instituições que tem como objetivo a prevenção do suicídio decorrente da depressão. A proposta do jogo é servir como ferramenta educativa sobre o cuidado da depressão e oferecer apoio às pessoas que necessitam de suporte ao combate à doença.

A utilização de jogos sérios promove uma aprendizagem dinâmica e facilitada, pois as informações são adquiridas por meio de experiências vivenciadas durante as interações e que podem ser transferidas para outras atividades do mundo real. Esses jogos adotam diversas estratégias para desenvolver habilidades cognitivas em que os alunos aprendem executando atividades e se envolvendo com conteúdo e contextos adequados (MELLO; ZENDRON, 2015).

Com base na análise de jogos sérios desenvolvidos entre 1997 e 2007, Ratan e Ritterfeld (2009) estabeleceram um sistema de classificação, organizando os jogos segundo seus princípios de aprendizado nas seguintes categorias: Saúde, Ocupação, Acadêmico, Mudança Social, Militar e Propaganda. Além destes, foram levadas em conta características secundárias, originando subcategorias como faixa etária, público-alvo, plataforma (tipo de dispositivo utilizado) e outras particularidades. Em um enfoque diferente, Laamarti *et al.* (2014) categorizaram os jogos sérios em áreas como Educação, Bem-estar, Treinamento, Propaganda, Comunicação Interpessoal, Cuidados da saúde, dentre outras.

A literatura apresenta uma variedade de formas para classificar jogos sérios, que muitas vezes se baseiam em critérios distintos. Djaouti, Alvarez e Jessel (2011), ao identificar essa diversidade e perceber as limitações das ferramentas existentes, sentiram a necessidade criar uma metodologia que unificasse as classificações. Como resultado, propuseram o modelo *GPS* (*Gameplay*, *Purpose* e *Scope*).

O diferencial do *GPS* é sua capacidade de integrar os dois aspectos centrais dos jogos sérios: a dimensão "jogo" e a dimensão "sério". Em contrapartida ao que frequentemente se encontra na literatura – ferramentas que classificam ou um ou outro desses aspectos isoladamente, o *GPS* propõe uma abordagem unificada. Em vez de classificar cada dimensão de forma paralela, o modelo estrutura a classificação englobando ambas as dimensões por meio de critérios bem definidos.

Essencialmente, o modelo *GPS* fundamenta-se em três pilares: *Gameplay*/Jogabilidade; *Purpose*/Propósito e *Scope*/Escopo, detalhados no Quadro 1.

**Quadro 1 – Aspectos contidos no modelo GPS**

<b>Aspectos GPS</b>	<b>Descrição</b>
<i>Gameplay</i> /Jogabilidade	Fornecer informações sobre a estrutura do jogo: como ele é jogado, como funciona o jogo, quais são as regras, métodos de entrada etc.
<i>Purpose</i> /Propósito	Para qual propósito o jogo foi desenvolvido? Quais o propósito além do entretenimento?
<i>Scope</i> /Escopo	Está relacionado ao tipo de mercado, ao público-alvo, ou seja, quem o utiliza.

Fonte: Djaouti; Alvarez; Jessel (2011).

Além disso, existem características distintas para cada um dos aspectos apresentados no modelo. Resumidamente, é possível classificar um jogo sério a partir do modelo apresentado na Figura 1.

**Figura 1 – Sistema de classificação GPS**

Fonte: Djaouti; Alvarez; Jessel (2011).

Dentro de cada característica, existem outras relacionadas que atendem de maneira geral áreas distintas de aplicação de um jogo sério.

A *gameplay* ou jogabilidade pode ser baseada em duas opções de abordagens: baseados no jogo (regras) ou no jogador (sem regras). A primeira diz respeito a jogos com regras bem definidas, que faz com que o jogador vença, perca, pontue e seja avaliado. Por outro lado, os jogos baseados no jogador não possuem regras definidas, o que faz com que o jogador não vença ou não perca, o que dificulta a avaliação do aprendizado e torna o jogador o centro do jogo.

O *purpose* ou propósito podem ser divididos em duas subcategorias: transmissão da mensagem e treinamento. Transmissão da mensagem se refere ao

tipo de mensagem que será entregue ao usuário, podendo ser educativa, informativa, persuasiva ou subjetiva. Já o treinamento pode ser mental ou físico.

O *scope* ou escopo são divididos em duas subcategorias: mercado e público. A primeira diz respeito ao segmento do jogo, como por exemplo, estado e governo, campo militar, religioso etc. Já o público, é para qual grupo é o jogo, sendo eles: público geral, profissionais ou estudantes.

O modelo *GPS* destaca-se por sua flexibilidade, possibilitando que um jogo incorpore várias características simultaneamente. Contudo, como qualquer ferramenta destinada à classificação de jogos sérios, possui suas limitações. Por ser um modelo de abrangência geral, não permite classificações detalhadas e específicas. Essas classificações são essenciais, pois ao se adentrar no universo dos jogos sérios, encontra-se uma complexidade inerente: equilibrar entretenimento e conteúdo educacional.

Encontrar esse equilíbrio é um dos principais desafios na concepção de jogos sérios. Quando aplicados na educação, por exemplo, com foco excessivo na diversão, corre-se o risco de limitar o conteúdo educacional. Inversamente, um jogo estritamente educativo pode não ser atrativo ao usuário (MEFTAH *et al.*, 2017) (SAVI; ULBRICHT; 2008). Esta é uma das peculiaridades dos jogos sérios: a necessidade de cumprir duas missões, proporcionando entretenimento enquanto busca atingir um objetivo "sério" (DÖRNER *et al.*, 2016).

Em contextos que não são necessariamente educacionais, como jogos sérios para diagnósticos ou simulatórios, como treinamentos militares, a motivação do jogador pode não ser o foco principal. Porém, em cenários onde o jogo tem o desafio de cumprir um propósito duplo, é essencial que o jogador se sinta motivado, vivenciando tanto a diversão quanto o caráter lúdico do jogo (DÖRNER *et al.*, 2016).

Além da diversão, para o sucesso de jogos sérios, é fundamental que eles se adaptem às características do jogador, tornando-se mais atraentes e eficazes. Dörner *et al.* (2016) sugerem diversas estratégias para potencializar essa adaptabilidade, como a criação de avatares, ajuste de níveis de dificuldade, fornecimento de dicas e alterações de cenário. Tais adaptações podem ser efetuadas tanto pelos profissionais que aplicam o jogo quanto de forma automática pelo próprio jogo. Quando bem executadas, é notável o progresso do usuário em habilidades, conhecimentos ou até mudanças de opinião antes e depois da experiência lúdica (DÖRNER, 2016).

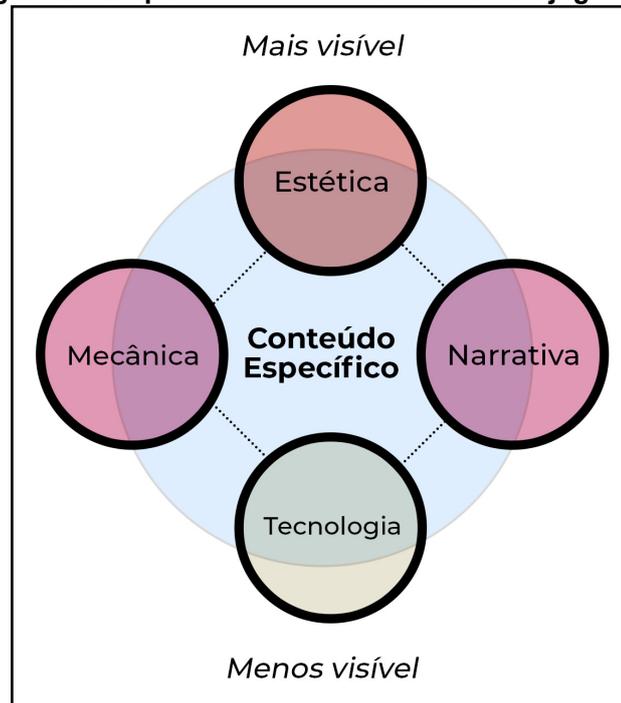
Laamarti *et al.* (2014) relatam que aspectos como trilha sonora, desafios, elementos colaborativos e *feedback* são essenciais para o sucesso de um jogo sério, influenciando diretamente no engajamento e na motivação dos usuários.

O desenvolvimento de um jogo sério conforme relatado anteriormente, necessita de vários elementos que permitem um maior engajamento dos usuários. Schell (2011) estabelece que o processo de criação de um jogo pode ser segmentado em quatro pilares essenciais:

- Mecânica: refere-se às regras do jogo, ao objetivo e às possibilidades de os jogadores alcançarem ou não esse objetivo, além das consequências de suas tentativas;
- Narrativa: aborda a sequência de eventos durante o jogo, isto é, a maneira pela qual a história se desenrola;
- Estética: correlaciona-se à aparência visual, sonoridades e outras sensações percebidas durante a execução do jogo;
- Tecnologia: relaciona-se aos recursos e interações que viabilizam o jogo, como as tecnologias utilizadas em dispositivos móveis.

Esses elementos descritos por Schell (2011) foi ampliado no trabalho de Machado (2018) para adequar-se ao contexto de jogos sérios, adicionando o elemento “conteúdo específico”, que deve ser o ponto central para o desenvolvimento dos outros quatro elementos descritos anteriormente e ilustrado na Figura 2.

**Figura 2 – Etapas de desenvolvimento de um jogo sério**



Fonte: Schell (2011) e Machado (2018).

O desafio na criação de jogos sérios reside na adição do componente "sério", que implica em gerenciar equipes diversificadas e enfrentar orçamentos restritos no desenvolvimento de ferramentas pedagógicas (SÖBKE; STREICHER, 2015).

## 2.2 Coordenação motora e movimentos finos das mãos

O desenvolvimento motor é definido por diversas características contínuas que se manifestam ao longo da vida do indivíduo. É possível comparar o desenvolvimento motor à capacidade de existir, viver, mover-se e trabalhar, concebendo-o como um processo cumulativo. Nesse sentido, há constantemente novas maneiras de evolução, sendo esse progresso mais ou menos evidente em diferentes indivíduos (GETCHELL; HAYWOOD, 2016).

Pessoa (2003) explica que o desenvolvimento motor pode ser dividido em 2 categorias: capacidade motora grossa e capacidade motora fina. A capacidade motora grossa está relacionada a movimentos que utilizam grandes músculos, como por exemplo, saltar, correr, agachar. Esta capacidade está relacionada com a prática de atividades esportivas como futebol, basquete, tênis, entre outros. A capacidade motora fina está relacionada ao uso de pequenos músculos, geralmente dos pés e mãos. Esta capacidade está relacionada aos movimentos precisos, como a escrita, desenhos e manipulação de pequenos objetos.

Cameron (2012) explica que em geral os testes de motricidade fina incluem tarefas que demanda destreza visual, cognitiva, manual e organização espacial. Por exemplo, traçar uma linha reta para copiar um desenho, criar um desenho espontâneo, ou no caso da organização espacial, construir com blocos. O indivíduo com limitações na motricidade fina enfrenta desafios ao realizar tarefas como desenhar, usar uma tesoura, escrever ou até mesmo fechar um zíper (KANESHIRO; ZIEVE, 2015).

A habilidade em manejar tecnologias, como mouses e dispositivos móveis, também está interligada à capacidade motora fina, sobretudo quando se trata de ações que demandam precisão, como em jogos eletrônicos.

Borecki *et al.* (2013) conduziram uma pesquisa visando determinar o impacto dos jogos de computador nas habilidades motoras finas. Eles concluíram que jogadores habituados a jogos tiveram desempenho significativamente melhor na precisão dos movimentos braço-mão, expresso por um menor tempo de erros. Assim, há indícios de que jogar jogos de computador pode ser uma ferramenta de treinamento útil para aprimorar as habilidades motoras finas e a coordenação.

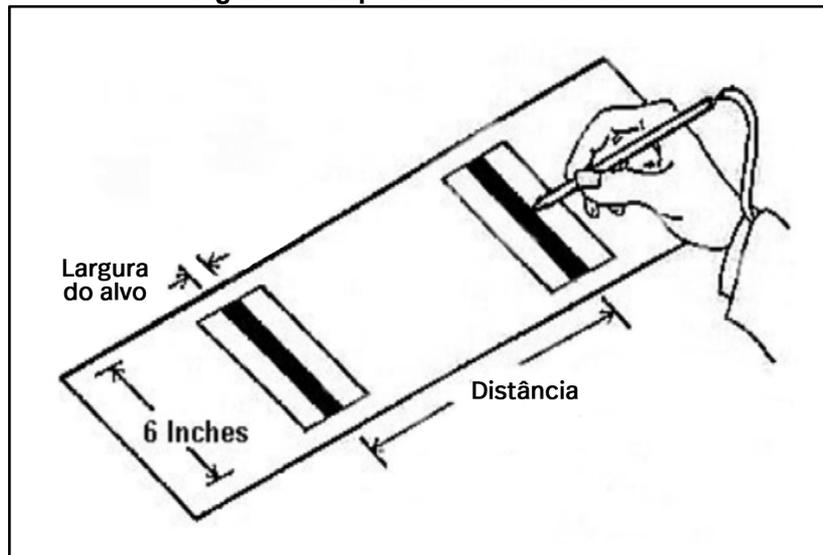
Dentro da perspectiva de aprimoramento, uma maneira de reabilitar, desenvolver e promover a plasticidade e recuperação funcional da coordenação motora é por meio de práticas repetidas e aumento da intensidade (HOOKER *et al.*, 2011). Isso, segundo Kumar *et al.* (2015), pode ser a chave para aprender e adquirir habilidades motoras.

A seguir são abordadas algumas metodologias de análise dos movimentos, que são utilizados para medição dos movimentos fino das mãos, tal como a lei de Fitts (1954) e a lei Hick (1952).

### 2.2.1 *Lei de Fitts*

No experimento conduzido pelo psicólogo Paul Fitts em 1964 (Figura 3), foi demonstrado que o tempo necessário para uma pessoa mover um ponteiro até um alvo depende da distância até esse alvo e do tamanho dele. Simplificando, a Lei de Fitts estabelece a relação entre o tempo de movimento, a amplitude e a precisão desse movimento (FITTS, 1954).

Figura 3 – Experimento de Paul Fitts



Fonte: Fitt's Law (1964).

A Lei de Fitts é empregada majoritariamente de duas formas: como um modelo preditivo e como um meio de derivar o rendimento da medida de desempenho humano (ROIG-MAIMÓ *et al.*, 2018).

De forma geral, a lei de Fitts utiliza cálculos para prever qual será o tempo necessário para mover o mouse ou o dedo da sua posição inicial até seu destino clicável (TECMUNDO, 2015). A utilização desta lei é importante quando é exigido um tempo de resposta rápida por parte do usuário (SANTOS, 2018), como um botão de ação em um site, por exemplo.

A Lei de Fitts estabelece que o tempo de movimento é determinado por um índice de dificuldade (ID). Esse índice pondera tanto o tamanho do alvo quanto a distância, estabelecendo um equilíbrio entre velocidade e precisão. A fórmula (1) define o índice de dificuldade (ID):

$$ID = \log_2 \left( \frac{2A}{W} \right) \quad (1)$$

onde  $A$  é a distância do alvo e  $W$  é a largura do alvo (FITTS, 1954).

Após uma década, Fitts por meio de experimentos notou que conforme o nível de dificuldade aumentava o tempo para realizar os movimentos também crescia. Fitts, então, estendeu ainda mais seu conceito para um cálculo do tempo de movimento, agora conhecido como “Lei de Fitts” (FITTS, 1954). A Lei de Fitts é dada pela fórmula (2):

$$TM = a + b * ID \quad (2)$$

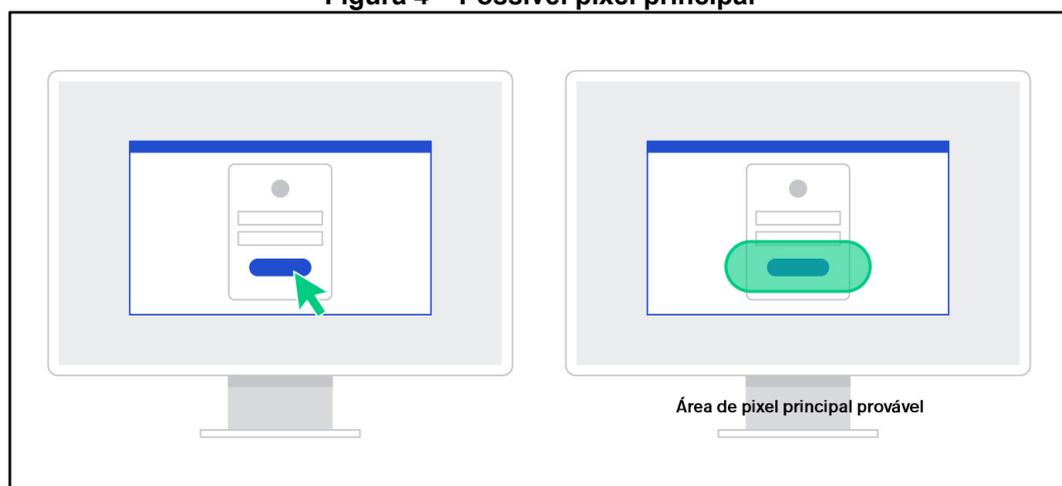
onde as variáveis “a” e “b” são constantes empíricas e dependem da escolha do dispositivo de entrada, geralmente são determinadas empiricamente por análise de regressão.

A Lei de Fitts serve tanto para previsões quanto para medições e possui uma equação que estima o tempo necessário para alcançar e selecionar um alvo, considerando a distância percorrida e o tamanho dele. Além disso, essa lei oferece um meio de quantificar o desempenho através de uma métrica chamada índice de desempenho (MACKENZIE, 2015).

A Lei de Fitts é empregada em estudos de Interação Humano-Computador (IHC). Contudo, com o avanço tecnológico e o surgimento de novas formas de interação, como dispositivos móveis e *touchscreens*, torna-se essencial adaptar essa lei, especialmente em relação ao conceito de "pixel principal".

Brito (2021) define o pixel principal como a posição atual do cursor do usuário, essencial para aprimorar a interação com interfaces. Embora não se possa determinar com exatidão a localização do cursor em um instante específico, é viável prever sua posição. Por exemplo, ao realizar um login, é provável que o pixel principal esteja posicionado no campo de login (BRITO, 2021), conforme demonstrado na Figura 4.

**Figura 4 – Possível pixel principal**

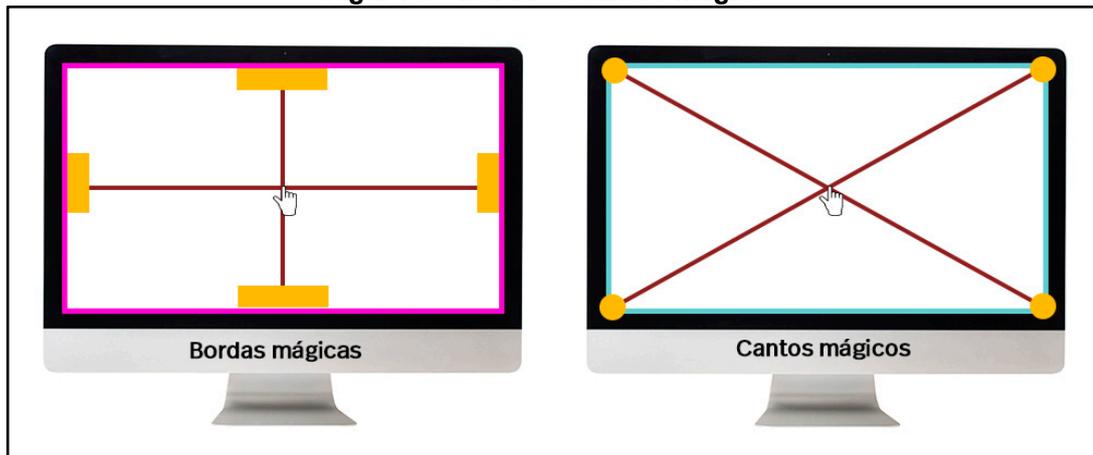


**Fonte: Brito (2021).**

Em seu trabalho, Purwar (2019) destaca elementos essenciais no design de interfaces em consonância com a Lei de Fitts. Um destes elementos são as "bordas mágicas" (*magic edges*), referindo-se às extremidades das telas. Quando o cursor é

direcionado para essas bordas, ele não ultrapassa seu limite, tornando menus posicionados nessas áreas mais acessíveis e requerendo menor precisão na interação. Outro ponto ressaltado são os "cantos mágicos" (*magic corners*), as quais demandam ainda menos precisão do que as bordas e são os pontos mais simples de serem alcançados pelo cursor, como exemplificado na Figura 5.

**Figura 5 – Bordas e cantos mágicos**



**Fonte: Purwar (2019).**

A Lei de Fitts não é apenas uma formulação teórica, mas uma ferramenta útil para os desenvolvedores de interfaces. Ela fornece diretrizes essenciais que, quando adequadamente aplicadas, resultam em interfaces mais intuitivas, eficientes e precisas, melhorando significativamente a experiência do usuário. Ao considerar aspectos como distância e tamanho do alvo, os desenvolvedores têm a capacidade de otimizar a interação, tornando-a mais fluida e reduzindo erros, fundamental em um mundo digital cada vez mais centrado no usuário.

### 2.2.2 Lei de Hick

Em contraste com a Lei de Fitts, que se concentra na previsão do tempo que um usuário leva para mover-se de um ponto inicial até o centro de um determinado alvo, a Lei de Hick se dedica a entender e prever o tempo de reação de um indivíduo diante das escolhas apresentadas.

Na Lei de Hick a velocidade com que uma pessoa toma uma decisão é diretamente influenciada pela quantidade e complexidade das opções à sua disposição. Assim, quanto maior o número de alternativas e quanto mais complexas elas forem, mais tempo o usuário levará para decidir sua ação (HICK, 1952; YABLONSKI, 2020).

Liu (2020) explica que a Lei de Hick é uma lei quantitativa que relaciona o tempo de reação ao logaritmo do número de alternativas de estímulo-resposta de uma determinada tarefa. O tempo de reação (TR) aumenta com a incerteza sobre o julgamento ou decisão a ser feita (CARD *et al.*, 2018), onde  $H$  é a entropia teórica da informação, e “a” e “b” são variáveis definidas empiricamente e geralmente determinadas por análise de regressão. A Lei de Hick é definida pela seguinte fórmula (3):

$$TR = a + b * H \quad (3)$$

Wu *et al.* (2018) explica que a lei de Hick-Hyman ou simplesmente Lei de Hick, descreve uma relação linear entre a incerteza da informação, medida como entropia ( $H$ ) e foi baseada na teoria da informação de Shannon e Weaver (1949). Neste caso, a entropia é o resultado da soma das probabilidades de cada alternativa, multiplicado pelo logaritmo binário da probabilidade de cada ocorrência definida pela fórmula (4) (HICK, 1952):

$$H = \sum_{i=1}^n P_i \log_2 \left( \frac{1}{P_i} \right) \quad (4)$$

O  $H$  é uma medida de incerteza quanto ao que acontecerá (HICK, 1952). Quando as alternativas têm a mesma probabilidade de escolha e a entropia pode ser definida pela fórmula (5), onde  $N$  é a quantidade de escolhas disponíveis:

$$H = \log_2(N) \quad (5)$$

Formalmente, a Lei de Hick afirma que o tempo de reação é proporcional a entropia ou o grau de incerteza (HICK, 1952), e quanto mais opções de escolhas, maior será o tempo para chegar a uma decisão, pois maior será o grau de incerteza.

Um exemplo que ilustra o princípio da Lei de Hick são controles remotos de televisão. A Figura 6 apresenta duas versões de controle remotos, o primeiro dispositivo a esquerda contém uma quantidade maior de opções para o usuário tomar uma ação, o que torna mais complexa a tomada de decisão. Em contrapartida, os

controles atuais (dispositivo da direita) apresentam uma interface simplificada, onde o usuário consegue decidir qual ação tomar mais facilmente.

**Figura 6 – Diferença entre controles remotos antigos X atuais**

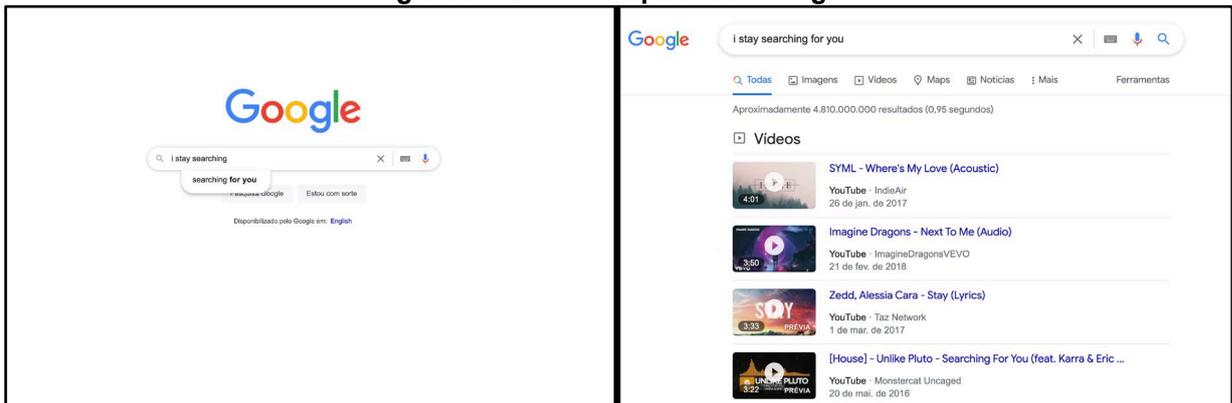


Fonte: Adaptado de Yablonski (2022).

A Lei de Hick é utilizada na área de Interação Humano Computador, como uma forma de maximizar o número de escolhas e categorizar as opções, além de facilitar a tomada de decisão quando a interface oferece diversas opções (LIU, 2020). A implicação é que os *designers* devem minimizar o número de escolhas que um usuário tem para simplificar a decisão quando desejam que tome uma decisão rápida (NAYEBI *et al.*, 2013).

Nikolov (2017) explica que a lei de Hick pode ser utilizada sempre que o usuário deva tomar uma decisão simples, que contenha ou não várias opções, ou também para simplificar ações complexas, dividindo as ações em ações menores e mais simples. Um exemplo é apresentado por Yablonski (2020), ilustrado na Figura 7, no qual o *Google* simplifica a tarefa de pesquisar e permite personalizar os resultados após a pesquisa ter iniciado.

**Figura 7 – Busca simplificada Google**



Fonte: Google Imagens (2022).

Em síntese, a Lei de Hick destaca a importância da clareza e simplicidade na apresentação de escolhas ao usuário. Seu principal ensinamento é que o excesso de opções ou a complexidade excessiva nas interfaces podem comprometer significativamente a eficiência e a experiência do usuário.

Ao empregar essa lei no *design* de interfaces ou em quaisquer outras aplicações que envolvam tomada de decisão, é possível otimizar a experiência do usuário, guiando-o de maneira mais intuitiva e evitando sobrecargas cognitivas. Assim, a adoção deste princípio torna-se uma ferramenta valiosa, permitindo que desenvolvedores e *designers* reduzam grandes volumes de informações, garantindo uma interação mais fluida e satisfatória para o usuário (YABLONSKI, 2020).

Compreendendo a relação entre opções apresentadas e o tempo de reação do usuário, a Lei de Hick ressalta a importância da simplicidade e clareza na apresentação de escolhas. Ela não apenas serve como um guia para a criação de interfaces mais intuitivas, mas também como uma métrica de previsão e medição do tempo de reação diante de diferentes volumes de opções.

A Lei Hick instrui que um aumento na quantidade ou complexidade de opções pode prolongar o tempo de decisão, possivelmente comprometendo a eficiência e a experiência global do usuário. Mais do que isso, ela pode ser utilizada de maneira proposital em pesquisas e treinamentos, permitindo a obtenção de tempos de reação específicos e, subsequentemente, a comparação da evolução na melhora cognitiva.

Ao empregar os princípios desta lei no *design* de interfaces e em estudos que envolvem tomada de decisão, não apenas proporciona-se uma experiência mais fluida, mas também se obtém uma ferramenta valiosa para análise e melhoria contínua da performance cognitiva (YABLONSKI, 2020).

## 2.3 Dispositivos móveis e suas tecnologias

Os avanços tecnológicos nos dispositivos móveis expandiram significativamente as maneiras como os usuários interagem com diversas aplicações e jogos. Equipados com uma variedade de funcionalidades, como sensores, câmeras, telas sensíveis ao toque, esses dispositivos não apenas enriquecem a experiência do usuário, mas também emergem como instrumentos promissores no campo da aprendizagem (HIDALGO *et al.*, 2018).

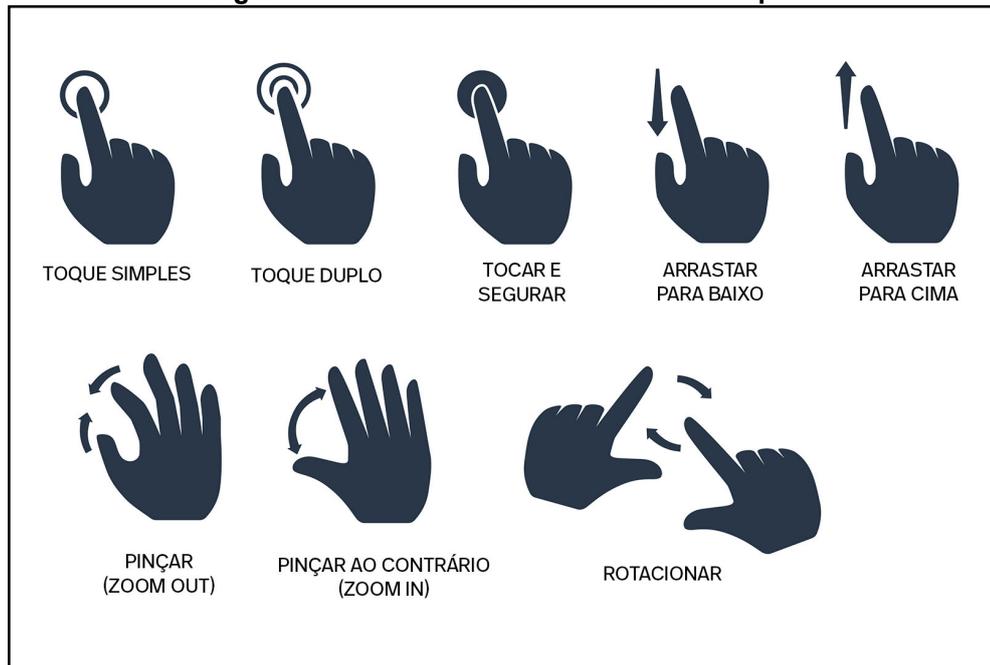
Além disso, sua capacidade de detectar movimentos sutis e precisos das mãos torna-os ferramentas potencialmente valiosas para pesquisas e aplicações que demandam uma análise da coordenação motora fina. A seguir, são apresentadas as tecnologias incorporadas nos dispositivos móveis atuais que possuem relevância para o escopo deste estudo.

### 2.3.1 Tela Touchscreen

Os dispositivos móveis atuais são equipados com telas sensíveis ao toque que utilizam a tecnologia capacitiva. Hooper (2021) esclarece que esta tecnologia está baseada no fenômeno elétrico de armazenamento de carga.

Nas telas dos dispositivos, existe uma carga elétrica de tensão extremamente baixa, e quando se toca com o dedo, essa carga é transferida, permitindo ao dispositivo detectar o ponto exato do contato. Uma peculiaridade desta tecnologia é a capacidade de detecção multitoque, permitindo gestos complexos, como zoom, rotação e pinçar, como exemplificado na Figura 8.

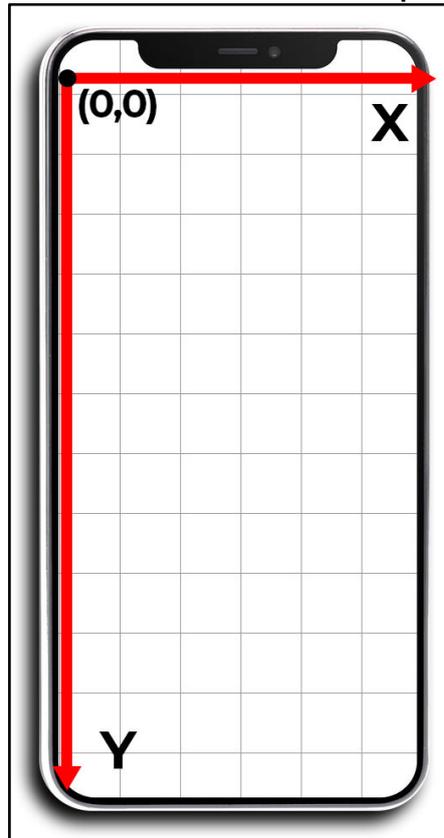
**Figura 8 – Gestos em telas sensíveis ao toque**



Fonte: Vecteezy (2022).

O nível de interatividade e precisão tornou-se fundamental no *design* de jogos para dispositivos móveis, maximizando a experiência do usuário (HOOBER, 2021). Complementando essa ideia, nos jogos bidimensionais (2D), a interface da tela é estruturada com base em um esquema de coordenadas, similar ao plano cartesiano. Isso determina a localização e movimentação dos objetos e para os dispositivos móveis, essa estruturação começa no canto superior esquerdo, expandindo-se para a direita no eixo  $x$  e descendo no eixo  $y$ , ambos com valores positivos, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Coordenadas cartesianas em dispositivos móveis



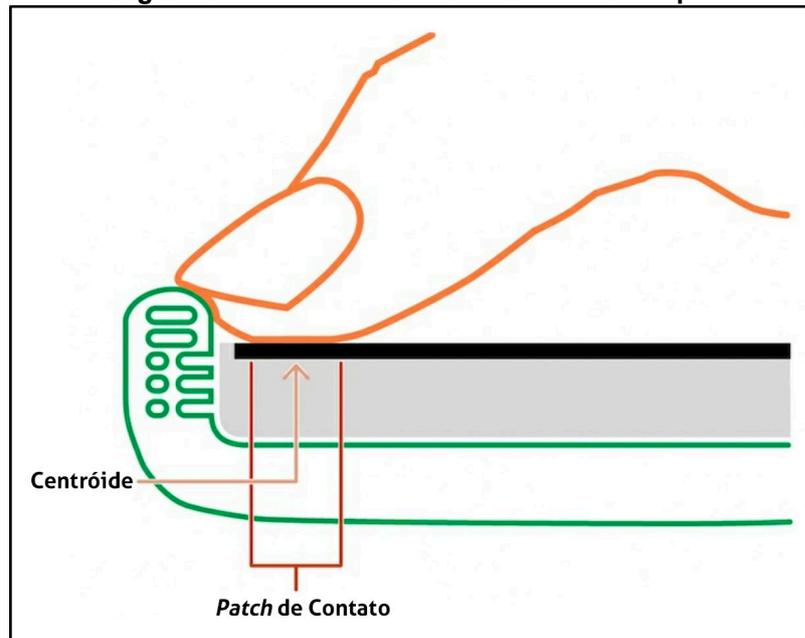
Fonte: Autoria própria (2023).

Desta forma, o plano de coordenadas serve como ferramenta para determinar a posição dos objetos na tela, bem como seus tamanhos, movimentações e outros atributos essenciais em jogos para dispositivos móveis. O simples ato de tocar na tela engloba várias fases, conhecidas como o "ciclo de vida de um toque". Conforme detalhado pela Unity (2023), este ciclo compreende as etapas a seguir:

- Começo: Um usuário tocou o dedo na tela;
- Estacionário: Um dedo está na tela, mas o usuário não o moveu;
- Movido: Um usuário moveu o dedo na tela;
- Encerrado: Um usuário levantou o dedo da tela, esta é a etapa final de um toque;
- Cancelado: O sistema cancelou o rastreamento do toque, esta também é a etapa final de um toque.

Outra característica importante é definir onde está o ponto de contato. Hooper (2021) esclarece que é impossível o usuário tocar em um único pixel na tela, e sim uma região da tela, sendo o local do toque identificado no centro geométrico ou centroide do *patch* de contato, conforme ilustrado na Figura 10.

**Figura 10 – Gestos em telas sensíveis ao toque**



Fonte: Hooper (2021).

Dessa forma, ao desenvolver ou analisar interfaces em dispositivos móveis, é crucial entender que o toque do usuário não se restringe a um ponto único e preciso. O reconhecimento dessa área de contato, e mais especificamente, do centroide do *patch* de contato, permite uma interação mais precisa e adaptada às necessidades dos usuários. Com essa compreensão sobre o toque, pode-se avançar para outros componentes relevantes nos dispositivos móveis, como o acelerômetro e o giroscópio.

### 2.3.2 Acelerômetro e Giroscópio

O acelerômetro, presente em dispositivos móveis, é responsável por fornecer informações relativas às coordenadas XYZ que são essenciais para determinar a posição e a aceleração do aparelho (FORD, 2021).

Segundo Ford (2021), essas coordenadas indicam tanto a direção quanto a posição em que a aceleração está acontecendo, permitindo identificar a direção em que o dispositivo está se movendo.

Movimentos como balançar, inclinar, girar, agitar são detectados usando o acelerômetro a partir da variação nos eixos, verificando quais destes está sofrendo o efeito da gravidade (SATHISH, 2021). Em nosso planeta, a força gravitacional padrão é de  $9,83\text{m/s}^2$ , valor que pode ter pequenas variações dependendo da altitude. Contudo, é importante frisar que, apesar de suas vastas aplicações, o acelerômetro possui limitações e não é capaz de medir com precisão o movimento rotacional do

corpo. Ele consegue, entretanto, inferir sobre a orientação angular do dispositivo ao observar a inclinação do vetor gravitacional (PRADA, 2009). A Figura 11 ilustra os eixos e vetores do acelerômetro.

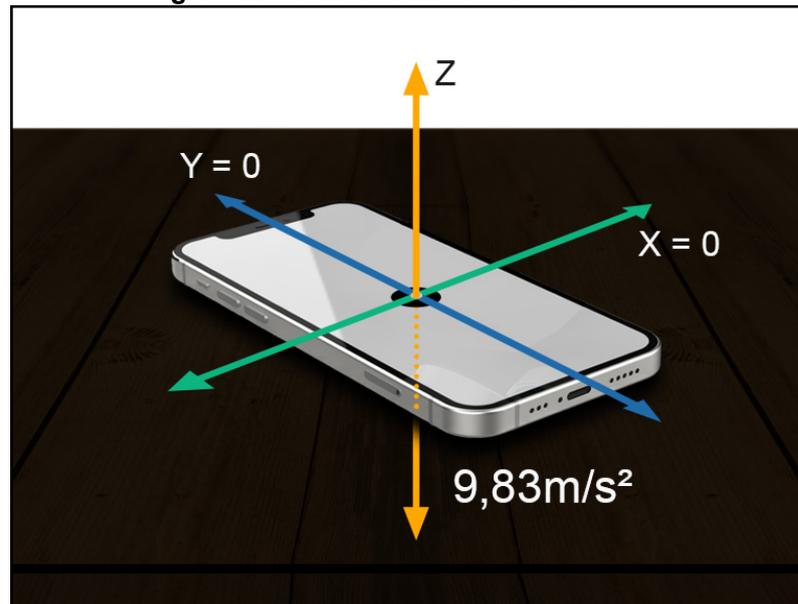
Figura 11 – Vetor e eixos do acelerômetro



Fonte: Tizen Docs (2022).

Para ilustrar o funcionamento do acelerômetro e estabelecer uma conexão mais direta com o que foi discutido, Ravado (2009) apresenta um exemplo simples do funcionamento do acelerômetro: Suponha que um dispositivo está em repouso em uma mesa nivelada, ele detectará uma força de gravidade ( $g$ ) para baixo agindo no eixo Z e uma aceleração de zero nas duas direções horizontais (X, Y), conforme é apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Funcionamento acelerômetro

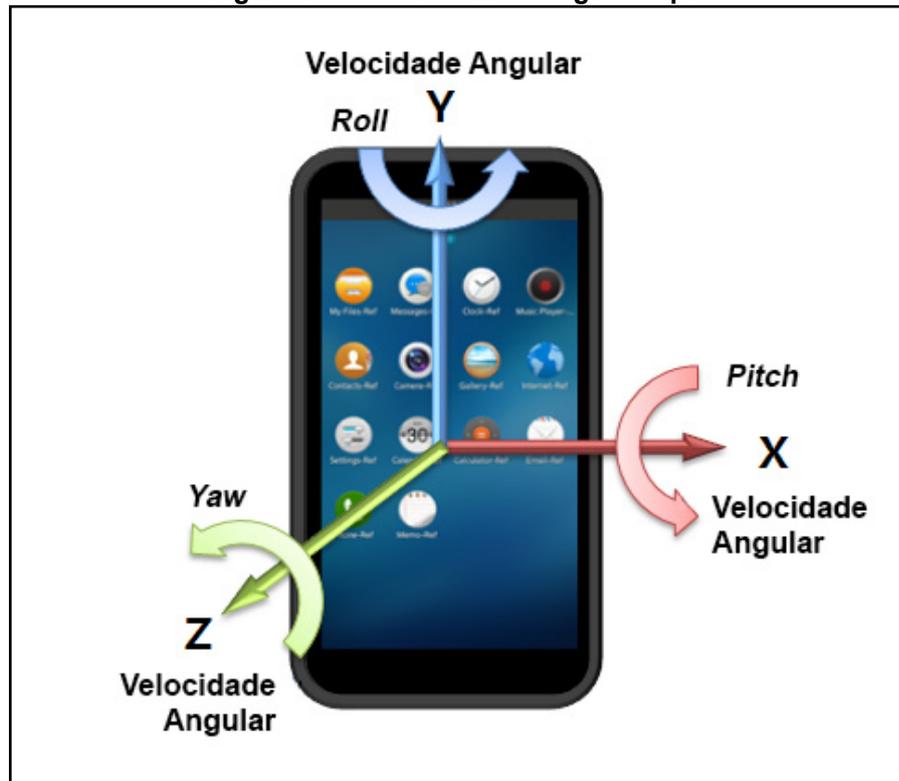


Fonte: Tizen Docs (2022).

Se o dispositivo estiver sujeito a outras forças, como por exemplo, se você o arrastar, ele pode detectar e medir a magnitude e a direção das forças que atuam sobre os eixos (RAVADO, 2009).

Diferente do acelerômetro que mede a aceleração linear com base na vibração, o giroscópio é um sensor, que tem como função medir a velocidade angular de rotação em torno dos eixos  $X$  (*Pitch*),  $Y$  (*Roll*) e  $Z$  (*Yaw*), e utiliza rad/s como unidade de medida. Estes podem medir a inclinação e a orientação lateral do objeto, enquanto o acelerômetro pode medir apenas o movimento linear (FORD, 2021), conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Vetor e eixos do giroscópio



Fonte: Tizen Docs (2022)

Bonell (2020) acrescenta que, até poucos anos atrás, o acelerômetro por si só não garantia grande precisão na detecção da posição do dispositivo, operando de maneira relativamente limitada. No entanto, com a inclusão do giroscópio e sua integração ao acelerômetro, a capacidade de detecção de movimentos, inclinações e rotações ampliou-se consideravelmente. Esse avanço desbloqueou um leque mais vasto de oportunidades para a utilização e exploração desses sensores.

Nield (2020) exemplifica o funcionamento do giroscópio a partir da execução de um jogo de corrida para dispositivos móveis (*Asphalt 9*). Sempre quando o dispositivo é inclinado para uma determinada direção para controlar o veículo, é o giroscópio, em vez do acelerômetro que está sentindo o que você está fazendo, pois está sendo aplicadas pequenas rotações ao telefone e não se movendo no espaço. Esse exemplo pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14 – Jogo Asphalt 9



Fonte: Google Play Store (2023).

O Quadro 2 apresenta uma comparação entre os sensores acelerômetro e giroscópio.

Quadro 2 – Comparação entre Acelerômetro e Giroscópio

Especificações	Acelerômetro	Giroscópio
Função	Detecta movimento linear, mas ruim para rotações, bom para detecção de inclinação.	Mede todos os tipos de rotação, mas não o movimento.
Medição da velocidade angular	Ele não pode medir a rotação em torno de seu próprio eixo de movimento.	Pode medir a velocidade angular.

Fonte: RF Wireless World (2022).

Conclui-se que ambos os sensores, acelerômetro e giroscópio possuem suas funções específicas. Enquanto o acelerômetro detecta a orientação do eixo, o giroscópio detecta a orientação angular. Ambos, quando combinados, ajudam o dispositivo a rastrear com precisão os movimentos executados pelos usuários.

## 2.4 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou a fundamentação teórica para a criação da arquitetura para desenvolvimento de jogos sérios com a finalidade de avaliar os movimentos finos das mãos em dispositivos móveis.

Primeiramente, abordou-se o conceito de jogos sérios, destacando sua relevância e aplicabilidade prática na avaliação e desenvolvimento de habilidades específicas, neste caso, os movimentos finos das mãos.

Em seguida as Leis de Fitts e Hick, pilares teóricos deste trabalho, foram apresentadas. Tais leis constituem a mecânica fundamental da arquitetura proposta. Estas leis, quando correlacionadas com tecnologias intrínsecas a dispositivos móveis, ampliam a compreensão sobre como os usuários interagem e reagem a diferentes estímulos em jogos sérios.

Por fim, o capítulo explorou as tecnologias dos dispositivos móveis que são importantes para a aplicação prática da arquitetura, como a Tela *Touchscreen*, que transforma toques e gestos em ações, e o Acelerômetro e Giroscópio, responsáveis por captar movimentos e orientações do dispositivo. Estas tecnologias, em conjunto com as Leis de Fitts e Hick, formam a parte principal da arquitetura desenvolvida, consolidando o potencial desta pesquisa no desenvolvimento de jogos sérios voltados à avaliação da coordenação motora fina.

O próximo capítulo apresenta o panorama atual dos temas relacionados para esta pesquisa, por meio de dois mapeamentos sistemáticos.

### 3 ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta o resultado de dois mapeamentos sistemáticos da literatura para compreender o panorama atual dos temas relacionados a esta pesquisa. O primeiro mapeamento tem a finalidade de identificar o que as arquiteturas para desenvolvimento de jogos sérios contemplam. Já o segundo detecta os jogos sérios que avaliam a coordenação motora fina. A Seção 3.1 descreve a metodologia adotada para o mapeamento sistemático. A Seção 3.2 narra o mapeamento sistemático sobre arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios. A Seção 3.3 apresenta o mapeamento sistemático sobre jogos sérios que abordam a coordenação motora fina. Por fim, a Seção 3.4 apresenta as considerações finais do capítulo.

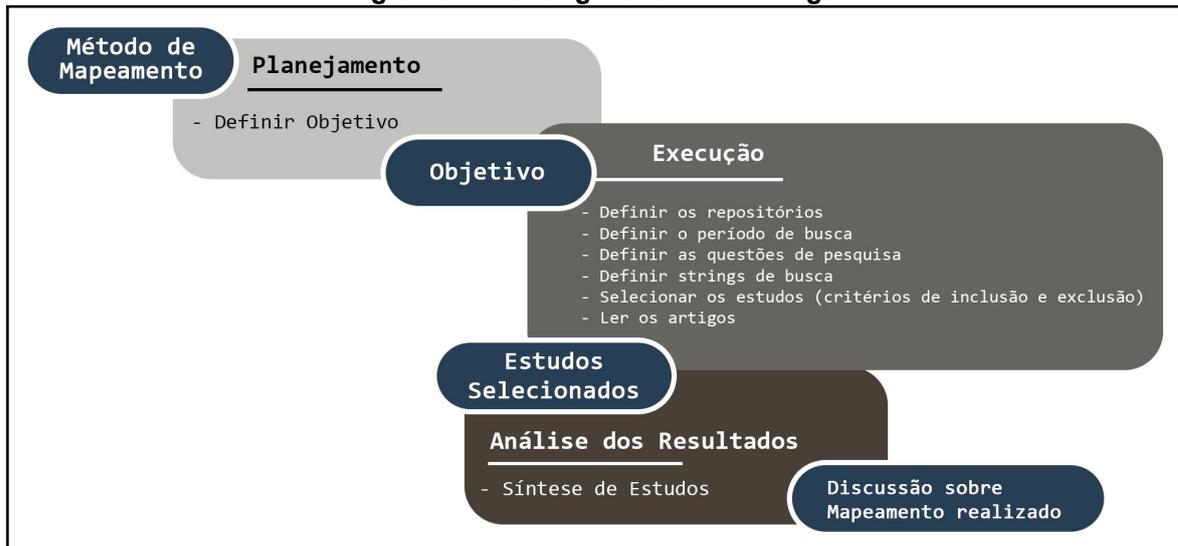
#### 3.1 Metodologia da Pesquisa

A metodologia adotada para o desenvolvimento do mapeamento foi o método sistemático de Kitchenham e Charters (2007). Segundo Kitchenham e Charters (2007), uma revisão ou mapeamento sistemático é uma maneira de identificar, avaliar e interpretar as pesquisas relevantes disponíveis em uma área, tópico ou fenômeno específico de interesse.

A utilização da metodologia de Kitchenham e Charters (2007) é dividida em quatro (4) etapas, apresentadas na Figura 15:

- Planejamento: onde é definido qual o objetivo do mapeamento.
- Execução: no qual é definida e executada as tarefas do mapeamento sistemático, como: a escolha dos repositórios, o período de busca, as questões que devem ser respondidas e as *string* de pesquisa. Após a definição destes itens, executa-se a pesquisa nos repositórios e organiza-se os estudos resultantes, para a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Por fim, a leitura dos artigos resultantes e fichamento das informações relevantes para responder as questões de pesquisa.
- Análise dos resultados: nesta etapa é sintetizado os resultados encontrados na execução do mapeamento, bem como as respostas das questões de pesquisa.
- Discussão: é realizado um debate sobre os resultados obtidos.

**Figura 15 – Visão geral da metodologia**



Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.2 Mapeamento sistemático sobre arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios

Para entender sobre o panorama das arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios foi elaborado um mapeamento sistemático. As subseções a seguir apresentam a aplicação das etapas da metodologia da pesquisa utilizada.

#### 3.2.1 Planejamento

Nesta etapa foi definido o objetivo do mapeamento sistemático, ou seja, quais as questões deveriam ser respondidas por meio do estudo. O objetivo definido foi identificar na literatura trabalhos que abordem arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios, para quais finalidades, como é composta, quais dispositivos e tecnologias utilizadas, entre outras características.

#### 3.2.2 Execução

A busca dos estudos primários foi executada em cinco bibliotecas digitais, sendo elas: ACM, Scopus, IEEE e SciELO. Tais bases de dados são relevantes e utilizadas no campo da Ciência da Computação.

As palavras-chave foram definidas em discussões prévias entre os envolvidos na revisão (o autor deste trabalho juntamente com uma professora na área de engenharia de software e um professor da área de desenvolvimento de jogos). Logo, foram definidas em: *Game Architecture* e *serious games*. Os termos de buscas

debatidos resultaram na seguinte string de busca: *TITLE-ABS-KEY ("game architecture") AND TITLE-ABS-KEY (serious games)*.

Foram identificados trabalhos relacionados ao objetivo desta pesquisa no período de 2011 a 2023. O período foi definido com o intuito de contemplar as tecnologias atuais disponíveis.

Os pesquisadores que realizaram o mapeamento foram os avaliadores dos trabalhos primários coletados. Foram definidos os critérios de inclusão e exclusão, sendo os critérios de inclusão:

- Artigos com relevância ao assunto abordado;
- Artigos escritos a partir de 2011.

Os critérios de exclusão estão listados a seguir:

- Artigos duplicados;
- Artigos com título e resumo fora do assunto abordado;
- Artigos que não abordam arquiteturas de jogos sérios;

Os artigos primários selecionados devem responder as seguintes questões de pesquisa:

- Q1. Qual a finalidade da arquitetura do jogo sério?
- Q2. Como é composta a arquitetura do jogo sério?
- Q3. A arquitetura foi implementada? E quais os tipos de dispositivo e tecnologia usadas ou necessárias?
- Q4. A arquitetura pode ser estendida?

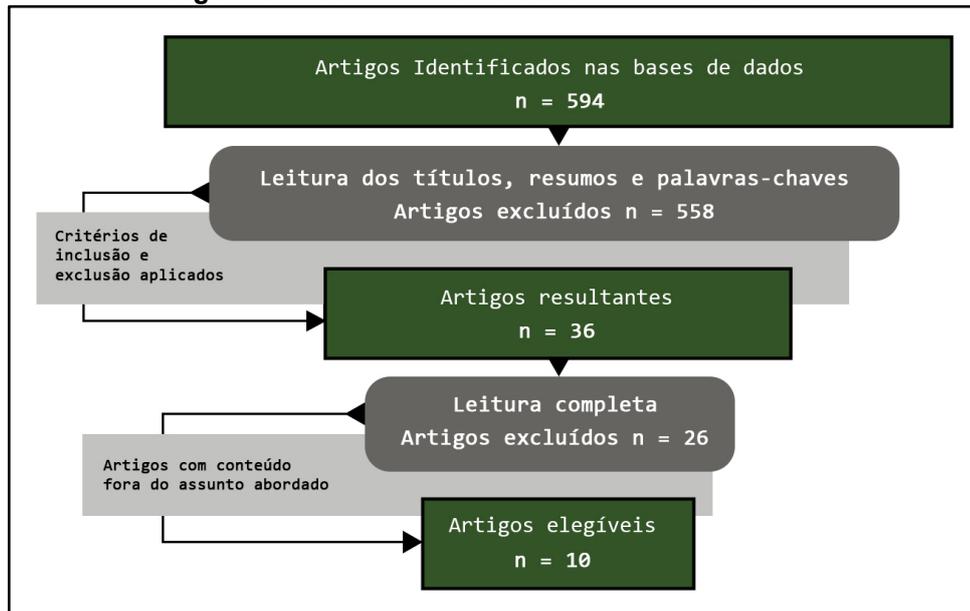
A Tabela 1 apresenta o resultado preliminar por base de dados da busca para a *string* de pesquisa.

<b>Repositórios</b>	
ACM	28
Scopus	486
IEEE	80
SciELO	0
<b>Total</b>	<b>594</b>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A partir dos resultados da busca, um procedimento de seleção foi executado usando os critérios de inclusão e exclusão para afinamento dos artigos. Ao todo, ao final do procedimento de seleção, aproximadamente 98,3% dos estudos incluídos foram eliminados pelos critérios de exclusão. A Figura 16 apresenta o resultado do processo de afinamento dos estudos.

**Figura 16 – Processo de afunilamento do resultado**



Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.2.3 Análise dos resultados

Os resultados apresentados nesta seção correspondem as informações retiradas dos dez (10) estudos primários que foram selecionados obedecendo os critérios de inclusão. O Quadro 3 apresenta os artigos elegíveis neste estudo que estão representados pela sua referência (ID).

**Quadro 3 – Artigos elegíveis**

ID	Título	Autor / Ano
S1	<i>InLife Ecosystem: Creating Serious Games with IoT Features</i>	Kosmides et al. (2018)
S2	<i>Architecture for serious games in health rehabilitation</i>	Rego; Moreira; Reis (2014)
S3	<i>The APOGEE software platform for construction of rich maze video games for education</i>	Bontchev; Vassileva; Dankov (2019)
S4	<i>An interactive and low-cost full body rehabilitation framework based on 3D immersive serious games</i>	Avola et al. (2019)
S5	<i>ZeusAR: a process and an architecture to automate the development of augmented reality serious games</i>	Marín-Vega et al. (2022)
S6	<i>A development architecture for serious games using BCI (brain computer interface) sensors</i>	Sung; Cho; Um (2012)
S7	<i>SanTrain: A serious game architecture as platform for multiple first aid and emergency medical trainings</i>	Lehmann et al. (2013)
S8	<i>Zeus - A tool for generating rule-based serious games with gamification techniques</i>	Marín-Vega et al. (2020)
S9	<i>Towards a constructionist serious game engine</i>	Vahldick; Mendes; Marcelino (2016)
S10	<i>MAGIS: mobile augmented-reality games for instructional support</i>	Vidal Jr et al. (2018)

Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos estudos selecionados, são apresentadas as respostas para cada questão de pesquisa.

### 3.2.3.1 Q1. Qual a finalidade da arquitetura do jogo sério?

O Quadro 4 apresenta as respostas para esta questão de pesquisa.

**Quadro 4 – Finalidade da arquitetura**

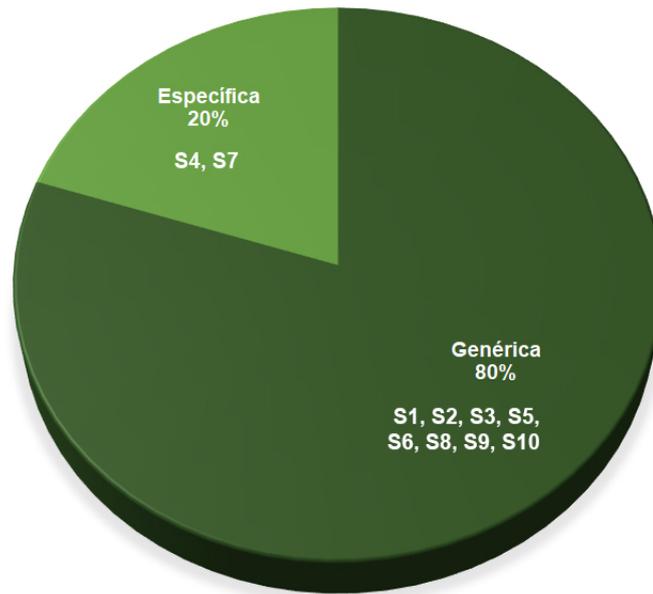
ID	Finalidade
S1	Concentra-se em aproveitar o paradigma <i>IoT</i> ( <i>Internet of things</i> / Internet das coisas) para que os desenvolvedores criem jogos sérios gamificados.
S2	A arquitetura tem como finalidade o desenvolvimento de jogos sérios que integrem um conjunto de recursos capazes de monitorar as habilidades sociais e progresso do usuário para benefícios diretos no processo de reabilitação e saúde.
S3	A arquitetura tem como finalidade gerar jogos de labirintos de maneira automática, a partir de uma descrição formal, fornecendo conteúdo multimídia didático.
S4	A finalidade da arquitetura é desenvolver jogos sérios imersivos 3D para a reabilitação do corpo inteiro, permitindo que terapeutas criem exercícios personalizados.
S5	A finalidade da arquitetura é gerar jogos sérios com realidade aumentada passo a passo de forma simplificada.
S6	A finalidade da arquitetura é desenvolver jogos sérios que usam ondas cerebrais por meio de dispositivos de interface cérebro-computador, em inglês <i>Brain-computer interface (BCI)</i> , além de ferramentas de autoria para geração de jogos.
S7	A finalidade da arquitetura é gerar jogos sérios como plataforma de treinamento de primeiros socorros e emergência médica para militares.
S8	Gerar jogos sérios com técnicas de gamificação baseados em regras, de modo que atendam às metas de aprendizado estabelecidas pelo desenvolvedor.
S9	A finalidade da arquitetura é apoiar o desenvolvimento acessível de jogos sérios construcionistas, definindo componentes dos jogos, elementos instrucionais que facilitam a implementação.
S10	A finalidade da arquitetura é desenvolver jogos sérios educacionais móveis de realidade aumentada para suporte instrucional.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

As arquiteturas para o desenvolvimento de jogos sérios aplicam-se a finalidades variadas em campos distintos, demonstrando sua versatilidade em diversos domínios. Desta maneira, não foi possível classificar domínios semelhantes.

As arquiteturas encontradas foram agrupadas considerando seu objetivo, como por exemplo, o trabalho S7, que diz respeito a uma arquitetura para o treinamento em primeiros socorros para militares, ou em arquiteturas genéricas que podem ser utilizadas para múltiplos propósitos, como é o caso da arquitetura S6 que pode gerar jogos em várias áreas utilizando a interface cérebro computador.

**Gráfico 1 – Finalidade da arquitetura**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

Para fins quantitativos, conforme Gráfico 1, os trabalhos S1, S2, S3, S5, S6, S8, S9 e S10 totalizam 80% dos estudos nas quais foram desenvolvidos para serem utilizados em objetivos genéricos, conforme necessidade do utilizador da arquitetura. Por outro lado, os estudos S4 e S7 contabilizam 10% dos trabalhos nas quais foram desenvolvidos para objetivos específicos, no qual os desenvolvedores podem alterar a forma e não o propósito.

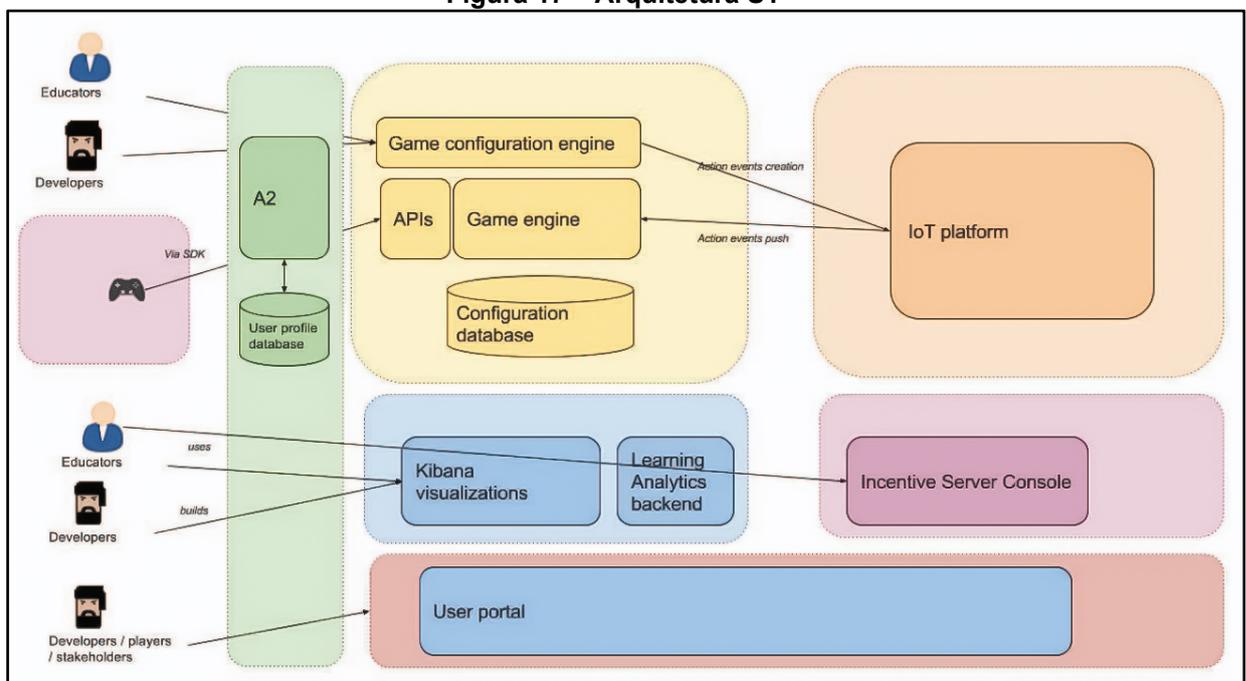
### 3.2.3.2 Q2. Como é composta a arquitetura do jogo sério?

O trabalho S1 apresenta uma arquitetura que integra o ecossistema denominado de InLife que combina *Internet-of-Things (IoT)* (Internet das coisas, em português) com jogos sérios, podendo ser utilizado por desenvolvedores para criarem seus próprios jogos sérios. A arquitetura S1 é apresentada na Figura 17 e é composta pelos seguintes componentes:

- *A2 - Authorization and authentication component*: Responsável por gerenciar o módulo de login e identificação do usuário.
- *User profile database*: Responsável por armazenar os dados de perfis do usuário, como avatar e outros dados pessoais.
- *Game configuration engine*: Responsável por armazenar a lógica do jogo, mecânica, objetivos, níveis e escopo do jogo.

- *Learning Analytics backend*: Responsável por analisar o desempenho do aprendizado, o progresso dos jogadores e fornecer para os educadores as informações.
- *IoT plataforma*: Responsável por integrar o paradigma IoT ao framework.
- *Incentive server component*: Responsável por computar as recompensas e incentivá-los a cumprir as metas de treinamento do Educador.
- *User portal*: Responsável pela gestão dos diferentes stakeholders que interagem com o ecossistema InLife, permitindo gerenciar os usuários, funções, jogos e componentes.

Figura 17 – Arquitetura S1



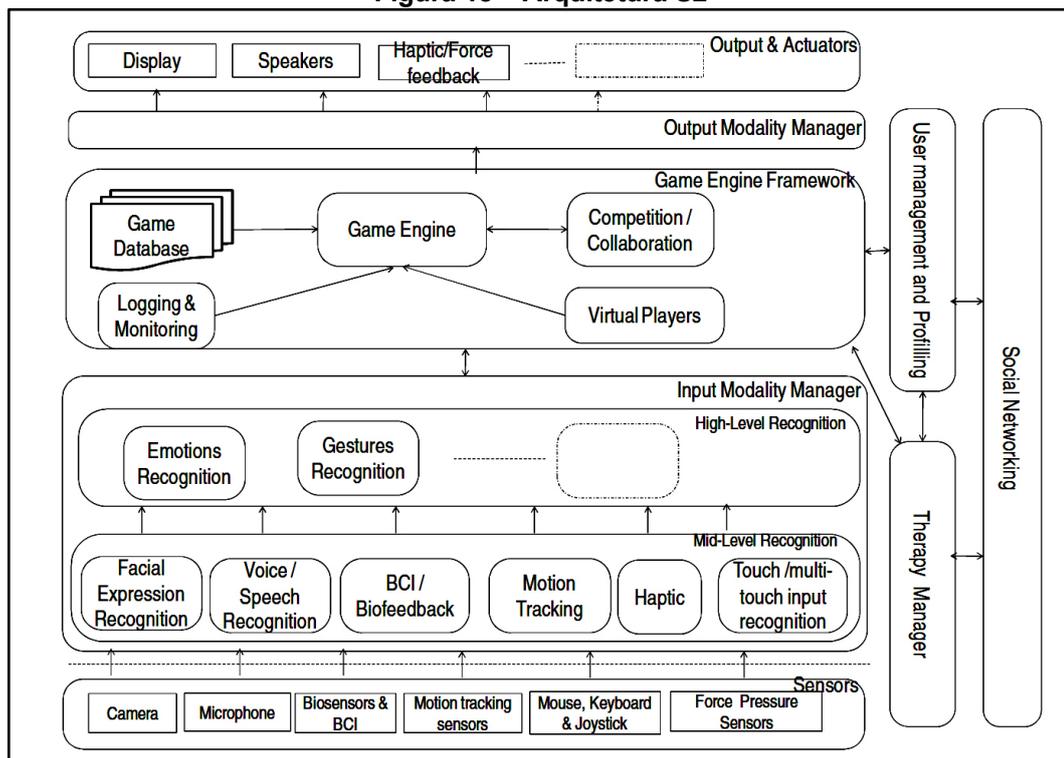
Fonte: Kosmides et al. (2018).

O trabalho S2 apresenta uma arquitetura para desenvolvimento de jogos sérios que integra um conjunto de recursos, habilidades sociais e monitoramento do progresso, que podem futuramente ser usado para melhorar os jogos projetados com benefícios diretos para o processo de reabilitação e saúde, além de aumentar a motivação dos pacientes em reabilitação em saúde. A arquitetura S2 é apresentada na Figura 18 e é composta pelos seguintes componentes:

- *Game Engine*: É o componente mais comum a todos os jogos, representando o componente mais genérico da *lógica*.

- *Game Database*: Componente que representa o repositório de todos os jogos que estão disponíveis para a utilização na sessão de reabilitação.
- *Competition / Collaboration*: Módulo responsável por criar mecanismos de interação de competição e colaboração entre os usuários.
- *Virtual Players*: módulo responsável pela definição de agentes que farão o papel de usuários/jogadores. Módulo importante para permitir o jogo multijogadores mesmo com um usuário real.
- *Logging & Monitoring*: Módulo responsável por registrar os *logs* dos usuários, duração da sessão, último nível de dificuldade alcançada, entre outras informações relevantes para acompanhar a evolução do usuário.
- *User management and profiling*: Módulo responsável pelo gerenciamento de perfil dos usuários, como seu estado, progresso, deficiências etc.
- *Therapist Manager*: Módulo responsável em fornecer ferramentas de configuração, monitoramento a análise e ajustes das terapias para determinado usuário.
- *Social Networking*: Módulo responsável pela comunicação entre grupos de pacientes para medir e facilitar as interações sociais.
- *Input Modality Manager*: Módulo responsável por gerenciar as diferentes modalidades de entrada e pode ser adaptado às diferentes deficiências dos usuários.
- *Output Modality Manager*: Módulo responsável por gerenciar as diferentes modalidades de saída, como um display, dispositivo de sim, dispositivo háptico, entre outros. Além disso, pode ser adaptado a um jogo, ambiente ou usuário específico.

Figura 18 – Arquitetura S2

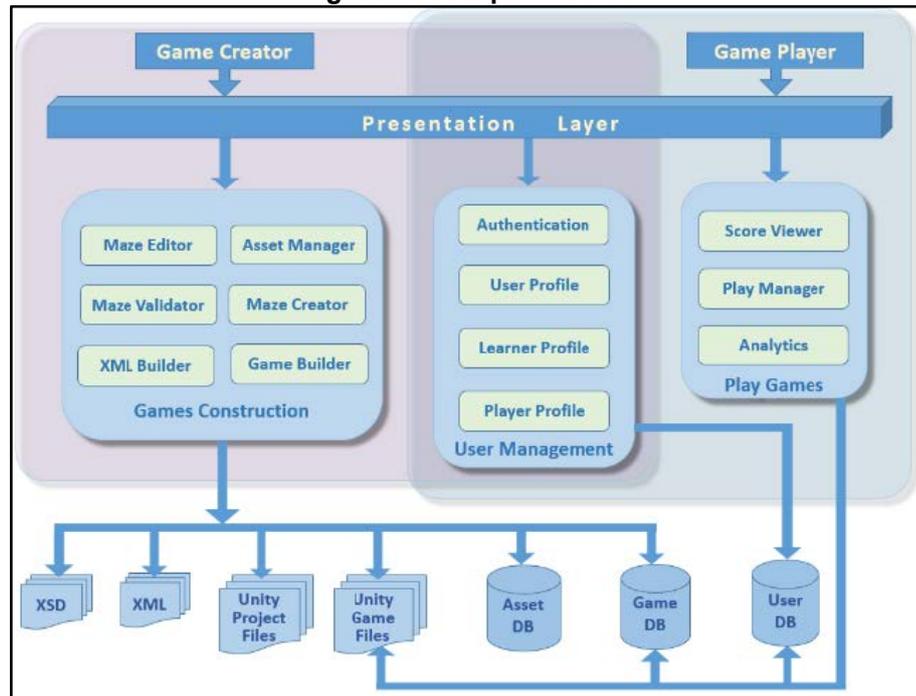


Fonte: Rego; Moreira; Reis (2014).

O trabalho S3 apresenta uma arquitetura para geração de jogos de labirintos educativos que pode ser utilizado por desenvolvedores com ou sem experiência em codificação. Trata-se de uma arquitetura orientada a serviços, que contém microsserviços que podem ser implementados independentemente, podendo ser um aplicativo autônomo e responsável por executar uma tarefa ou parte do fluxo. A arquitetura S3 é apresentada na Figura 19 e é composta pelos seguintes componentes:

- *Game construction:* Contém os microsserviços responsáveis pela construção de jogo.
- *User management services:* Contém os microsserviços responsáveis pela gestão de perfis de diferentes utilizadores;
- *Play game services:* Contém os microsserviços responsáveis pelos dados e suas análises, bem como a mensuração do aprendizado.

Figura 19 – Arquitetura S3

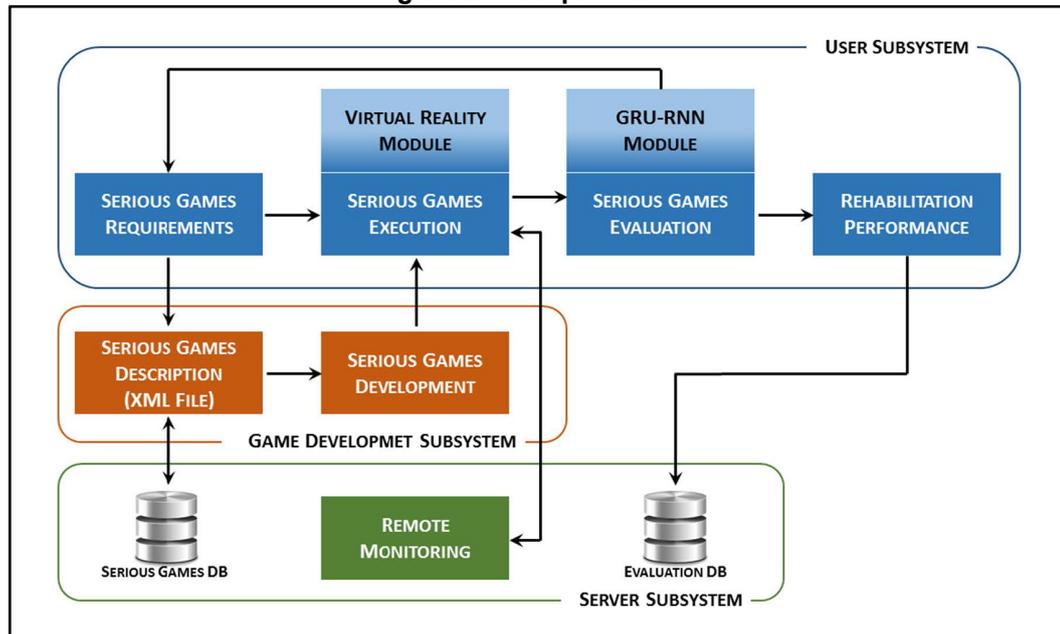


Fonte: Bontchev; Vassileva; Dankov (2019).

O trabalho S4 permite que os terapeutas criem exercícios personalizados para reabilitação. Por se tratar de um sistema interpretativo, nenhuma habilidade de programação é requisito para os terapeutas inserirem dados sobre os exercícios e pacientes. A estrutura permite que os terapeutas criem e modifiquem exercícios personalizados para reabilitação. A arquitetura S4 é apresentada na Figura 20 e é composta pelos seguintes componentes:

- *User subsystem*: Consiste em funções e interfaces *front-end*. Permite que criem exercícios personalizados e projetem ações e regras de validação para os exercícios.
- *Game development subsystem*: Gerencia a criação dos VEs (Virtual Environment / Ambiente virtual), os jogos são descritos por meio de um documento XML contendo as informações sobre a VE e regras associadas.
- *Server subsystem*: Um sistema que usa a rede para compartilhar e armazenar dados remotamente. A arquitetura possui dois métodos para avaliação do desempenho do paciente. A primeira consiste em um método de pontuação simples, enquanto a segunda é baseada em GRU-RNN (Unidade recorrente fechada - Rede Neural Recorrente) que utiliza dados de usuários saudáveis como referência.

Figura 20 – Arquitetura S4

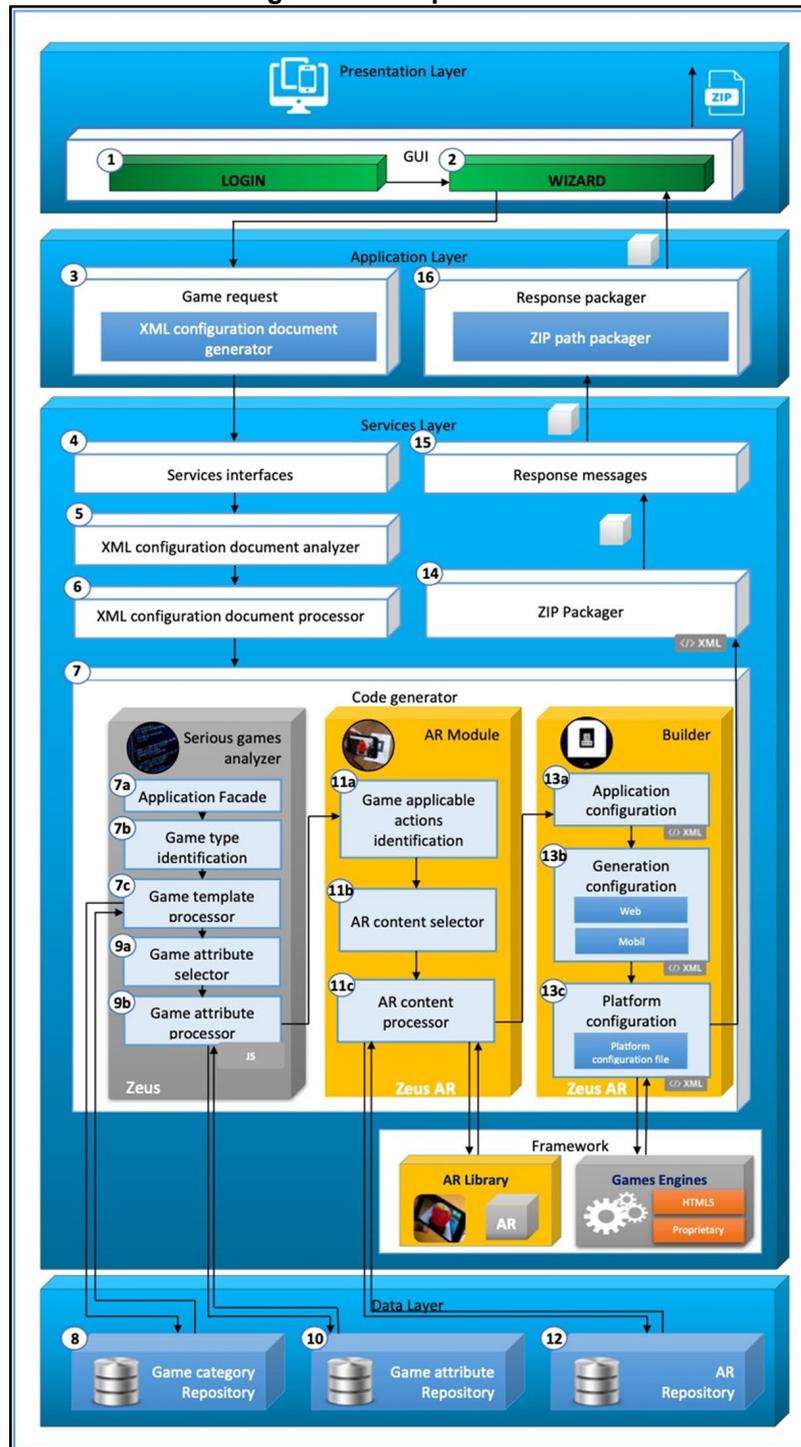


Fonte: Avola et al. (2019).

O estudo S5 propõe uma maneira de desenvolvimento de jogos sérios utilizando a realidade aumentada (ARSGs - *Augmented Reality Serious Games*). O trabalho proposto possui uma arquitetura em camadas para garantir uma fácil interação entre seus componentes. A arquitetura S5 está dividida em quatro (4) camadas é apresentada na Figura 21 e é composta pelos seguintes componentes:

- *Presentation layer*: Camada responsável pela autenticação do usuário, e pelo assistente de seleção de recursos AR, além do *download* do ARSG gerado.
- *Application Layer*: Componente responsável em gerar o arquivo de configuração XML que contém todos os dados necessários para gerar o ARSG.
- *Services Layer*: Responsável em fornecer um conjunto de módulos para a geração dos ARSGs, como o analisador de jogos sérios, módulo AR, e o construtor.
- *Data layer*: Responsável em armazenar os repositórios contendo os dados necessários para desenvolver o ARSG.

Figura 21 – Arquitetura S5



Fonte: Marín-Vega et al. (2022).

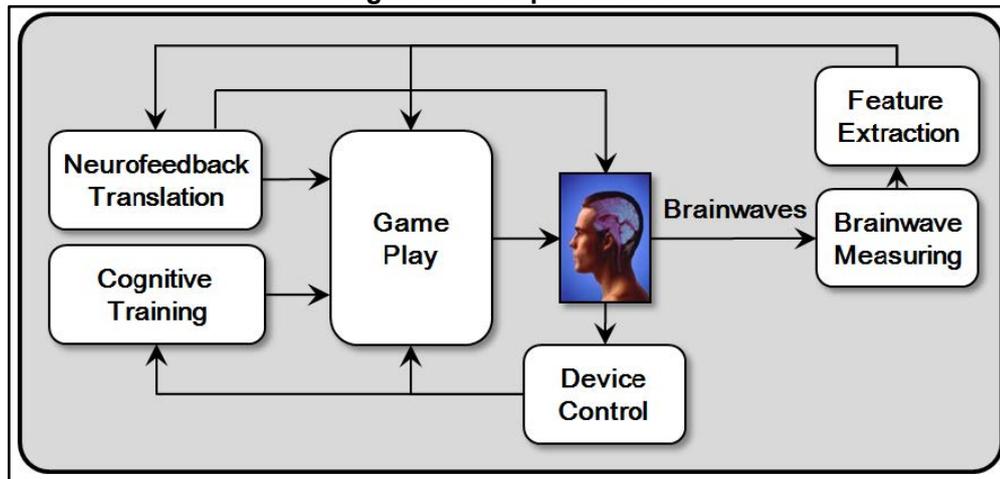
O trabalho S6 apresenta uma arquitetura para o desenvolvimento dos jogos com a utilização de *Brain computer-interface (BCI)*, em português Interface cérebro-computador (ICC) que detectam o estado do cérebro do usuário identificando um padrão nas ondas cerebrais medidas. Por se tratar de uma métrica complexa e que necessita de profissionais especializados, como médicos, a arquitetura define

modelos isolados, separados por especialidades. Os doutores especialistas em ondas cerebrais ficam responsável pela parte preliminar da criação do jogo, utilizando uma ferramenta de autoria que fornece uma visualização em árvore do modelo BCI, modelos de *neurofeedback*, modelos de treinamento cognitivo e modelos de *neurofeedback* cognitivo. Além dos especialistas, os *designers* de jogos utilizam desta ferramenta para implementar o jogo a partir da descrição criada.

Basicamente o usuário é submetido ao jogo e suas ondas cerebrais são capturadas por meio do módulo *Brainwave Measuring* e pelo módulo *Feature Extraction* que identifica certos recursos e esses recursos são transferidos para o módulo *Neurofeedback*, que por sua vez reflete no jogo. O usuário vê mudanças no jogo que aconteceram por meio das leituras cerebrais. A arquitetura S6 é apresentada na Figura 22 e é composta pelos seguintes componentes:

- *Neurofeedback translation*: Responsável por traduzir as informações geradas pelos dispositivos BCI e fornecer uma saída para a Gameplay do jogo.
- *Cognitive Training*: Reflete os resultados das funções cognitivas representada pelo jogo.
- *Device Control*: Responsável pelos dispositivos que serão manipulados pelo usuário, como os itens na tela sensível ao toque, mouse ou teclado.
- *Brainwave Measuring*: Mede as ondas cerebrais dos usuários enquanto eles jogam.
- *Feature Extraction*: Identifica determinados recursos a partir das ondas cerebrais.
- *Gameplay*: Responsável por apresentar as mudanças no jogo para o usuário.

Figura 22 – Arquitetura S6

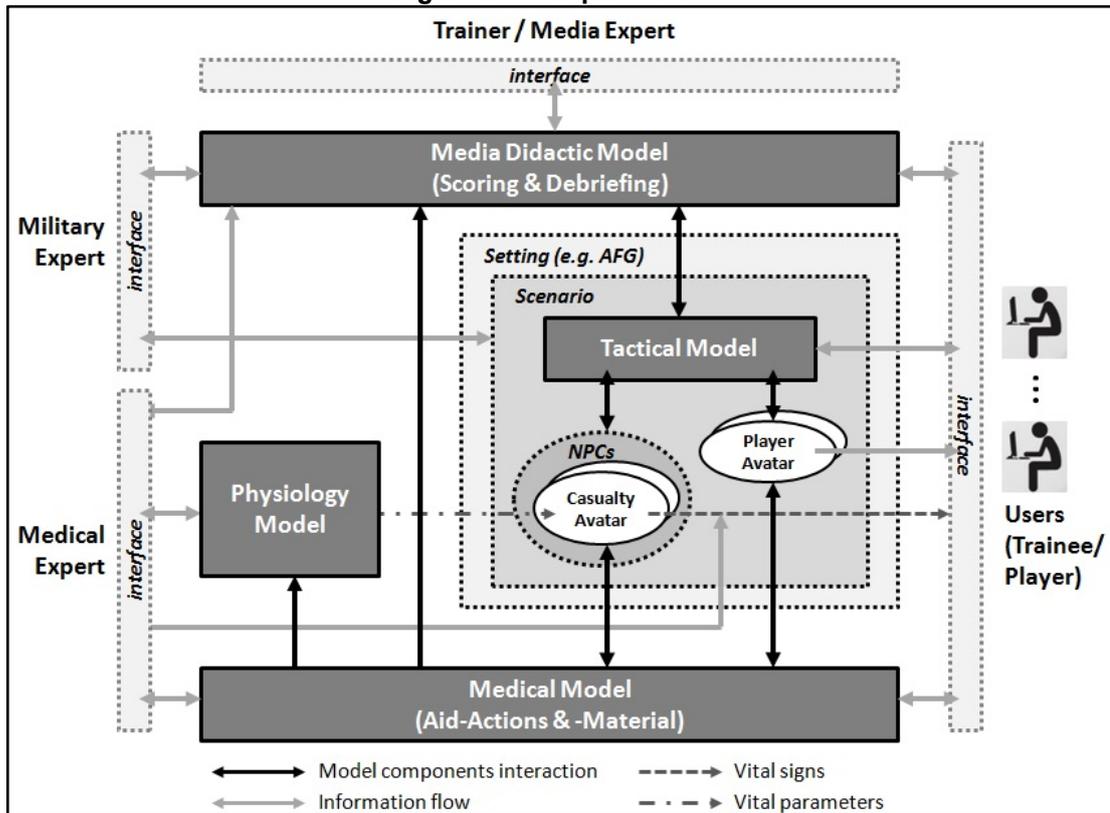


Fonte: Sung; Cho; Um (2012).

A trabalho S7 apresenta uma arquitetura que foi desenvolvida com a finalidade de gerar jogos sérios como plataforma de treinamento de primeiros socorros e emergência médica para militares. A arquitetura S7 é apresentada na Figura 23 e é composta pelos seguintes componentes:

- *Media Didactic Model (Scoring & Debriefing)*: Responsável pela modelagem das habilidades e experiências didáticas.
- *Tactical Model*: Responsável pelos cenários específicos onde o usuário faz as ações de primeiros socorros.
- *Physiology Model*: Responsável pelo treinamento de habilidade cognitivas em relação a certos tipos de lesões, pela modelagem da fisiopatologia do corpo humano.
- *Medical Model (Aid-Action & Material)*: Responsável por modelar os sinais vitais visíveis do corpo do paciente, bem como os parâmetros vitais que são relevantes para a fisiopatologia humana, consequência de lesões, bem como os efeitos de primeiros socorros ou tratamentos médicos.

Figura 23 – Arquitetura S7

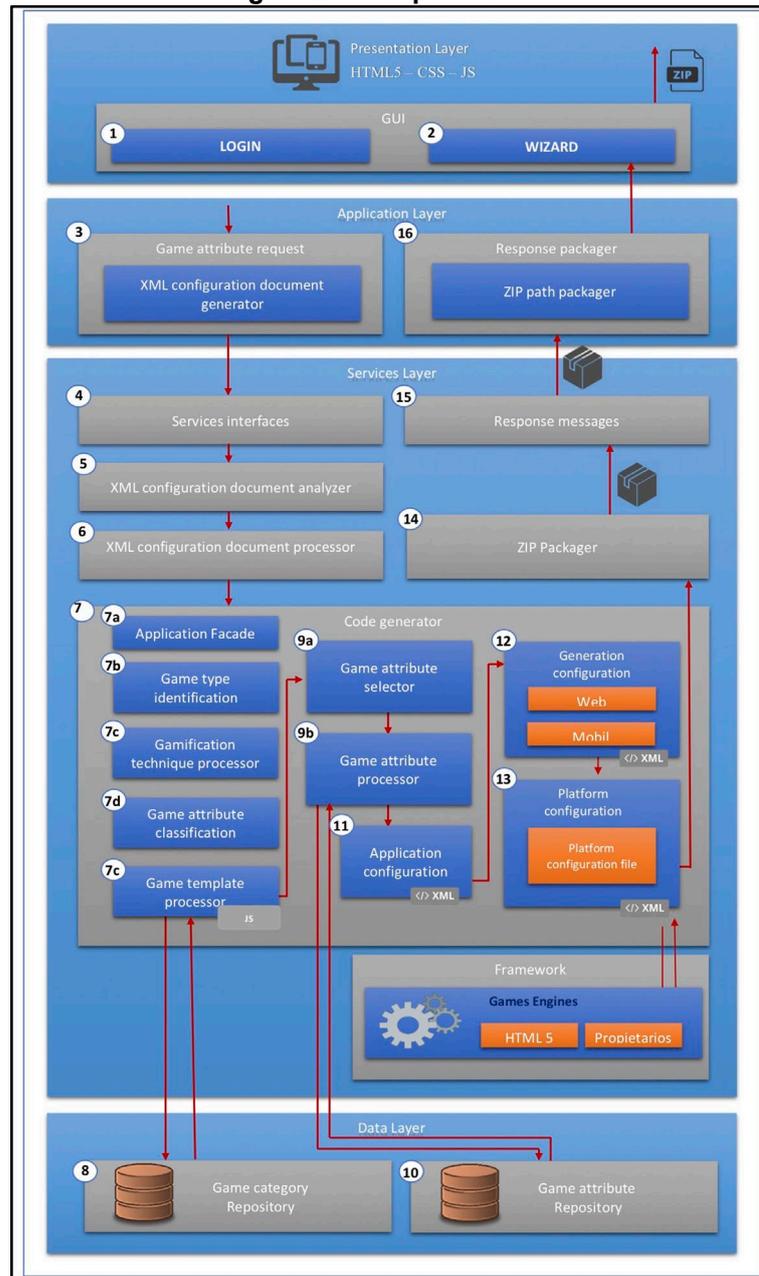


Fonte: Lehmann et al. (2013).

O trabalho S8 apresenta uma arquitetura para geração simplificada de jogos gamificados baseados em regras que atendam com sucesso os objetivos de aprendizado. A arquitetura S8 é apresentada na Figura 24 e é composta pelas seguintes camadas:

- *Presentation Layer:* Responsável pela interação entre os usuários e a ferramenta.
- *Application Layer:* Responsável em converter e transmitir as informações das camadas de serviço para a interface do usuário.
- *Services Layer:* Essa camada recebe o arquivo de configuração XML, fornece os módulos necessários, gera o arquivo e retorna um arquivo compactado com a aplicação gerada.
- *Data Layer:* Armazena os repositórios que contém os dados necessários para o desenvolvimento do jogo.

Figura 24 – Arquitetura S8



Fonte: Marín-Vega et al. (2020).

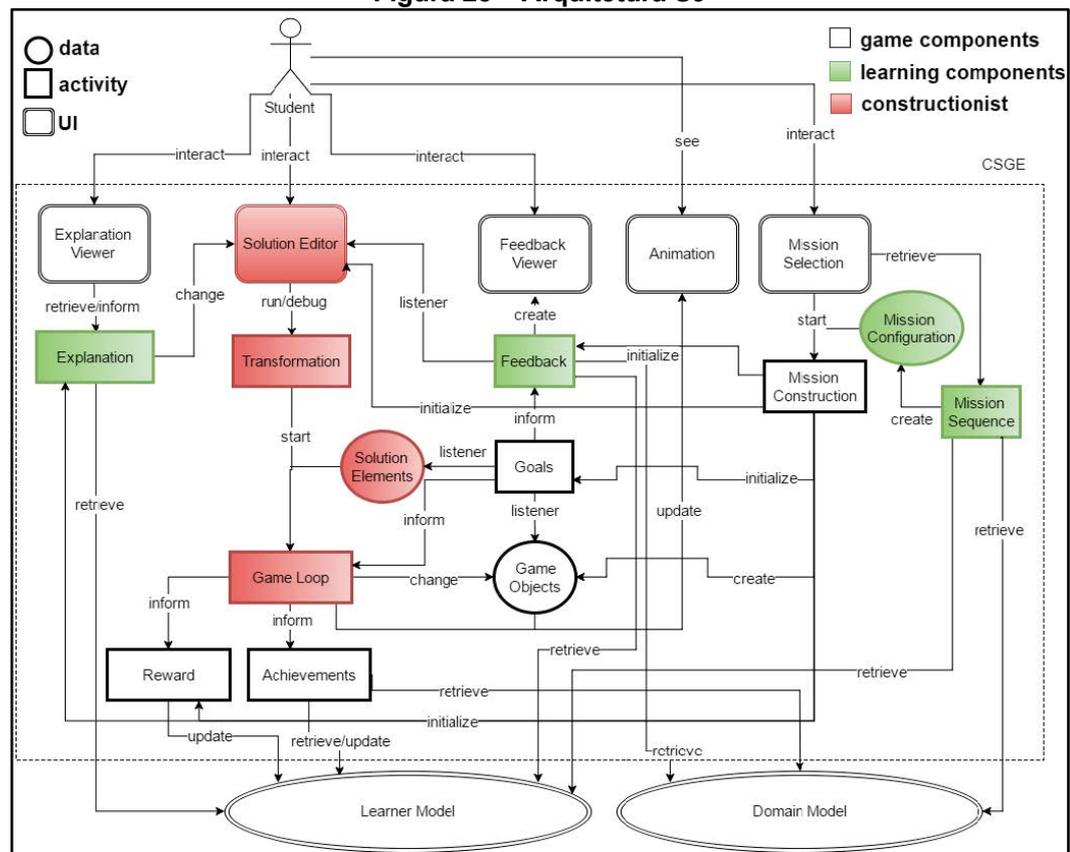
A arquitetura apresentada no trabalho S9 é composta por um modelo que visa representar os componentes que são essenciais para a construção de jogo sério construcionistas teórico. A arquitetura S9 é apresentada na Figura 25 e é composta pelas seguintes camadas:

- *Mission Selection:* Apresenta as missões cumpridas e disponíveis.
- *Mission Sequence:* Carrega a sequência de aprendizado do modelo de domínio para identificar a ordem da missão, além de verificar as missões já cumpridas.

- *Mission Configuration*: Representa as missões disponíveis bem como sua descrição; definição de regras, restrições e objetivos; configuração do mundo e de seus objetos; etc.
- *Mission Construction*: Responsável por inicializar o mundo do jogo.
- *Solution editor*: Permite o usuário criar suas soluções.
- *Transformation*: A partir do item anterior, o componente converte a representação da solução em uma estrutura interna, gerenciável pelo Game Loop.
- *Game Loop*: É responsável por iterar os elementos da solução que alteram o estado dos objetos do jogo e atualizam a área de animação.
- *Game objects*: Consulta os elementos que compõem os desafios da missão, que são alterados pelo aluno.
- *Animation*: Uma área onde o aluno pode verificar como a solução muda o ambiente do jogo.
- *Goals*: Responsável por verificar se os objetivos são atendidos.
- *Rewards*: Computa os pontos, experiência, moedas ou outro tipo de recompensa.
- *Achievements*: Verifica prêmios não específicos de uma missão, mas genéricos para todo o jogo.
- *Feedback*: Responsável pelas dicas para ajudar o aluno.
- *Feedback Viewer*: Mostra o conteúdo do *Feedback*.
- *Explanation*: Fornece explicações sobre o conteúdo de aprendizagem.
- *Explanation Viewer*: Exibe as informações do módulo anterior.

Os componentes *Solution Editor*, *Transformation*, *Solution Elements* e *Game Loop*, compõem o componente para a abordagem construcionistas. Por fim, os componentes *Mission Sequence*, *Feedback*, *Explanation*, *Mission Configuration*, compõem o componente de aprendizado, responsável pelos mecanismos de adaptação, além da do progresso e avaliação do aluno.

Figura 25 – Arquitetura S9

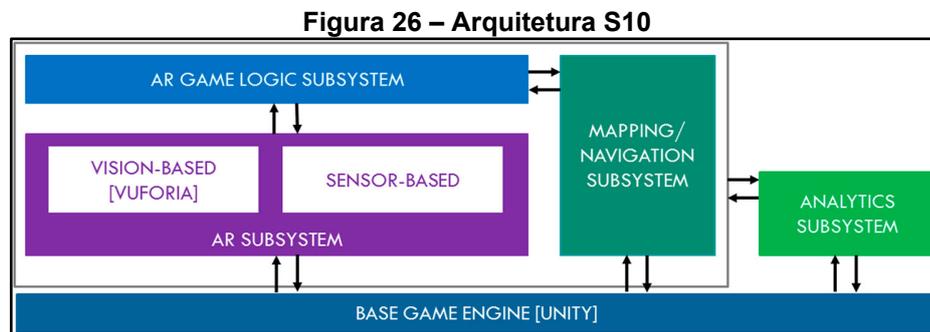


Fonte: Vahldick; Mendes; Marcelino (2016).

A arquitetura apresentada no trabalho S10 é composta por vários subsistemas modulares. Cada um desses subsistemas pode ser substituível (flexível), dependendo das demandas da aplicação. Por exemplo, os componentes do subsistema AR podem ser substituídos no futuro, à medida que novas tecnologias AR para dispositivos móveis surgem. A arquitetura S10 é apresentada na Figura 26 e é composta pelos seguintes subsistemas:

- *AR Game Logic Subsystem*: Permite a criação da lógica do jogo além da maneira de como será utilizada a AR dentro do jogo.
- *AR Subsystem*: Contém as tecnologias de visualização e sensores AR utilizadas.
- *Mapping/Navigation Subsystem*: Componente responsável pelo mapeamento do cenário e como o usuário progride no movimento no mapa.
- *Analytics Subsystem*: Componente responsável por avaliar o envolvimento e aprendizado do usuário.

- *Base Game Engine*: Componente que define o motor de desenvolvimento do jogo.



Fonte: VIDAL JR *et al.* (2018).

Como visto, as arquiteturas podem ser estruturadas e desenvolvidas de maneiras distintas, a depender do criador, do propósito e das tecnologias empregadas.

Os jogos sérios podem ter arquiteturas que compartilham módulos/componentes semelhantes: como o caso dos trabalhos S1, S2, S3, S5 e S8, que definem componentes para gerenciamento de perfil dos usuários, para o armazenamento de dados, progresso de determinado jogador.

Outro aspecto relevante quando o assunto são jogos sérios é a análise do desempenho de cada usuário, nesse sentido os trabalhos S1, S2, S3, S4, S9 e S10 incluem componentes específicos para a análise do desempenho do usuário.

Embora seja um aspecto importante quando o assunto é aprendizado, os trabalhos S5, S6, S7, S8 não possuem componentes dedicado a isso, focando apenas na geração do jogo. Destes, o trabalho S7 propõem como trabalho futuro a inclusão de um componente/módulo focada na avaliação do aluno.

### 3.2.3.3 Q3. A arquitetura foi implementada? E quais os tipos de dispositivo e tecnologia usadas/necessárias?

Com exceção dos trabalhos S2 e S3, todos os outros foram implementados utilizando suas arquiteturas propostas.

O trabalho S7 apresentou apenas uma prova conceitual, sem apresentar informações sobre as tecnologias e dispositivos utilizados.

Embora o trabalho S2 não tenha sido implementado, o autor comente sobre um teste preliminar de usabilidade, porém não houve uma aplicação da arquitetura. Em S2 é listado de maneira genérica os dispositivos que podem ser utilizados na

aplicação da ferramenta de reconhecimento de gestos e emoções, como por exemplo, dispositivos de detecção de voz/fala, rastreadores de movimentos e expressões faciais, dispositivos háptico, *touchscreen*, entre outros.

O trabalho S3 que também não foi implementado, apresenta uma arquitetura para geração de jogos que utiliza arquivos XML (*The Extensible Markup Language*) para descrição formal do jogo. A arquitetura foi desenvolvida para geração de jogos utilizando o motor de jogo Unity 3D juntamente com o plugin *Maze builder*, responsável por importar o arquivo XML, podendo gerar jogos para diferentes plataformas e dispositivos.

O Quadro 5 apresenta os trabalhos que tiveram implementações, bem como suas tecnologias utilizadas.

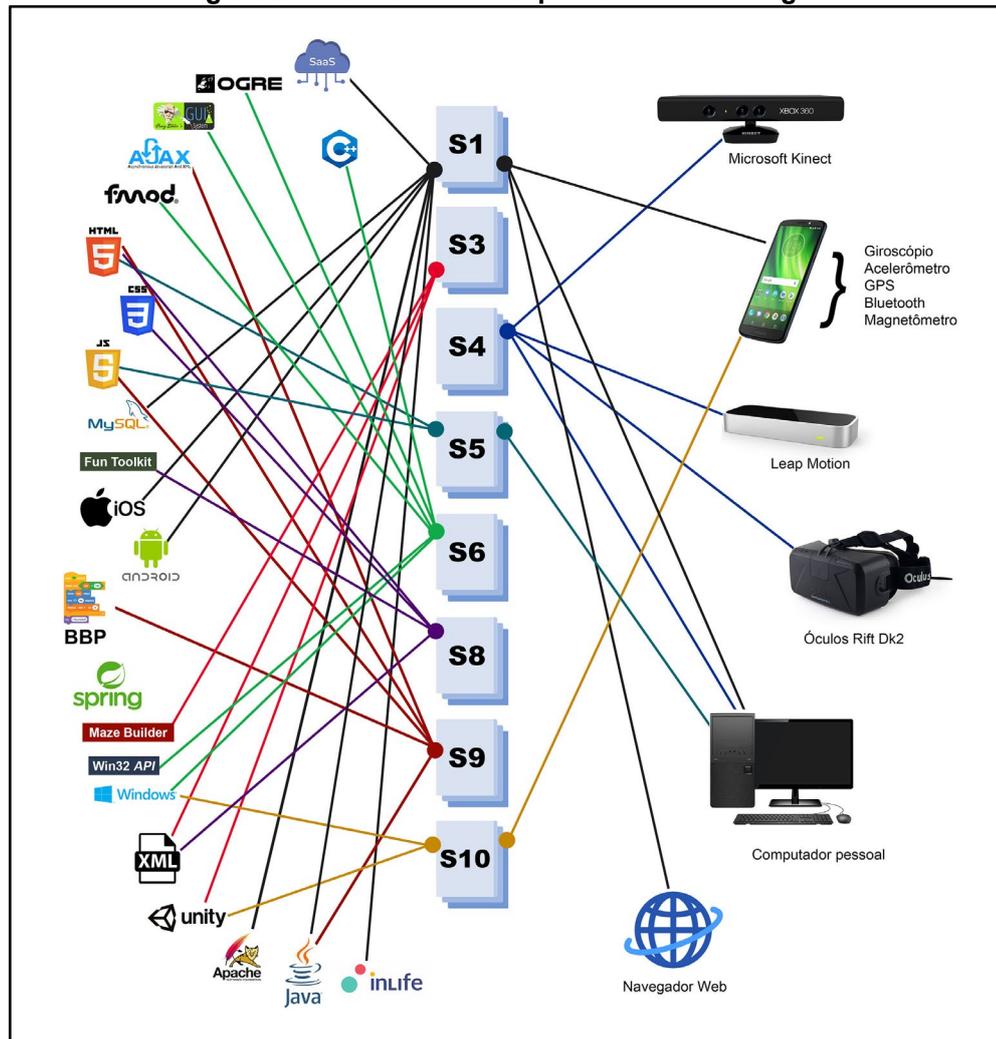
**Quadro 5 – Implementação das arquiteturas**

ID	Dispositivos / Tecnologias
S1	A arquitetura utiliza uma SDK chamada <i>InLife IoT</i> , implementada utilizando Java (estrutura <i>Spring</i> , <i>Apache Tomcat 8.5.11</i> e banco de dados <i>MySql</i> ). O SDK <i>InLife IoT</i> gera jogos para Nuvem, <i>SaaS</i> , <i>Web</i> , Móvel - Android, Móvel – iOS.
S4	A aplicação foi desenvolvida para computadores convencionais utilizando um sistema de câmera <i>ToF (Time of Flight)</i> , sendo o Microsoft Kinect, uma câmera estérea infravermelho ( <i>Leap Motion</i> ) usado e um HMD ( <i>Head-mounted display</i> ), sendo o dispositivo óculos Rift Dk2 usado com sensores posicionais.
S5	Foi implementado 3 jogos: Sudoku, Jogo da memória e o Jogo cobras e escadas, todos com a temática de geometria/matemática. O jogo foi desenvolvido em <i>HTML5</i> e <i>JavaScript</i> , para computadores convencionais.
S6	Foi criada uma ferramenta de autoria própria para ser usada por especialistas (médicos), <i>designer</i> de jogos e programadores. Essa ferramenta é utilizada no sistema <i>Microsoft Windows</i> em computadores convencionais, e implementado com C++. Os códigos e módulos <i>BCI</i> são gerados automaticamente pela <i>API Win32</i> e pelo <i>Open Game Rendering Engine (OGRE)</i> , que é introduzido para o processamento de gráficos 3D. Em seguida, o kit de desenvolvimento de software <i>CEGUI</i> é aplicado no <i>OGRE</i> para o processamento de interface e, finalmente, a <i>API FMOD</i> é aplicada para processamento do som.
S8	A descrição formal se dá por meio de um arquivo <i>XML</i> . Além disso, eles fazem uso do <i>Fun Toolkit</i> para realizar essa avaliação dos usuários (alunos) em termos de entrega de experiências divertidas e de aprendizado. A camada de apresentação é desenvolvida em <i>HTML5</i> , <i>JavaScript</i> e <i>CSS3</i> .
S9	Foi utilizada uma abordagem de programação baseada em blocos ( <i>Blocks-Based Programming - BBP</i> ), <i>JavaScript</i> , <i>HTML5</i> , tecnologias Java e tecnologia <i>AJAX</i> .
S10	Foi criado um jogo de prova de conceito. Desenvolvido para dispositivos móveis e aproveita a tecnologia de GPS contidas nos dispositivos. Para a implementação, foi utilizada a própria ferramenta criada para Microsoft Windows, e para codificação do jogo foi utilizado o motor Unity 3D. Além disso, outras tecnologias contidas em dispositivos móveis podem ser utilizadas, como por exemplo o Giroscópio, Acelerômetro, Magnetômetro, GPS, Bluetooth.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A Figura 27 ilustra a relação dos trabalhos, suas tecnologias e dispositivos utilizados, com exceção dos trabalhos S2 e S7 que não descreveram suas tecnologias e dispositivos.

Figura 27 – Resumo dos dispositivos e tecnologias

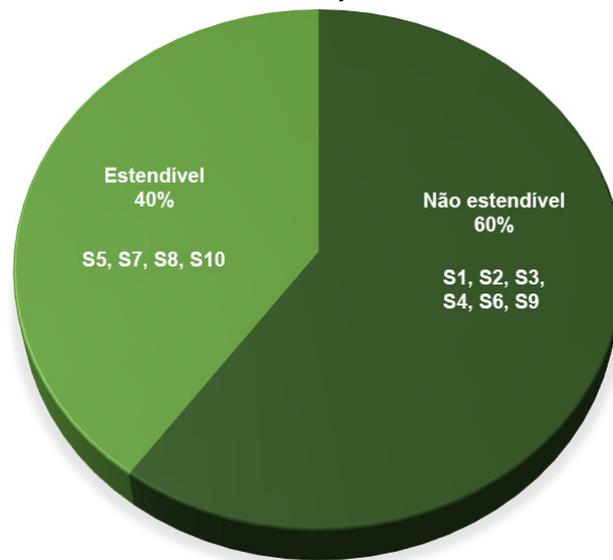


Fonte: Autoria própria (2023).

#### 3.2.3.4 Q4. A arquitetura pode ser estendida?

Essa questão de pesquisa identifica se os trabalhos selecionados podem ser estendidos de forma que possam ser utilizados em outros domínios de estudos. O Gráfico 2 apresenta a síntese do resultado para essa questão de pesquisa.

Os trabalhos S1, S2, S3, S4, S6 e S9 não apresentam arquitetura que possam ser estendidas e reutilizadas em múltiplos contextos, ficando restritos ao escopo e/ou tecnologias utilizadas.

**Gráfico 2 – Arquitetura S9**

Fonte: VIDAL JR *et al.* (2018).

Por outra lado o trabalho S5 apresenta um trabalho que tem como objetivo a geração de jogos com a realidade aumentada para múltiplos contextos, além disso, a arquitetura está estruturada em camadas que possuem componentes que podem facilmente serem substituídas conforma a necessidade do desenvolvedor.

A arquitetura S7 embora tenha sido desenvolvida para uma temática específica possui um grau de flexibilidade que permite a manutenção, extensão ou troca de modelos que possam ser aplicados em outros domínios.

Semelhante ao trabalho S5, o trabalho S8 apresenta uma arquitetura que permite a geração de jogos gamificados para múltiplos contextos e possuem sua estrutura dividida em camadas contendo componentes que podem ser facilmente alterados ou substituídos.

Por fim, o trabalho S10 apresenta uma arquitetura modular que pode ter seus subsistemas e tecnologias substituídas dependendo da demanda da aplicação.

#### 3.2.4 Discussão

A Seção 3.2 identificou na literatura o panorama dos trabalhos sobre arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios. Com base neste estudo foi possível identificar as arquiteturas e suas características.

Primeiramente foi possível identificar que o campo de aplicação das arquiteturas dentro dos jogos sérios é amplo, abordando diversas áreas e tecnologias

distintas. No entanto, a maior parte destas arquiteturas é projetada para um campo específico, limitando sua aplicação a contextos determinados.

Outra constatação foi a maneira no qual as arquiteturas são desenvolvidas. Não há uma forma singular de criar uma arquitetura, a depender de vários fatores, e decisão do próprio criador, do propósito e de quais tecnologias serão empregadas. Alguns componentes foram encontrados em vários trabalhos, como é o caso dos componentes de gerenciamento de perfil do usuário e componente de avaliação do desempenho do usuário, o que faz sentido dentro do escopo de jogos sérios, que de alguma maneira o desempenho precisa ser mensurado para validar o aprendizado.

Dentre os trabalhos selecionados, apenas dois (2) dos dez (10) (trabalhos S2 e S3), não implementaram suas arquiteturas, as demais implementaram e com uma variedade de dispositivos e tecnologias.

Notou-se uma ampla variedade de dispositivos e tecnologias abordados nos estudos, porém há uma notável escassez de pesquisas voltadas especificamente para dispositivos móveis. Dos oito trabalhos analisados, somente dois (S1 e S10) são aplicáveis em tais dispositivos móveis. Dentre estes, apenas o trabalho S10 explora efetivamente os sensores presentes nos aparelhos móveis. Esta lacuna sinaliza uma área de pesquisa científica rica para investigação, especialmente considerando a popularidade dos dispositivos móveis.

Apenas 60% dos estudos demonstraram preocupação em tornar suas arquiteturas flexíveis. Isso significa que somente uma parcela dos trabalhos deixou evidente a capacidade de expansão e reutilização de suas arquiteturas em campos de conhecimento semelhantes ou distintos

Por fim, por meio deste estudo foi possível destacar o grande e promissor campo quando o assunto é o desenvolvimento de arquiteturas para jogos sérios, e especificamente quando desenvolvidos para dispositivos móveis, que atualmente são dispositivos populares e acessíveis.

Desta maneira, pode-se desenvolver e explorar campos antes não explorados, como é o caso dos trabalhos S2 e S10 que utilizam em suas arquiteturas tecnologia de realidade aumentada, que vem se tornando popular com o avanço das tecnologias e redução nos preços de dispositivos móveis (VAHLICK; VIEIRA, 2022).

### 3.3 Mapeamento sistemático sobre Jogos Sérios que abordam a coordenação motora fina

Para compreender sobre o panorama do desenvolvimento de jogos sérios em dispositivos móveis com aplicação na coordenação motora fina foi elaborado um mapeamento sistemático. As subseções a seguir apresentam a aplicação das etapas da metodologia da pesquisa utilizada.

#### 3.3.1 *Planejamento*

O objetivo definido foi identificar na literatura trabalhos que abordem atividades que estimulem a coordenação motora do jogador em jogos para dispositivos móveis e verificar quais abordam a motricidade fina e suas características.

#### 3.3.2 *Execução*

A busca dos estudos primários foi executada em cinco bibliotecas digitais, sendo elas: ACM, Scopus, IEEE, SciELO e *Google Scholar*. Tais bases de dados são relevantes e utilizadas no campo da Ciência da Computação. Para a pesquisa na base *Google Scholar*, o critério de busca foi definido para separar os artigos resultantes das dez primeiras páginas, pois notou-se que a partir disso os resultados perderam a relevância.

As palavras-chave definidas em discussões prévias entre os envolvidos na revisão (o autor deste trabalho juntamente com uma professora na área de engenharia de software, um professor da área de desenvolvimento de jogos e dois alunos mestrando em Ciência da Computação) foram definidas em: *Fine motor coordination, Game, Serious games* e *Systematic mapping*. Os termos de buscas debatidos resultaram na seguinte *string* de busca: TITLE-ABS-KEY ("fine motor") AND TITLE-ABS-KEY (gam\*).

Foram identificados trabalhos relacionados ao objetivo desta pesquisa no período de 2010 a 2022. O período foi definido com o intuito de contemplar as tecnologias atuais disponíveis e emergentes relacionadas a detecção de movimento, que passou a ganhar notoriedade após o marco do lançamento do primeiro *Apple Iphone*, em 2007 (ROSA, 2020). Logo em seguida, no ano de 2008 foi lançado o primeiro dispositivo móvel com o sistema operacional da concorrente *Google*, chamado de Android, no dispositivo HTC Dream (WILSON, 2008).

Os pesquisadores que realizaram o mapeamento foram os avaliadores dos trabalhos primários coletados. Foram definidos os critérios de inclusão e exclusão, sendo os critérios de inclusão:

- Artigos com relevância ao assunto abordado;
- Artigos escritos a partir de 2010.

Os critérios de exclusão estão listados a seguir:

- Artigos duplicados;
- Artigos com título e resumo fora do assunto abordado;
- Artigos que não abordam jogos eletrônicos.

Os artigos primários selecionados devem responder as seguintes questões de pesquisa:

- Q1. Quais atividades/assunto, ambiente de execução (computador, dispositivos móveis, entre outros), público-alvo são contemplados nos jogos que abordam coordenação motora fina?
- Q2. Quais são as ferramentas/tecnologias empregadas e como elas se relacionam com a coordenação motora fina?
- Q3. Existem métodos de coordenação motora fina implementados nestes jogos? Quais são eles? Como estes métodos avaliam a coordenação motora fina do jogador?
- Q4. Existem jogos que aplicam algum tipo de algoritmos de inteligência artificial para auxiliar no estímulo da coordenação motora fina do jogador?

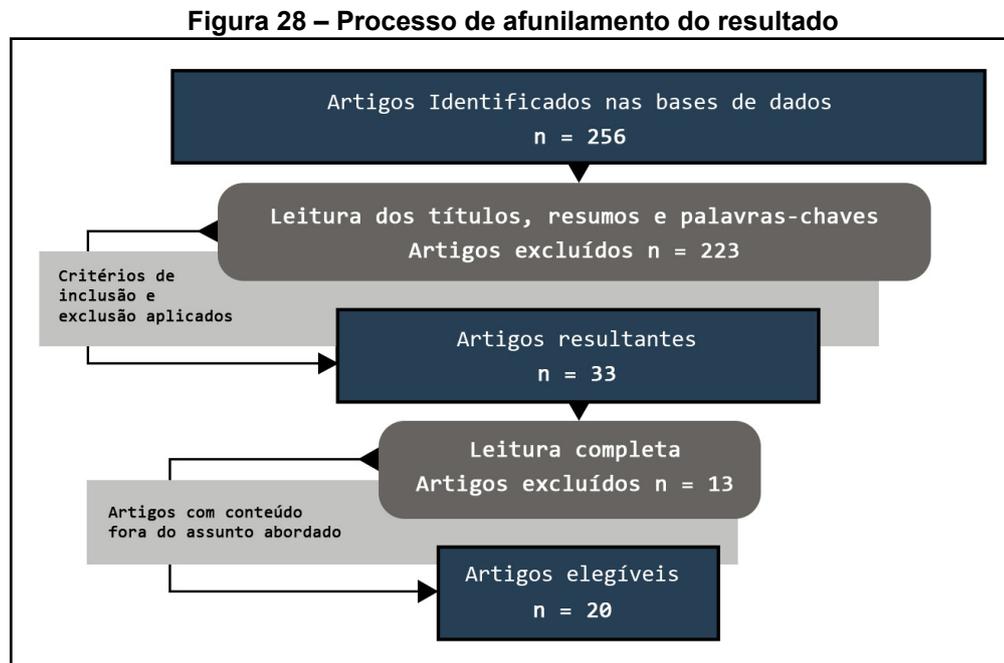
A Tabela 2 apresenta o resultado preliminar por base de dados da busca para a *string* de pesquisa.

<b>Repositórios</b>	
ACM	14
Scopus	181
IEEE	15
SciELO	3
Google Scholar	43
Total	256

**Fonte: A autoria própria (2022).**

A partir dos resultados da busca, um procedimento de seleção foi executado usando os critérios de inclusão e exclusão para afinamento dos artigos. Ao todo, ao final do procedimento de seleção, aproximadamente 92,19% dos estudos incluídos

foram eliminados pelos critérios de exclusão. A Figura 28 apresenta o resultado do processo de afunilamento dos estudos.



Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.3.3 Análise dos resultados

Os resultados apresentados nesta seção correspondem as informações retiradas dos 20 estudos primários que foram selecionados obedecendo os critérios de inclusão. O Quadro 6 apresenta os artigos elegíveis neste estudo que estão representados pela sua referência (ID).

**Quadro 6 – Artigos elegíveis**

<b>ID</b>	<b>Título</b>	<b>Autor / Ano</b>
S1	<i>Jecripe: stimulating cognitive abilities of children with down syndrome in pre-scholar age using a game approach</i>	Brandão, A., et al. (2010)
S2	<i>Effect of fine-motor-skill activities on surgical simulator performance</i>	Chung, A. T., et al. (2017)
S3	<i>Gesture-based video games to support fine-motor coordination skills of children with autism</i>	Ruiz-Rodriguez, A., et al. (2019).
S4	<i>A Rhythm-Based Serious Game for Fine Motor Rehabilitation Using Leap Motion</i>	Shah, V., et al. (2019).
S5	<i>Development of an arcade controller for children with intellectual disabilities to improve fine motor skills through video games</i>	Merchán-García, D. A. et al., (2020).
S6	<i>C-Hg: A Collaborative Haptic-Gripper Fine Motor Skill Training System for Children with Autism Spectrum Disorder</i>	Zhao, H., et al. (2021).
S7	<i>An Interactive System for Fine Motor Rehabilitation</i>	Posada-Gómez, R., et al. (2016)
S8	<i>Stroke Patient Rehabilitation: A Pilot Study of an Android-Based Game</i>	Carabeo, C. G. G. et al. (2014).
S9	<i>A case study of gesture-based games in enhancing the fine motor skills and recognition of children with autism</i>	Cai, Su et al. (2018).
S10	<i>PinchFun: A Cooperative Fine Motor Training Game for Preschool Children with Developmental Delay</i>	Wang, I. F., et al. (2016).
S11	<i>A Series of leap motion-based matching games for enhancing the fine motor skills of children with autism</i>	Zhu, G., et al. (2015).
S12	<i>Serious games for Parkinson's disease fine motor skills rehabilitation using natural interfaces</i>	Foletto, A. A., et al. (2018).
S13	<i>Design of a Haptic Virtual System for Improving Fine Motor Skills in Children with Autism</i>	Zhao, H. et al. (2017).
S14	<i>A gamified approach for hand rehabilitation device</i>	Carneiro, F., et al. (2018).
S15	<i>Serious game to improve fine motor skills using Leap Motion</i>	Hidalgo, J. C. C., et al. (2018).
S16	<i>Immersive Virtual System Based on Games for Children's Fine Motor Rehabilitation</i>	Pruna, E., et al. (2018).
S17	<i>Motion-Based Serious Games for Hand Assistive Rehabilitation</i>	Afyouni, I. et al. (2017).
S18	<i>Interactive Training Chopsticks to Improve Fine Motor Skills</i>	Chia, F. Y., & Saakes, D. (2014).
S19	<i>Leap motion-controlled video game-based therapy for upper limb rehabilitation in patients with Parkinson's disease: a feasibility study</i>	Fernández-González, P., et al. (2019).
S20	<i>Virtual Rehabilitation System for Fine Motor Skills Using a Functional Hand Orthosis</i>	León, M. A., et al. (2018).

**Fonte: Aatoria própria (2022).**

A partir dos estudos selecionados, são apresentadas as respostas para cada questão de pesquisa.

### 3.3.3.1 Q1 - Quais atividades/assunto, ambiente de execução, público-alvo são contemplados nos jogos que abordam coordenação motora fina?

Há um senso comum quando se busca na literatura jogos sérios e motricidade fina. Todos os estudos selecionados têm como assunto central o desenvolvimento e a reabilitação das funções motoras. Alguns contemplam requisitos adicionais, como é o caso do artigo S2, que estimula o desenvolvimento cognitivo, o S4 que apresenta

uma abordagem levando em consideração cinco etapas: Empatizar, definir, idear, prototipar e testar e os artigos S7 e S11 estimulam as habilidades sociais por meio da cooperação.

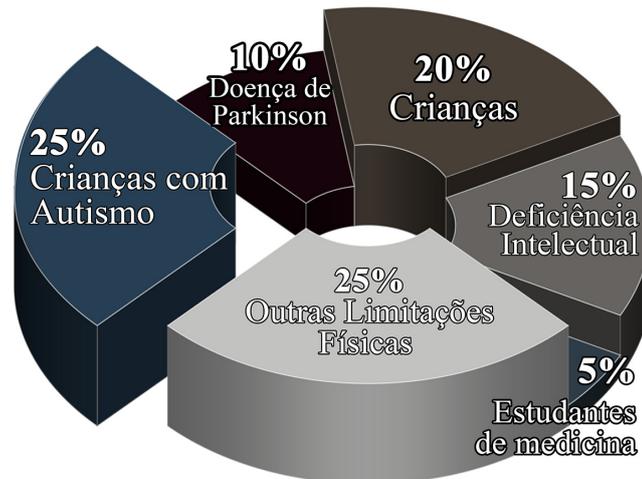
Em relação aos tipos dos jogos, não há uma padronização, tão pouco um estilo de jogo ideal. No trabalho S1, por exemplo, foi desenvolvido uma série de mini games, onde o jogador imita a dança e clica com o mouse em lugares específicos para ativar a música. Já o trabalho S7 desenvolveu um jogo de realidade aumentada e virtual no qual o usuário precisa replicar o desenho apresentado por meio de gestos utilizando um dispositivo que detecta o movimento realizado.

Considerando os estudos selecionados, a maioria não especificara para qual plataforma foram desenvolvidos, sendo eles: S3; S5; S6; S7; S10; S12; S16; S17; S18; S19. Os estudos S4; S11; S13; S14; S15 e S20 foram desenvolvidos para utilização computadores com o sistema operacional Windows e apenas um estudo S8 foi desenvolvido para o sistema Android e o estudo S2 foi criado para um sistema embarcado próprio.

Nota-se uma preocupação dos trabalhos em desenvolver jogos sérios para crianças com autismo conforme relatam os estudos S3; S6; S9; S11; S13 e para pessoas com algum tipo de limitação física S4; S7; S8; S14; S20, incluindo pessoas que sofreram AVC (Acidente Vascular Cerebral) que em geral necessitam de reabilitação motora.

Além desses, outros públicos também foram identificados nos estudos: os que possuem a doença de Parkinson S12; S19, pessoas com deficiência intelectual S1; S5; S17 e crianças entre 3 e 14 anos S10; S15; S17; S18. Em apenas um estudo, S2, o jogo contemplou estudantes de curso superior, especificamente alunos de medicina, como forma de aprimorar a motricidade fina em simulação de cirurgias de cataratas. O Gráfico 3 ilustra o público-alvo identificados na pesquisa.

Gráfico 3 – Público-Alvo identificado



Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.3.3.2 Q2 - Quais são as ferramentas / tecnologias empregadas e como elas se relacionam com coordenação motora fina?

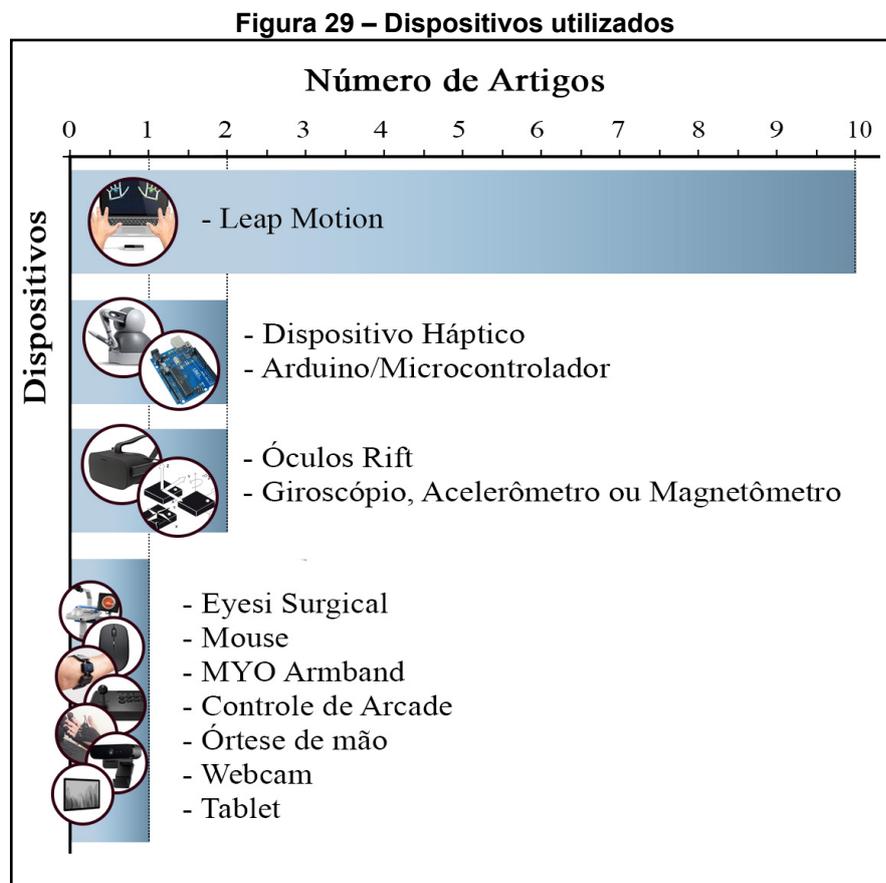
O dispositivo mais utilizado nos estudos selecionados neste mapeamento é o *Leap motion*, que consiste em um pequeno dispositivo com um sensor capaz de captar os movimentos dos dedos das mãos dos usuários (TECHTUDO, 2014). Trata-se de um dispositivo popular para trabalhar com a coordenação motora fina, comprovado pelo percentual de utilização, que corresponde a 50% dos estudos selecionados: S3; S4; S9; S10; S11; S12; S15; S16; S17; S19.

Outras tecnologias detectadas nesta revisão são:

- mouse, relacionado com os movimentos de selecionar, clicar e arrastar (S1);
- um dispositivo próprio que simula uma cirurgia de cataratas, semelhante a um dispositivo háptico (S2);
- dispositivo háptico e/ou sensores que medem a pressão aplicada (S6; S13; S14);
- controle de arcade contendo seis botões e um *stick* (S5);
- caneta que emite luz e webcam para detecção dos movimentos (S7); *tablet* (S8);
- sensores do tipo giroscópio, acelerômetro ou magnetômetro (S14; S18), e por fim,
- utilização de uma braçadeira *MYO Armband*, que faz a leitura da atividade elétrica dos músculos e o movimento de seu braço

combinado com uma órtese de mão funcional para detectar os movimentos dos dedos (S20).

Além destes dispositivos primários, outros dispositivos foram utilizados em alguns estudos para complementar a captação das informações, como é o caso dos estudos primários S10; S13; S18 que utilizaram o dispositivo Arduino ou outro microcontrolador similar e os artigos S16; S20 que utilizaram óculos de realidade aumentada *Rift*. A Figura 29 apresenta os dispositivos utilizados nos estudos selecionados para análise.



Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.3.3.3 Q3 - Existem métodos de coordenação motora fina implementados nestes jogos? Quais são eles? Como estes métodos avaliam a coordenação motora fina do jogador?

Os estudos selecionados S1; S2; S7; S10; S11; S12; S13; S14; S15 e S18 não possuem uma metodologia definida de avaliação, consideram os acertos ou erros de movimentos. Por exemplo, mover um objeto para um local correto, o jogador recebe um *feedback* (S2), aplicação de questionário sobre a eficiência do jogo (S11; S12; S14), questionário sobre o jogo e a preferência dos jogadores por gênero e faixa etária (S15). O estudo S13 não foi realizado para demonstrar a melhora nas habilidades

motoras, mas para observar como os usuários se sentiam interagindo com o sistema e documentar suas performances. O S18 considerou a criação de um protótipo para treinar movimentos e aplicação futura de um questionário.

Os trabalhos S3 e S4 utilizaram um método que avalia o desenvolvimento motor fino por meio de repetição e acertos ou erros dos movimentos, sendo o usuário bonificado com reforços positivos e estrelas (S4). O estudo S5 avalia o nível de habilidade motora fina, contendo 3 etapas:

- i) Gerenciamento da Sessão contendo os perfis dos participantes e os intervalos de sessões,
- ii) Exercícios de coordenação com os olhos e as mãos e apresentação de simulação visual com o vídeo game, por fim,
- iii) Análise dos resultados com a aplicação de testes de coordenação motora fina por meio da reportagem de informações obtidas da sessão.

Em S6 a metodologia abrange uma avaliação pré-teste; 3 (três) sessões de treinamento e um pós-teste. No pré e no pós-teste consistiam em uma mistura de tarefas virtuais e reais. Para medir o desempenho motor fino em tarefas do mundo real foi usado um subteste chamado de *Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration (VMI Motor Coordination Test)*. As tarefas virtuais são avaliadas de formas individuais com base no movimento da mão e qualidade do controle de pressão. Ao final o usuário responde um questionário elaborado utilizando a escala Likert (NEMOTO; BEGLAR, 2014) de cinco (5) pontos incluindo nove (9) questões.

O estudo S8 aplicou uma metodologia que utiliza métricas para avaliar o desempenho do jogador, considerando a precisão do movimento e tempo gasto com o objetivo de determinar se a destreza dos movimentos finos dos pacientes realmente melhorou.

O trabalho S9 desenvolveu um método para buscar informações na literatura para o *design* do jogo, definição do público-alvo, medições incluindo habilidades motoras finas e uma escala de reconhecimento com crianças com Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) (APA, 2014) por meio da observação e análise da evolução durante o período que o usuário foi exposto ao jogo.

Em S16; S17 e S19 utilizaram uma metodologia utilizando o *Leap Motion* para captação de dados. Desses estudos, o trabalho S16 faz uma avaliação da usabilidade

de sistemas virtuais para determinar a aceitação do usuário relacionado a facilidade de uso, segurança, sensação, inconveniências etc.

O trabalho S17 utiliza métricas fornecidas pelo dispositivo para cálculo do ângulo de movimentação das mãos. Já no trabalho S19 foi realizada uma amostragem não probabilística de casos não consecutivos considerando dois grupos: um grupo experimental recebeu tratamento com base em jogos sérios projetados pela equipe de pesquisa usando o sistema *Leap Motion* para membros superiores e o outro grupo um controle que recebeu uma intervenção específica para membros superiores. Força muscular de preensão, coordenação, velocidade de movimentos, destreza fina e grossa, bem como satisfação e conformidade, foram avaliadas em ambos os grupos pré-tratamento e pós-tratamento.

Por fim, o estudo S20, abrangeu uma formulação de movimentos a serem utilizados como forma de interação nos jogos e baseou-se no teste de Finkelstein (1930). Durante o jogo os movimentos são solicitados para execução de alguma tarefa, e o usuário recebe *feedback* em tempo real se está ou não executando o movimento certo. O Quadro 7 apresenta os critérios para a avaliação do desenvolvimento motor fino apresentado nos estudos.

**Quadro 7 – Critérios para a avaliação do desenvolvimento motor**

<b>Estudos</b>	<b>Critérios de avaliação motora fina</b>
S1; S2; S7; S10; S11; S12; S13; S14; S15; S18	Assertividade nos movimentos.
S3; S4	Repetição e acertos/erros dos movimentos
S5	Avaliação em 3 etapas: i) Gerenciamento da Sessão, ii) exercícios de coordenação com os olhos e as mãos, iii) análise dos resultados com a aplicação de testes de coordenação motora fina por meio da reportagem de informações obtidas da sessão.
S6	Avaliação pré-teste, sessão de treinamento e pós-teste, utilizando o teste <i>Beer-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration</i> .
S8	Avaliam a precisão do movimento e tempo.
S9	Observação e análise da evolução durante o período que o usuário foi exposto ao jogo.
S16; S17; S19	Utilizam atributos de desempenho fornecidos <i>Leap Motion</i> , como ângulo de movimentação, por exemplo.
S20	abrangeu uma formulação de movimentos a serem utilizados como forma de interação nos jogos e baseou-se no teste de Finkelstein (1930).

**Fonte: Autoria própria (2022).**

#### 3.3.3.4 Q4 - Existem jogos que aplicam algum tipo de algoritmos de inteligência artificial para auxiliar no estímulo da coordenação motora fina do jogador?

Dentre os estudos selecionados, apenas o estudo S7 utilizou alguma técnica de inteligência artificial. O trabalho em questão utilizou uma abordagem aplicando técnicas de aprendizado de máquina para classificar a mão direita ou esquerda usando um descritor de recurso de histograma de gradientes orientados (HOG) e a classificação baseada em máquina de *Support Vector Machine (SVM)*.

#### 3.3.4 *Discussão*

A Seção 3.3 identificou na literatura o panorama dos jogos sérios que abordam a coordenação motora fina. Com base neste estudo foi possível identificar as características dos jogos encontrados na literatura.

Primeiramente se identificou que há um número maior de trabalhos desenvolvidos para crianças com autismo (25%) e pessoas com limitações físicas (25%) além de jogos desenvolvidos para crianças em fase de desenvolvimento (20%). Existem também jogos para pessoas com deficiência intelectual (15%), como por exemplo, síndrome de *down*. Em uma escala menor, existem trabalhos voltados a pessoas que sofrem da síndrome de Parkinson (10%), e um único trabalho destinado ao desenvolvimento motor fino em estudantes de medicina (5%).

Foram identificados também quais os dispositivos mais utilizados entre os trabalhos. O dispositivo *Leap Motion* foi o mais utilizado (50%) como ferramenta de interação dos usuários com os jogos. Tal dispositivo consiste em um pequeno aparelho com um sensor capaz de captar os movimentos dos dedos das mãos dos usuários (TECHTUDO, 2014). Dispositivos como sensores hápticos e microcontroladores também foram utilizados, porém, em menor escala (10%). Por fim, os dispositivos *Eyesi Surgical*, *Mouse*, *MYO Armband*, Controle de Arcade, Órtese de mão, *Webcam* e *Tablet* foram utilizados em um único trabalho cada, totalizando 40% dos estudos.

Os trabalhos não especificaram para qual plataforma o jogo foi desenvolvido, mas considerando os dispositivos utilizados e imagens dos jogos, infere-se terem sido desenvolvidos para computador *desktop*, principalmente com sistema operacional Microsoft Windows. Apenas o trabalho S8 fez uso de dispositivos móveis.

Outro ponto constatado foi a ausência metodológica para avaliação motora, com exceção do trabalho S6 que utilizou o método de avaliação *Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration (VMI Motor Coordination Test)*, os demais usaram a acurácia do jogador durante o jogo como métrica de desempenho.

A utilização de técnicas de inteligência artificial também é pouco explorada quando o assunto são jogos sérios, sendo utilizada apenas no trabalho S7 para classificar os movimentos da mão direita ou esquerda. Técnicas de inteligência artificial pode ser uma estratégia interessante para classificação de grupos de usuários e aplicação de mecanismo de adaptabilidade. Sendo assim, algoritmos de classificação para estudos e ajustes dinâmico de dificuldade pode tornar os jogos mais inclusivos.

O estudo atual evidencia uma significativa lacuna no desenvolvimento de jogos sérios que se concentram na coordenação motora fina por meio de dispositivos móveis. Esta descoberta aponta para uma oportunidade de pesquisas futuras, assim como a criação de metodologias de avaliação e *frameworks* voltados especificamente para esse objetivo.

Dados da *Global System for Mobile Communications Association (GSMA, 2021)* destacam que, ao final de 2020, cerca de 5,2 bilhões de pessoas estavam vinculadas a serviços móveis, o que representa 67% da população mundial. Esse número indica não só a popularidade dos dispositivos móveis, mas também o seu potencial como ferramenta versátil para a avaliação e possivelmente a reabilitação da motricidade fina e aplicações em outras áreas de estudo.

Os recursos tecnológicos inerentes a esses dispositivos, como acelerômetro, giroscópio, magnetômetro e tela sensível ao toque, os estabelecem como uma unidade de referência inercial (URI) (ANTONIO *et al.*, 2020). Tais tecnologias são importantes na reabilitação da motricidade fina, permitindo avaliações precisas sobre equilíbrio, tremores, direção e inclinação. Somado a isso, o *touchscreen* viabiliza a análise de gestos como tocar, segurar, arrastar, pinçar e rotacionar, ampliando o escopo de avaliação.

### **3.4 Considerações finais do capítulo**

Neste capítulo foi apresentado o estado da arte dos trabalhos relacionados ao tema desta pesquisa usando dois mapeamentos sistemáticos.

O primeiro mapeamento traz arquiteturas de desenvolvimento de jogos sérios e o segundo aborda sobre jogos que contemplam sobre coordenação motora fina. Uma observação importante foi a notável carência de estudos e estratégias direcionados para a elaboração de arquiteturas flexíveis que focalizam a avaliação dos movimentos finos das mãos em dispositivos móveis.

Diante deste cenário, este trabalho explorou esta carência e criou uma arquitetura de jogos sérios para dispositivos móveis que explora a avaliação da motricidade fina das mãos, descrita no próximo capítulo.

O próximo capítulo apresenta a arquitetura desenvolvida para criação de jogos sérios para avaliação dos movimentos finos das mãos.

## **4 ARQUITETURA DE JOGO SÉRIO PARA AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS FINOS DAS MÃOS**

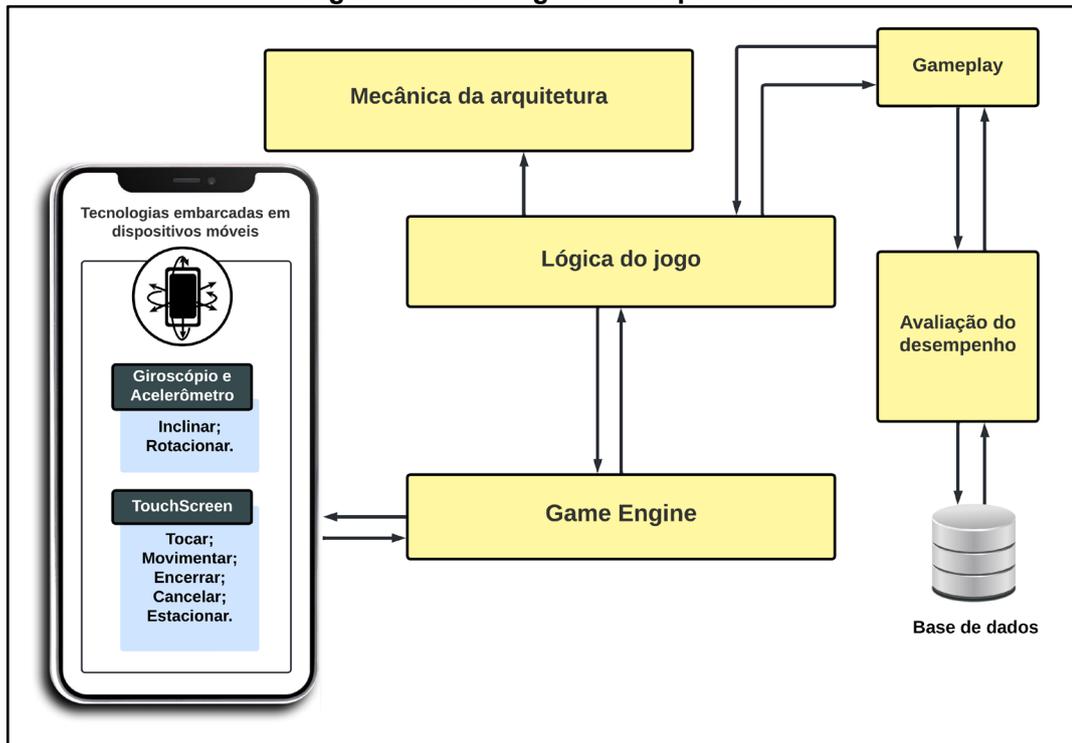
Este Capítulo tem por finalidade apresentar uma arquitetura de desenvolvimento de jogos sérios para dispositivos móveis com a finalidade de avaliar os movimentos finos das mãos. A Seção 4.1 apresenta uma visão geral da arquitetura proposta e seu funcionamento. A Seção 4.2 descreve como foi utilizada a Lei de Fitts na mecânica da arquitetura. A Seção 4.3 descreve como foi usada a Lei de Hick no componente da mecânica da arquitetura. A Seção 4.4 apresenta o protocolo Prot1 criado para utilização dos sensores de movimento como componente da mecânica da arquitetura. A Seção 4.5 apresenta o protocolo Prot2 criado para utilização do toque na tela como componente da mecânica da arquitetura. A Seção 4.6 descreve como foi feita a avaliação dos movimentos finos das mãos da arquitetura. Por fim, a Seção 4.7 apresenta as considerações finais do capítulo

### **4.1 Visão geral**

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver uma arquitetura para o desenvolvimento de jogos sérios em dispositivos móveis para avaliação motricidade fina das mãos.

Em essência, esta arquitetura capitaliza o uso de sensores integrados em grande parte dos dispositivos modernos, como o giroscópio e o acelerômetro, aliados à funcionalidade da tela sensível ao toque. Essas tecnologias estão presentes na grande maioria dos dispositivos móveis atuais. A arquitetura proposta é exibida na Figura 30.

Figura 30 – Visão geral da arquitetura



Fonte: Autoria própria (2023).

A arquitetura estrutural contém múltiplos componentes, os quais podem ser adaptados conforme as exigências específicas da aplicação em questão. A tecnologia fundamental é o dispositivo móvel, que fornece os dados associados à precisão do movimento fino das mãos por meio dos seus sensores de movimento e a interação com o toque na tela. No entanto, é possível que essa tecnologia seja modificada, à medida que novas tecnologias de características comparáveis emergem. A arquitetura é composta pelos seguintes componentes:

- **Mecânica da arquitetura:** Esse é o elemento central do presente estudo. Trata-se do componente onde as metodologias para análise e mensuração dos movimentos e toque na tela encontram-se. As metodologias são fundamentadas em leis formais como a Lei de Fitts, Lei de Hick, e/ou outras métricas convenientes, de acordo com a inclusão de novas formas de interação. Este componente serve como base para o desenvolvimento da lógica do jogo e utiliza os atributos fornecidos pelos sensores e toque na tela dos dispositivos, bem como a forma como esses dados são processados.

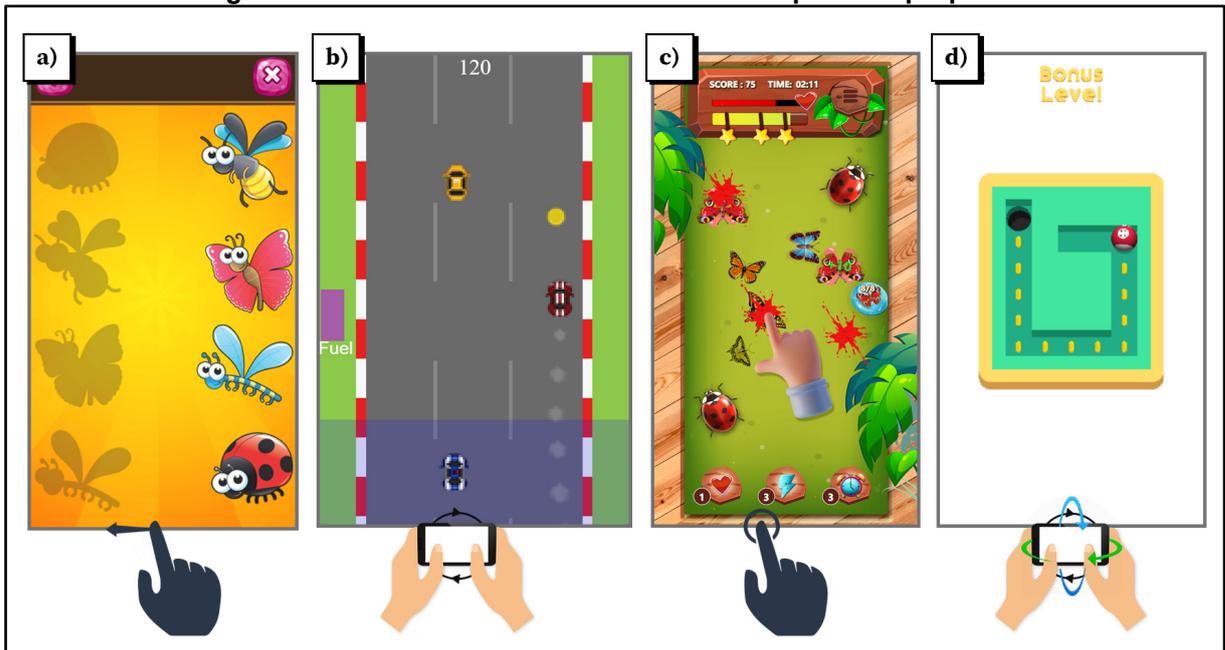
- Lógica do jogo: Esse componente permite que os desenvolvedores implementem suas lógicas de programação e processem os dados gerados pelo componente da mecânica do jogo.
- Base de dados: Este componente é responsável por armazenar os dados de perfis de usuários, seu histórico, desempenho e progresso de utilização do jogo.
- *Game Engine*: Componente que define a *Game Engine* e tecnologias que serão utilizadas para a implementação do jogo.
- *Gameplay*: Componente responsável pela execução do jogo.
- Avaliação do desempenho: Esse componente é responsável por analisar o desempenho do usuário na utilização do jogo e aplicar as medidas, quando necessárias, na *gameplay* do jogador. Isto torna o jogo mais fácil ou mais difícil, ou até, modificando outros elementos em tempo real.

Como pré-requisito é recomendável que o desenvolvedor ao utilizar a arquitetura estipule dois aspectos, que são:

- Público-Alvo: Jogos sérios possuem uma finalidade específica, e a definição do público-alvo é uma etapa essencial. Essa etapa deve responder a seguinte pergunta: Para quem será desenvolvido o jogo?
- Temática: A temática sucede a definição do público-alvo, após identificar em qual escopo o modelo é aplicado, a temática pode corroborar para tratar alguma condição específica deste público, como por exemplo, a higiene pessoal precária, a alimentação, diagnóstico, entre outros.

Existem diversas abordagens de jogos que podem ser implementados utilizando a arquitetura proposta como forma de avaliação de movimentos finos das mãos. Além disso, a arquitetura pode ser utilizada como base de modelo de inteligência para criação de jogos, independentemente de ter o cunho “sério” ou não. Alguns exemplos de jogos que podem ser implementados utilizando a arquitetura são apresentados na Figura 31.

Figura 31 – Flexibilidade das mecânicas da arquitetura proposta



Fonte: Autoria própria (2023).

O jogo *Drag and Drop* (COQUINHO, 2023) (Figura 31a), apresenta um jogo em que o usuário deve selecionar o objeto e arrastar para a posição correta realizando movimentos lineares.

O jogo *Math Speed Racing* (COQUINHO, 2023) (Figura 31b), apresenta um jogo em que o usuário deve conduzir um veículo desviando de outros e coletando moedas utilizando o sensor acelerômetro com movimentos para direita ou esquerda.

O jogo *Bug Bang - Epic Smash* (GOOGLE PLAY, 2022) (Figura 31c), apresenta um jogo em que o usuário deve tocar na tela para eliminar os insetos.

O jogo *Maze Pool* (GOOGLE PLAY, 2022) (Figura 31d), apresenta um jogo em que o usuário deve realizar movimentos de inclinação e rotação para conduzir a bola até o buraco.

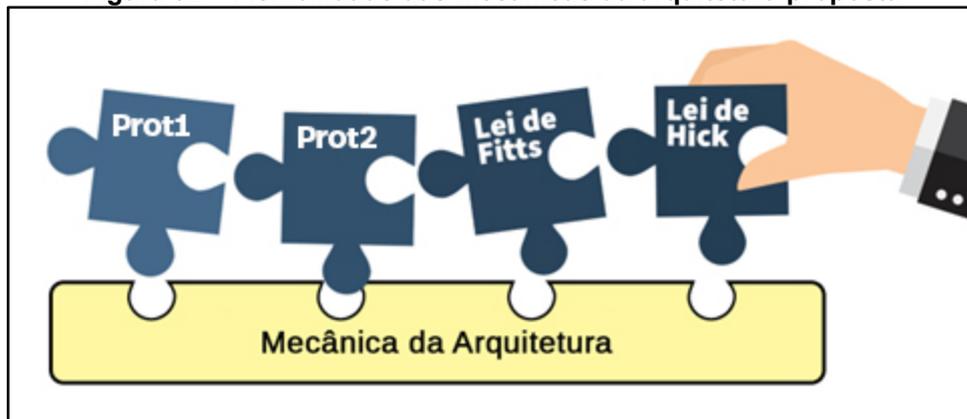
Neste trabalho, a aplicação da arquitetura é embasada em duas leis fundamentais. A primeira refere-se à Lei de Fitts, discutida na Seção 2.3.1, que estabelece a relação entre tempo de movimento, amplitude e precisão do movimento (FITTS, 1954). A segunda é a Lei de Hick, apresentada na Seção 2.3.2, que estima o tempo de reação do usuário ao enfrentar múltiplas opções para uma ação (HICK, 1952).

Neste estudo, foram estabelecidos dois protocolos específicos, Prot1 e Prot2, para o aproveitamento dos sensores de movimento em dispositivos móveis. Os

detalhes destes protocolos serão minuciosamente abordados nas próximas seções. Para a efetiva implementação da arquitetura, a mecânica, ilustrada na Figura 32, fundamenta-se nos seguintes elementos:

1. Lei de Fitts: empregada para avaliar os movimentos lineares efetuados por intermédio do toque na tela;
2. Lei de Hick: aplicada na análise do tempo de reação em distintas atividades;
3. Protocolo autoral Prot1: delineado para a otimização dos sensores de movimento;
4. Protocolo autoral Prot2: focado em atividades que envolvem toques na tela, especificamente nas situações que não demandam movimentação.

**Figura 32 – Flexibilidade das mecânicas da arquitetura proposta**



Fonte: Autoria própria (2023).

Para a utilização dos componentes que integram a mecânica da arquitetura, é imprescindível armazenar atributos específicos que são empregados na lógica do jogo para avaliar o desempenho do usuário. As seções subsequentes detalham o funcionamento da mecânica desta arquitetura.

## 4.2 Aplicação da Lei de Fitts

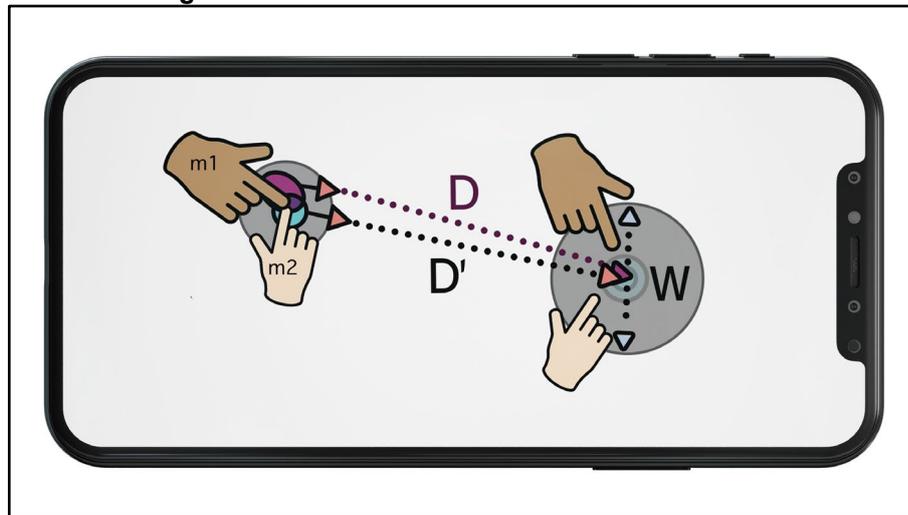
Conforme descrito na Seção 2.2.1, a Lei de Fitts é um modelo que tanto prevê quanto mede o tempo médio que um usuário leva para executar um movimento específico sob um determinado ID. Tal lei é empregada no *design* de interfaces, facilitando a tomada de decisões do usuário.

No entanto, ao tentar aplicar a Lei de Fitts a dispositivos móveis, deparou-se com diversas limitações que podem tornar a lei original menos precisa ou até

ineficiente. Segundo Brito (2021), é essencial reconhecer certas restrições ao empregar essa lei em tais dispositivos. Uma das principais é a ausência de cursores em dispositivos móveis. Essa função é executada pelos dedos, que naturalmente possuem maior espessura e menos precisão.

Para ilustrar um dos desafios na aplicação da Lei de Fitts original em dispositivos móveis, imagine o cenário retratado na Figura 33, onde duas pessoas ( $m1$  e  $m2$ ) executam a mesma tarefa, nas mesmas condições e com o mesmo dispositivo, diferindo apenas no tamanho e na largura de seus dedos.

**Figura 33 – Dificuldades em utilizar a Lei de Fitts**



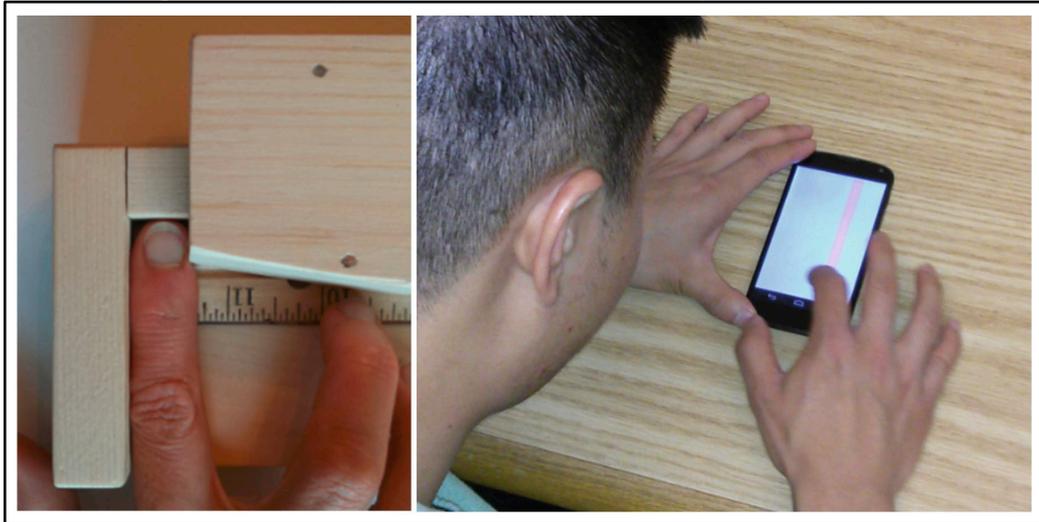
Fonte: Autoria própria (2023).

O indivíduo  $m1$ , com um dedo mais largo e uma angulação menor, gerou uma área de contato (*patch*) maior no momento do toque. Em contrapartida, o  $m2$ , com um dedo mais fino e uma angulação maior, resultou em um *patch* de contato menor. Este contraste influenciou diretamente o resultado do movimento do ponto inicial até o centro do ponto final, em um alvo de largura  $W$ . Essa diferença na execução resultou em aplicações diversas da Lei de Fitts, já que a distância  $D$ , produzida pelo movimento do  $m1$ , foi maior que a distância  $D'$  produzida pelo movimento do  $m2$ .

Na busca por aplicar a Lei de Fitts em dispositivos móveis, alguns estudos sugeriram modificações à lei. O estudo conduzido por Mackenzie (2015) e a pesquisa de Bi, Li, Zhai (2013) empregaram experimentos baseados na Lei de Fitts de maneira supervisionada, com o mesmo dispositivo e exatamente nas mesmas condições para todos os usuários. A amostra escolhida foi composta por indivíduos que usam dispositivos móveis frequentemente e que estão familiarizados com o dispositivo e seus movimentos.

Além disso, o segundo estudo limitou a maneira como os usuários seguram o dispositivo, sendo com a mão dominante e efetuando os movimentos com o dedo indicador dessa mão. Outro aspecto no estudo de Bi, Li, Zhai (2013) foi a utilização da medida física do dedo para relacionar a largura do dedo e o desempenho, conforme apresentado na Figura 34.

**Figura 34 – Adaptação da Lei de Fitts em dispositivos móveis**



**Fonte: Bi, Li, Zhai (2013)**

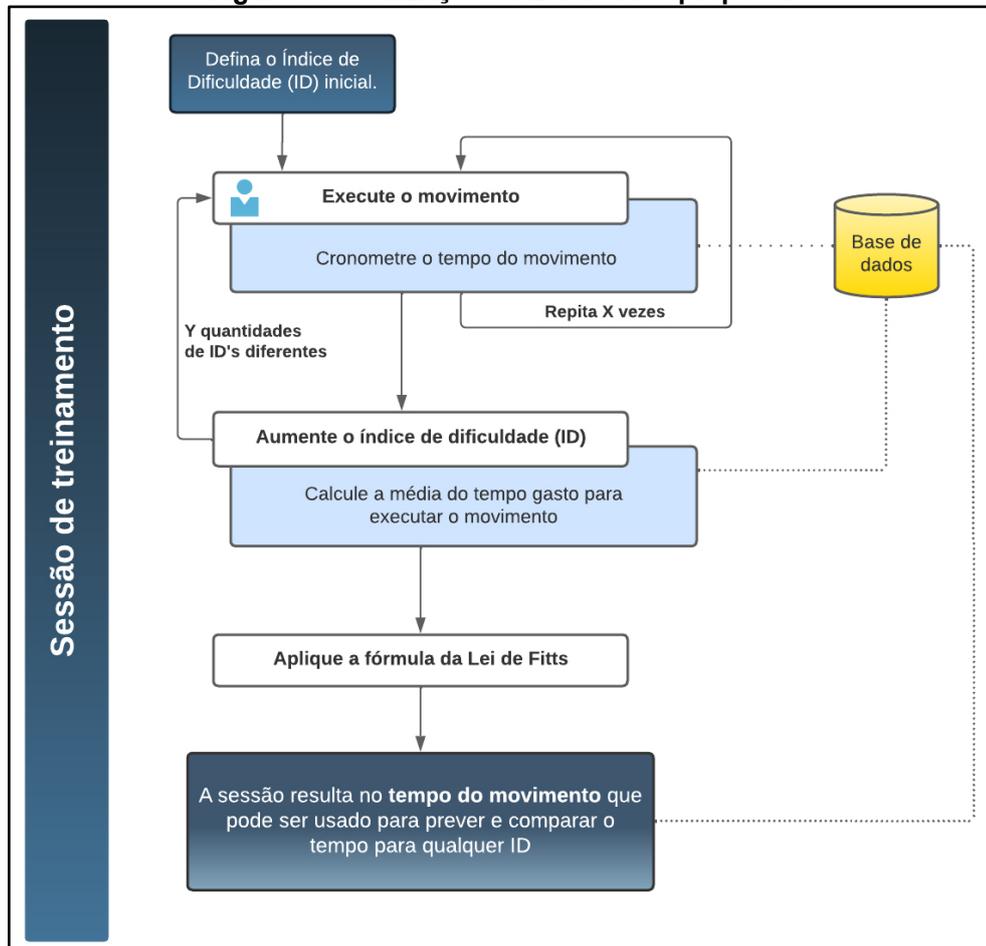
A adoção dessas adaptações mencionadas na aplicação da arquitetura proposta neste trabalho é inviável, uma vez que não se pretende criar ambientes supervisionados. Desta forma, a aplicação não fica restrita, seja devido a dispositivos diferentes, a variações no tamanho dos dedos ou outros aspectos.

Por se tratar de um modelo para a avaliação dos movimentos finos das mãos é provável que os usuários possuam dificuldades próprias e distintas, e naturalmente para contornar uma possível limitação, o usuário buscará formas específicas de interação com o dispositivo. Essas dificuldades requerem que não exista uma forma padronizada na interação, desde que cumpram os objetivos determinados nas atividades.

Dessa forma, a arquitetura desenvolvida utiliza a Lei de Fitts com um foco maior no indivíduo, levando em consideração o seu desempenho e nos seus movimentos. Posteriormente, mediante a realização de análises personalizadas, torna-se possível estabelecer uma correlação entre o rendimento individual de um utilizador e o de outros utilizadores, ou até mesmo dentro de um coletivo específico, como, por exemplo, alunos que partilham a mesma faixa etária, ou o mesmo ano letivo no ensino.

A Figura 35 ilustra, de maneira geral, como se dá a aplicação da Lei de Fitts para prever e avaliar o tempo de movimento (TM) de um indivíduo dentro da arquitetura. Em seguida, o funcionamento das etapas é detalhado.

**Figura 35 – Utilização da Lei de Fitts proposta**



Fonte: Autoria Própria (2023).

Com o propósito de avaliar os movimentos individuais mediante a correlação do tempo do movimento com o ID, é sugerido dividir a execução das atividades em sessões de treinamento, as quais são aplicadas em momentos diferenciados.

Para cada sessão de treinamento, o usuário deve ser submetido a uma variação de índices de dificuldade, cujos resultados constituem o cálculo da Lei de Fitts. O ID inicial deve ser estabelecido pelo desenvolvedor, sendo aconselhável iniciar com um ID reduzido; para tal, as atividades iniciais devem possuir uma relação simplificada entre o tamanho do alvo e a distância.

O usuário inicia sua sessão e executa o movimento e o seu tempo de execução é cronometrado e armazenado pelo software. O ID é repetido uma quantidade de vezes predeterminada pelo desenvolvedor, sendo recomendado um número mínimo suficiente para a análise do desempenho do usuário. Em seguida, a

média do tempo do movimento das execuções bem-sucedidas é calculada e armazenada pelo software.

A próxima etapa é aumentar o ID, e para isso, o desenvolvedor deve determinar quantos ID's o usuário vai executar. É recomendado o uso de pelo menos cinco (5) ID's diferentes, pois desta forma, é possível analisar os movimentos em uma quantidade mínima de níveis de dificuldades. Por fim, nesta etapa são repetidos os processos de execução do movimento, armazenamento dos tempos de execução, cálculo da média para o determinado ID e seus respectivos resultados armazenamentos. O processo se repete para todos os ID's definidos pelo desenvolvedor.

Ao término deste ciclo, obtém-se o tempo médio de movimento do usuário para cada ID aplicado, permitindo a utilização da Lei de Fitts. Para isso, é necessária a adoção de um plano cartesiano  $x,y$  e um gráfico de dispersão, onde se correlaciona o tempo médio de movimento com o índice de dificuldade, sendo que para cada média armazenada, um ponto deve ser inserido no gráfico. Em seguida, uma regressão linear deve ser realizada para encontrar uma reta que relacione esses pontos. Desta forma, a partir da equação da reta encontrada, encontra-se os valores das variáveis "a" e "b" que compõem a fórmula de Fitts, descrita na Seção 2.2.1.

Com os valores destas variáveis é possível calcular a previsão de tempo de movimento para este usuário, encerrando esta sessão de treinamento. Outras sessões de treinamento necessitam ser implementadas, replicando o processo delineado, com o propósito de confrontar o tempo de movimento (TM) produzido em cada sessão e determinar se ocorreu variações no TM do utilizador, podendo futuramente ser utilizadas como métricas para avaliação de uma possível melhora nos movimentos ao executar as sessões de treinamento.

#### 4.2.1 Atributos armazenados para a Lei de Fitts

Para a aplicação da arquitetura e análise de desempenho dos usuários, deve-se armazenar atributos que são utilizados na aplicação da fórmula da Lei de Fitts e atributos para análises detalhadas do desempenho e movimento do usuário.

O Quadro 8 apresenta os atributos que devem ser armazenados e suas finalidades.

**Quadro 8 – Atributos a serem armazenados**

<b>Atributo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Finalidade</b>
Dimensões do objeto	Valor Inteiro ou decimal	Aplicação da Lei de Fitts
Dimensões do alvo	Valor Inteiro ou decimal	Aplicação da Lei de Fitts
Distância do objeto para o alvo	Valor decimal	Aplicação da Lei de Fitts
Coordenadas do toque Inicial	Coordenadas cartesianas (x,y)	Determinação do toque inicial
Tempo de movimento	Medidos em milissegundos ou em segundos.	Aplicação da Lei de Fitts

**Fonte: Autoria própria (2023).**

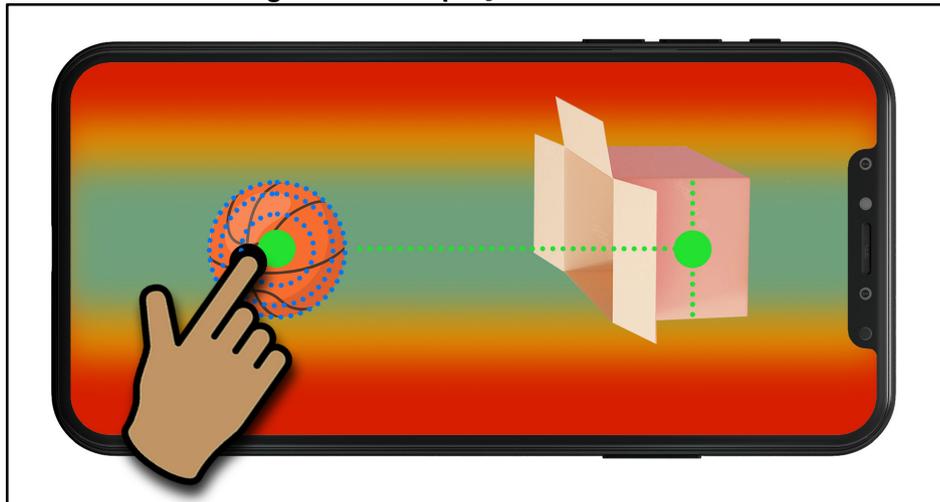
Após estabelecer os atributos essenciais, conforme detalhado anteriormente para aplicação da Lei de Fitts, é relevante salientar que características e atributos adicionais podem ser integradas à avaliação do movimento. Estes incluem, por exemplo, a quantidade de tentativas, a direção do movimento (seja ele horizontal, vertical ou diagonal), o sentido (de direita para esquerda, de cima para baixo e vice-versa) e a posição em cada frame para uma visualização gráfica do trajeto. A adição de quaisquer outros atributos relevantes pode aprimorar a análise.

#### *4.2.2 Regras e restrições para a Lei de Fitts*

Para contornar a imprecisão do toque na tela e a dificuldade em replicar um mesmo movimento no mesmo ponto com exatidão, o ponto inicial deixa de ser o local exato do toque e passa a ser um objeto na tela.

A precisão do toque no ponto inicial é reduzida, pois ao tocar em qualquer região deste objeto, ele é selecionado e o movimento inicia. Isso significa que o usuário deve selecionar um objeto na tela e movimentá-lo até o destino e a Lei de Fitts passa a utilizar as coordenadas do objeto para o cálculo da lei. A Figura 36 exemplifica esse ajuste, onde a bola de basquete é o item que deve ser levado até o destino.

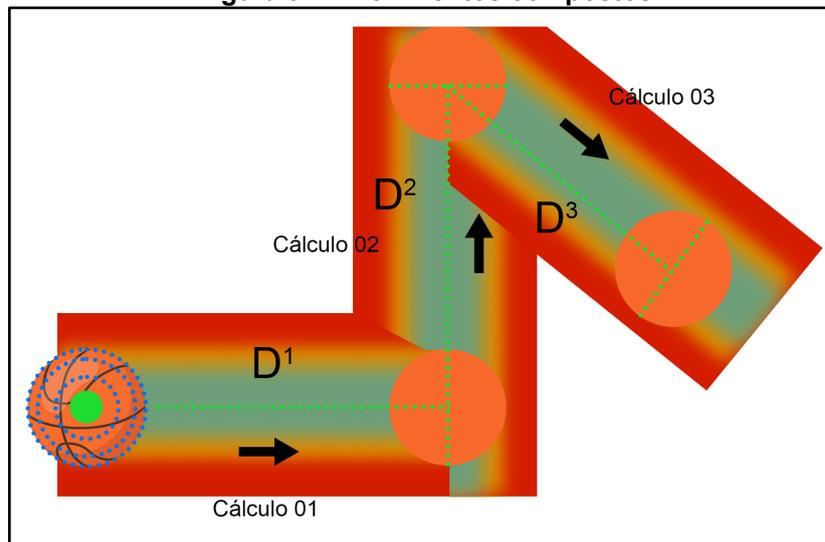
**Figura 36 – Adaptação da Lei de Fitts**



Fonte: Autoria própria (2023).

A Lei de Fitts pode ser aplicada em movimentos lineares, permitindo a implementação de atividades com deslocamentos horizontais, verticais e diagonais. Atividades envolvendo uma série de movimentos em diversas direções e sentidos também podem ser desenvolvidas, com a aplicação do cálculo da Lei para cada movimento. A Figura 37 ilustra a aplicação da Lei de Fitts em diferentes trajetórias.

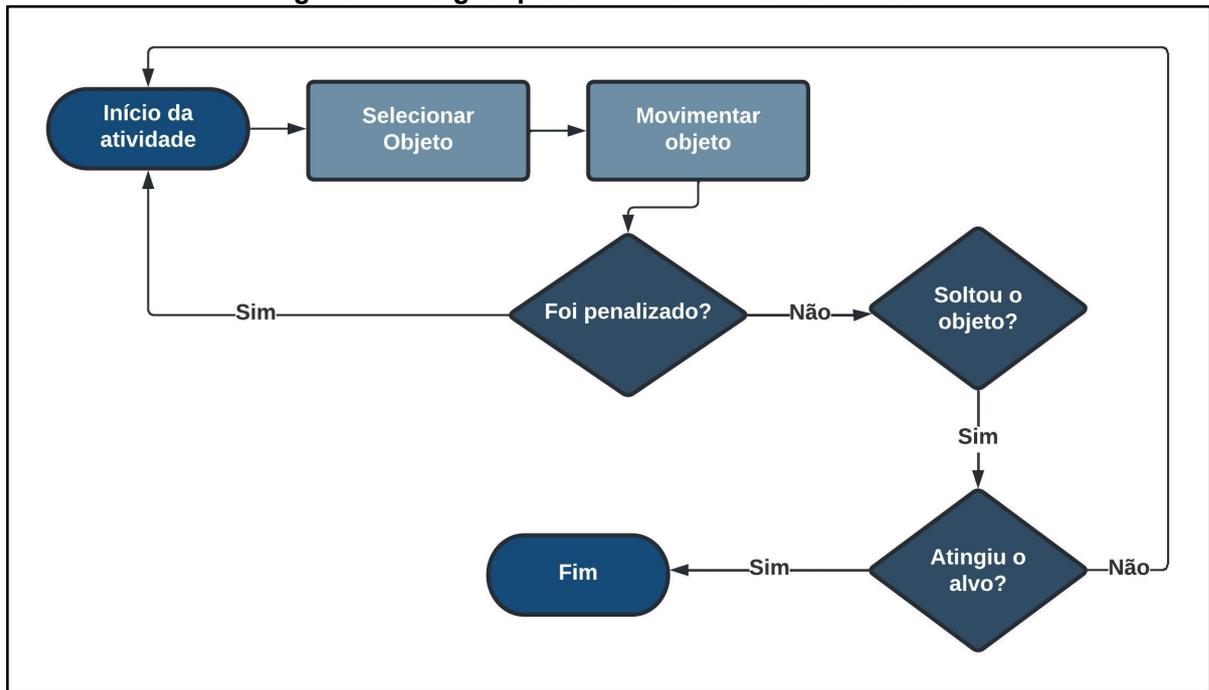
**Figura 37 – Movimentos compostos**



Fonte: Autoria própria (2023).

Conforme discutido na Seção 2.1, estabelecer regras é um passo essencial no desenvolvimento de jogos. Elas definem as ações permitidas aos jogadores para atingir objetivos e as consequências dessas ações. No modelo abordado, a implementação da Lei de Fitts requer que o sistema adote certas regras, retratadas na Figura 38.

**Figura 38 – Regras para atividades com a Lei de Fitts**



Fonte: Autoria própria (2023).

A atividade é iniciada e aguarda o início do movimento por parte do usuário. Os atributos para a utilização da lei são capturados a partir do momento que o usuário seleciona o objeto. Ao selecionar o objeto o usuário pode mantê-lo selecionado, movimentar e soltar. Com isso as regras e penalizações podem ser aplicadas, sendo elas:

- Regra 01: Se o usuário soltar o objeto fora da posição correta o item retorna para sua posição inicial, seu tempo de movimento é descartado, o número de tentativas é incrementado e seu movimento é reiniciado.
- Regra 02: Se o usuário for penalizado. A penalização pode ser implementada com base em algum critério, como por exemplo, o usuário tocar na extremidade da tela com o objeto, ou colidir com algum obstáculo predeterminado. Então, o número de tentativas é incrementado e seu movimento é reiniciado. Ao ser penalizado, o tempo gasto é descartado.
- Regra 03: Após  $n$  repetições de um determinado ID, o usuário passa para uma atividade com ID diferente e mais difícil.

Algumas restrições devem ser observadas quando utilizada a arquitetura. Sendo elas:

- Restrição 01: Deve-se definir uma orientação da tela, sendo paisagem ou retrato, e todas as atividades respeitarem a mesma orientação.
- Restrição 02: O usuário não executa ID's mais complexos enquanto não concluir ID's mais fáceis.

A mecânica deve respeitar um grau de escalabilidade de dificuldade, de maneira que o usuário progrida em seu desenvolvimento. Atividades com movimentos compostos devem ser aplicados quando o usuário estiver apto a executar os ID's que compõem tal atividade composta. Para esse tipo de atividade, além das regras descritas anteriormente, outras devem ser respeitadas:

- Regra 01-b: O movimento deve ser contínuo e percorrer todas as sessões do percurso.
- Regra 02-b: Ao ser penalizado o usuário retoma para o início do movimento, mesmo que tenha concluído alguma sessão do movimento.
- Regra 04: Não é necessário que o usuário solte o item em cada alvo, exceto se for o último elemento alvo. Ao deslizar sobre ele, é registrado como um movimento válido.

As restrições seguem as mesmas para movimentos simples, descritas anteriormente.

Por fim, ao empregar essa arquitetura em conjunto com a Lei de Fitts, é possível determinar o tempo de movimento de um usuário a cada sessão. Esse tempo de movimento pode ser contrastado com sessões subsequentes para avaliar a evolução e consistência do desempenho do usuário em movimentos que envolvem a coordenação motora fina. Eventuais melhorias observadas podem servir como indicativo para investigações mais profundas em estudos futuros, em colaboração com profissionais da área de reabilitação.

A aplicação da Lei de Fitts em contextos interativos e digitais tem mostrado ser uma ferramenta valiosa para avaliar e otimizar tarefas de apontar e selecionar. Para a implementação desta lei é essencial que cada etapa do processo seja cuidadosamente planejada e executada. O Quadro 9 apresenta um roteiro recomendado, desenvolvido para guiar os profissionais na integração da Lei de Fitts às suas atividades, garantindo uma abordagem sistemática e eficaz.

**Quadro 9 – Etapas para a aplicação da Lei de Fitts**

	<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
<b>Planejamento</b>	<b>1</b>	Identifique o objetivo principal da atividade. Certifique-se de que seja adequado para avaliar a aplicação da Lei de Fitts.
	<b>2</b>	Especifique os desafios e a dinâmica do jogo.
	<b>3</b>	Defina uma série de atividades com diferentes índices de dificuldade para o usuário realizar. Certifique-se de variar tanto as distâncias ( <i>D</i> ) quanto as larguras dos alvos ( <i>W</i> ) em cada atividade.
	<b>4</b>	Além dos atributos obrigatórios que compõem a fórmula da Lei de Fitts, planeje outros atributos e métricas de avaliação, como por exemplo a utilização da Lei de Hick.
	<b>5</b>	Defina o método de regressão linear e um protocolo para remoção dos <i>outliers</i> dos dados (se necessário).
<b>Execução</b>	<b>6</b>	Implemente a captação de dados registrando os movimentos e toques, garantindo que ela possa calcular o Índice de Dificuldade (ID) conforme a Lei de Fitts.
	<b>7</b>	Realize testes iniciais para assegurar que a arquitetura esteja capturando os dados corretamente e que o cálculo do ID está preciso.
	<b>8</b>	Conduza a atividade com os participantes, capturando todos os movimentos e toques relevantes.
	<b>9</b>	Avalie os dados coletados em relação às métricas definidas
	<b>10</b>	Identifique padrões e tendências no desempenho dos jogadores

**Fonte: Autoria própria (2023).**

### 4.3 Aplicação da Lei de Hick

Como visto na Seção 2.2.2, a Lei de Hick estima o tempo de reação do usuário diante de diversas opções de ação. Na arquitetura desenvolvida, essa lei serve para aprimorar a avaliação do desempenho do usuário a fim de determinar um tempo de reação adaptado a cada indivíduo.

A Lei de Hick pode ser empregada como um indicativo complementar para compreender possíveis hesitações ou dificuldades do usuário em dar início a uma ação, o que reflete, em certa medida, seu processo cognitivo.

Esta análise da hesitação do usuário pode fornecer *insights* sobre sua capacidade de decisão e compreensão diante das tarefas propostas. Esse entendimento reforça a importância de se adotar a Lei de Hick, assegurando que as atividades estejam alinhadas ao nível cognitivo e decisório de cada jogador.

As subdivisões das sessões de treinamentos seguem a mesma apresentada anteriormente, mas para a utilização da Lei de Hick, alguns detalhes complementares devem ser observados.

Ao iniciar uma determinada atividade o seu tempo de reação, ou seja, o tempo que demora até o usuário tomar a iniciativa e realizar alguma ação dentre as ações disponíveis e suas probabilidades de serem selecionadas (quando houver) é cronometrado e armazenado pelo software.

A cada tentativa é calculado um tempo de reação. Ao final desta atividade é calculado uma média dos tempos de reação. Em seguida, outras atividades, variando a quantidade de ações possíveis e suas probabilidades (quando houver) devem ser aplicadas ao usuário, compondo assim, uma sessão de treinamento.

Assim como na aplicação da Lei de Fitts, sugere-se que o usuário realize ao menos uma variação de 5 (cinco) atividades com quantidade de ações distintas.

Ao final de uma sessão de treinamento, com várias atividades, temos uma coleção de média de tempos de reação, que devem ser aplicadas em um gráfico de dispersão, onde é correlacionado o tempo de reação com a entropia (H), que compõem a fórmula da Lei de Hick. Dessa forma, encontra-se as variáveis “a” e “b” da fórmula. Com os valores destas variáveis é possível calcular a previsão de tempo de reação para este usuário, encerrando esta sessão de treinamento. Outras sessões de treinamento necessitam ser implementadas, replicando o processo delineado, com o propósito de confrontar o tempo de reação (TR) produzido em cada sessão e determinar se ocorreu variações no TR do utilizador, podendo futuramente ser utilizadas como métricas para avaliação de uma possível melhora no processo de tomada de decisão de um determinado usuário.

#### 4.3.1 Atributos armazenados para a Lei de Hick

Para a utilização da arquitetura e análise do tempo de reação, devem ser armazenados os atributos necessários a aplicação da Lei de Hick, sendo o tempo de reação e a quantidade de opções disponíveis e suas probabilidades (quando houver) de serem selecionadas, para o usuário em uma determinada atividade. O Quadro 10 apresenta os atributos necessários e seus tipos.

**Quadro 10 – Atributos a serem armazenados**

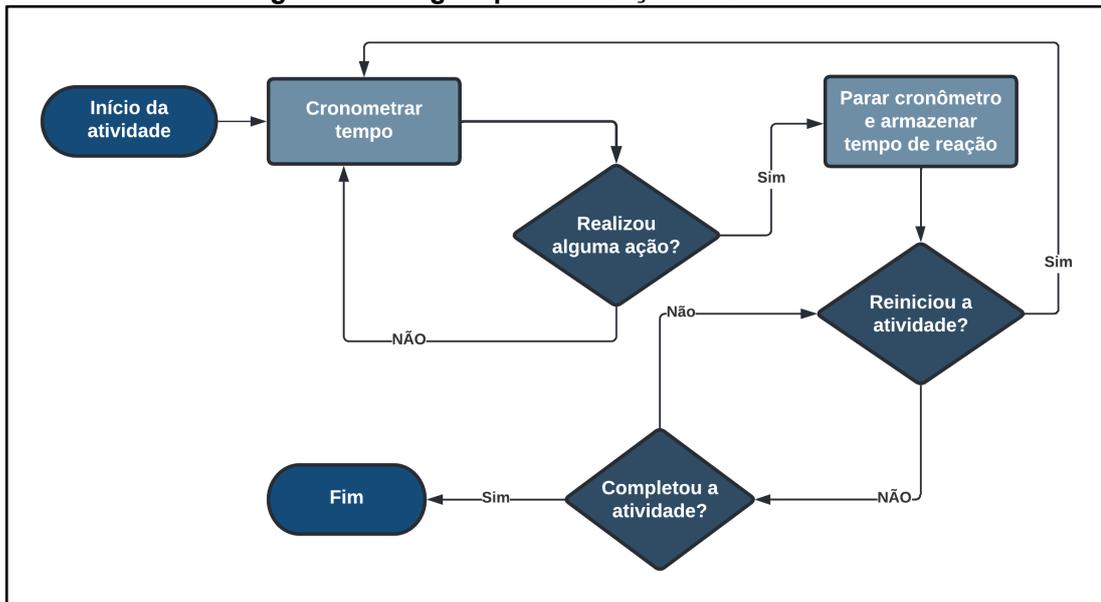
<b>Atributo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Finalidade</b>
Tempo de reação	Valor decimal	Aplicação da Lei de Hick
Quantidade de ações possíveis	Valor Inteiro	Aplicação da Lei de Hick
Probabilidade de tomar cada ação disponível	Valor decimal	Aplicação da Lei de Hick

Fonte: Autoria própria (2023).

#### 4.3.2 Regras e restrições para a Lei de Hick

Para a utilização da Lei de Hick o sistema utilizará algumas regras, ilustradas na Figura 39.

**Figura 39 – Regras para utilização da Lei de Hick**



Fonte: Autoria própria (2023).

A atividade e o cronômetro são iniciados simultaneamente, enquanto o usuário não tomar uma ação, o tempo é contabilizado. Ao realizar alguma ação a gravação do tempo é interrompida e armazenada no software. Em seguida, as regras listadas a seguir devem ser observadas.

- Regra 01: A gravação do tempo de reação deve iniciar juntamente com o início da atividade.
- Regra 02: Se o usuário realizar alguma ação, a gravação do tempo de reação deve ser interrompida.
- Regra 03: Se o usuário for penalizado e sua atividade reiniciada, uma nova contagem de tempo de reação deve ser capturada e armazenada com as demais.

Ao final de uma atividade, o usuário tem uma coleção de tempos de reação para uma determinada atividade. A quantidade de tempos por atividade está relacionada a quantidade de tentativas utilizadas pelo usuário. Com isso, a média do tempo da reação para a atividade pode ser calculada. Além disso, ao final de uma sessão e da aplicação da fórmula da Lei de Hick, se tem um tempo de reação para um determinado usuário. Esse tempo de reação pode ser útil para futuras análises de desempenho do usuário e do grupo em questão quando comparados.

Para a implementação desta lei é essencial que cada etapa do processo seja cuidadosamente planejada e executada. O Quadro 11 apresenta um roteiro

recomendado, desenvolvido para guiar os profissionais na integração da Lei de Fitts às suas atividades, garantindo uma abordagem sistemática e eficaz.

**Quadro 11 – Etapas para a aplicação da Lei de Fitts**

	<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
<b>Planejamento</b>	<b>1</b>	Identifique o objetivo principal da atividade. Certifique-se de que seja adequado para avaliar a aplicação da Lei de Hick.
	<b>2</b>	Especifique os desafios e a dinâmica do jogo.
	<b>3</b>	Defina uma série de atividades com diferentes quantidades de ações e probabilidades possíveis para o usuário tomar uma ação.
	<b>4</b>	Defina o método de regressão linear e um protocolo para remoção dos <i>outliers</i> dos dados (se necessário).
	<b>5</b>	Implemente a captação de dados registrando os movimentos e toques, garantindo que ela possa calcular o Índice de Dificuldade (ID) conforme a Lei de Fitts.
<b>Execução</b>	<b>6</b>	Realize testes iniciais para assegurar que a arquitetura esteja capturando os dados corretamente e que o cálculo do ID está preciso.
	<b>7</b>	Conduza a atividade com os participantes, capturando todos os movimentos e toques relevantes.
	<b>8</b>	Avalie os dados coletados em relação às métricas definidas
	<b>9</b>	Identifique padrões e tendências no desempenho dos jogadores

**Fonte: Autoria própria (2023).**

#### 4.4 Protocolo de movimento Prot1

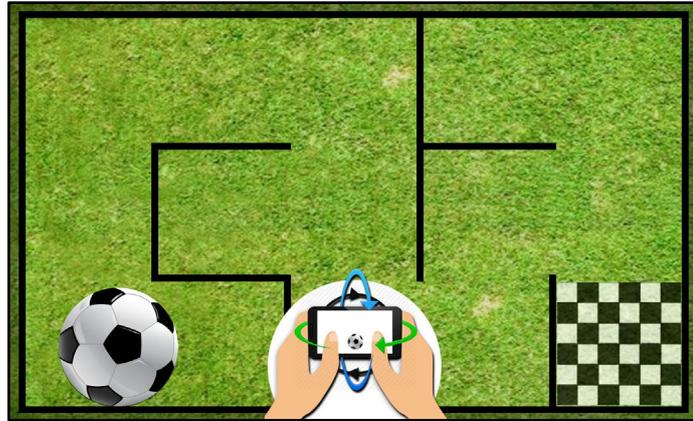
A Lei de Fitts é particularmente aplicável a movimentos lineares, tornando-a inadequada para traçados mais complexos como parábolas. Os sensores de inclinação e rotação em dispositivos móveis geram movimentos que não seguem padrões lineares, o que torna a aplicação da Lei de Fitts menos apropriada nesses contextos. Assim, foi essencial criar um Protocolo de avaliação fundamentado nos sensores de movimentos, denominado Protocolo Prot1. Este protocolo baseia-se em atividades em que o desempenho do usuário é mensurado através dos movimentos executados.

Conforme discutido na Seção 2.2, a coordenação motora fina está associada a movimentos de alta precisão. Uma forma eficaz de aprimorar essa habilidade é expor o indivíduo a ambientes que ofereçam estímulos motores e sensoriais diversificados, indo além do ambiente escolar tradicional (BRITO, 2021). Nesse contexto, os sensores disponíveis em dispositivos móveis tornam-se valiosos, pois incentivam o usuário a executar movimentos de rotação e inclinação para cumprir determinadas tarefas.

A arquitetura proposta incorpora atividades que se beneficiam dos sensores de movimento giroscópio e acelerômetro presentes nos dispositivos móveis atuais. Um exemplo prático de aplicativo que explora esses sensores é o jogo *Kids Mazes*

(GOOGLE PLAY, 2020) (Figura 40). Nele, o jogador utiliza os sensores de movimento para conduzir um objeto do ponto de partida até seu destino.

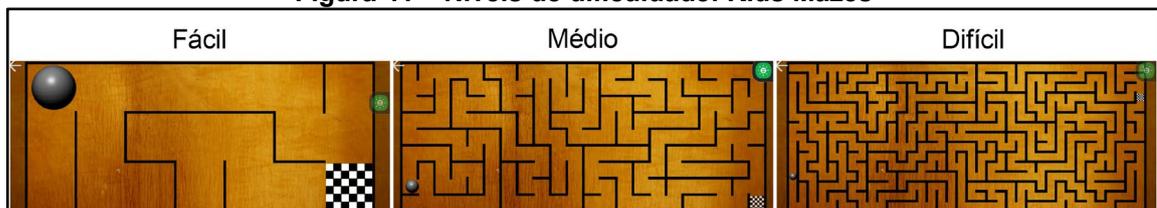
**Figura 40 – Jogo Kids Mazes**



Fonte: Google Play (2020).

No referido jogo, são estabelecidos diversos níveis de dificuldade, permitindo ao usuário ajustá-los conforme desejar e assim experimentar variadas experiências de *gameplay*. A Figura 41 exibe três desses níveis disponíveis.

**Figura 41 – Níveis de dificuldade: Kids Mazes**



Fonte: Google Play Store (2020).

O Protocolo Prot1 emprega os sensores de movimento dos dispositivos móveis em suas atividades, explorando a percepção espacial através dos movimentos de inclinação e rotação. A avaliação baseia-se no grau de precisão, determinado pela acurácia dos movimentos realizados nas atividades.

#### 4.4.1 Atributos armazenados para o Protocolo Prot1

O protocolo de avaliação, elaborado com foco na utilização dos sensores de movimento dos dispositivos móveis, visa capturar de forma eficiente a dinâmica e a precisão dos movimentos do usuário. Nesse contexto, a definição e coleta de atributos específicos tornam-se fundamentais.

Os atributos não só fornecem uma compreensão aprofundada das habilidades motoras do usuário, mas também facilitam a identificação de padrões, potenciais desafios e áreas de melhoria. Além disso, o registro detalhado desses atributos

permite uma análise longitudinal do progresso do usuário, dando subsídios para adaptações e refinamentos no protocolo e nas atividades propostas. O Quadro 12 apresenta alguns atributos elegíveis que compõem este protocolo.

**Quadro 12 – Atributos elegíveis**

<b>Atributo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Finalidade</b>
Coordenadas do objeto no ponto Inicial	Coordenadas cartesianas (x,y)	Determinação do objeto no início
Coordenadas do destino	Coordenadas cartesianas (x,y)	Determinação do destino
Posição do objeto a cada frame	Coordenadas cartesianas (x,y)	Determinação do movimento
Número de penalizações	Valor inteiro	Contabilizar o número de tentativas
Tempo de conclusão da atividade	Valor decimal	Determinar o tempo gasto para realizar o exercício
Distância do percurso	Valor decimal	Determinar o tamanho do percurso
Distância percorrida do percurso	Valor decimal	Determinar o tamanho do movimento executado

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Em comparação com a aplicação da Lei de Fitts descrita anteriormente, este protocolo é caracterizado por ser menos restritivo, permitindo uma avaliação mais flexível e adaptada às peculiaridades dos movimentos detectados pelos sensores de dispositivos móveis. Vale ressaltar que os atributos informados podem ser utilizados de forma parcial, não sendo obrigatória a utilização de todos eles em uma única análise.

O Quadro 13 apresenta as métricas específicas derivadas dos sensores de movimento. Estas métricas são essenciais para compreender e avaliar o desempenho do jogador nos jogos, uma vez que refletem diretamente na qualidade e precisão dos movimentos realizados. Sua análise proporciona *insights* sobre a eficácia das interações do usuário com o dispositivo, tornando-se ferramentas indispensáveis para a avaliação do desempenho dos movimentos.

**Quadro 13 – Métricas elegíveis para os sensores de movimento**

<b>Métricas</b>	<b>Descrição</b>
Velocidade de Aceleração	Mede a rapidez com que o usuário muda sua velocidade durante um movimento.
Velocidade de Rotação	Avalia a velocidade com que o usuário gira o dispositivo em determinada direção.
Precisão de Movimento	Analisa quão próximo o movimento do usuário está do objetivo ou trajeto ideal definido na atividade.
Consistência de Movimento	Avalia a regularidade dos movimentos do usuário ao longo das sessões ou repetições de uma atividade.
Tempo de Resposta	Mede o tempo que o usuário leva para iniciar um movimento após um estímulo ou instrução.
Distância Total Percorrida	Registra a trajetória total feita pelo usuário, podendo indicar desvios ou caminhos não ótimos escolhidos.
Número de Correções	Quantifica quantas vezes o usuário teve que corrigir seu curso ou trajetória para atingir o objetivo.
Força de Aceleração	Mede a intensidade com que o usuário acelera o dispositivo.
<i>Steadiness</i> (Estabilidade)	Avalia a habilidade do usuário em manter um movimento estável sem tremores ou variações indesejadas.
Ritmo de Movimento	Observa se o usuário mantém um ritmo constante ou se há variações significativas durante a atividade.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Tais atributos e métricas apresentadas nos quadros anteriores, nos dão um panorama de quais atividades podem ser desenvolvidas. Uma diversidade de atividades pode se beneficiar da utilização dos sensores de movimentos, e cabe ao desenvolvedor a construção da temática criada em torno destes atributos e métricas.

Compreender e aplicar de forma efetiva o protocolo de avaliação em contextos de jogo não é apenas uma questão técnica, mas também uma estratégia que exige planejamento e visão clara dos objetivos.

Para utilização eficiente deste protocolo nos seus jogos, é essencial seguir um roteiro estruturado. Este guia fornece uma abordagem passo a passo para facilitar a implementação do protocolo, garantindo que tanto os aspectos técnicos quanto os pedagógicos sejam contemplados de maneira harmônica. O Quadro 14 apresenta o roteiro recomendado para a incorporação do protocolo em ambientes de jogo:

**Quadro 14 – Etapas para utilização do Protocolo Prot1**

	<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
<b>Planejamento</b>	<b>1</b>	Identifique o objetivo principal da atividade.
	<b>2</b>	Especifique os desafios e a dinâmica do jogo.
	<b>3</b>	Determine os movimentos chave que os jogadores devem executar.
	<b>4</b>	Além dos atributos obrigatórios que compõem a da Lei de Hick (quando aplicável), defina os atributos que relevantes para a análise dos movimentos que serão coletados na execução do jogo.
	<b>5</b>	Defina a forma de análise e mensuração dos dados.
<b>Execução</b>	<b>6</b>	Implemente a captação de dados dos sensores de movimento no jogo.
	<b>7</b>	Garanta que os dados coletados são precisos e consistentes.
	<b>8</b>	Adapte o protocolo ao fluxo e design do jogo.
	<b>9</b>	Realize testes iniciais para garantir que o protocolo está funcionando como esperado. Ajuste conforme necessário.
	<b>10</b>	Colete dados em tempo real enquanto os jogadores estão engajados no jogo e armazene esses dados de forma segura e estruturada para análise posterior.
	<b>11</b>	Avalie os dados coletados em relação às métricas definidas
	<b>12</b>	Identifique padrões e tendências no desempenho dos jogadores

**Fonte: Autoria própria (2023).**

#### 4.4.2 Regras e restrições para o Protocolo Prot1

As seguintes regras e restrições devem ser observadas quando utilizada atividades com detecção de movimento.

- Regra 01: O desenvolvedor deve garantir atributos no qual seja possível analisar o desempenho do usuário e comparar a evolução.
- Regra 02: As atividades devem possuir níveis de dificuldades distintas.
- Restrição 01: Dispositivos demasiadamente antigos podem não possuir tais sensores de movimento. Logo, para que tais atividades sejam aplicáveis, são necessários dispositivos móveis aptos para tal.

#### 4.5 Protocolo de toque na tela Prot2

Atividades baseadas no toque direto na tela representam uma vertente mais direta e pontual da interação do usuário. Embora essas tarefas pareçam mais simples à primeira vista, devido à ausência de gestos ou movimentos complexos, elas trazem consigo um conjunto único de desafios e oportunidades de avaliação. O foco se desloca da destreza motora ampla para aspectos mais sutis: a precisão com que o usuário toca na tela e seu tempo de resposta.

Um exemplo que ilustra essa abordagem é o jogo "Bugs Smasher" (GOOGLE PLAY STORE, 2021) apresentado na Figura 42. Nesse jogo, a tarefa principal é tocar em locais específicos da tela para exterminar formigas que aparecem de forma

aleatória. Em atividades como essa, é imperativo que o usuário demonstre tanto rapidez quanto precisão.

Assim, aplicar a Lei de Hick torna-se relevante para avaliar e compreender estas duas dimensões da interação, conforme detalhado na Seção 4.2.2.

**Figura 42 – Jogo Bugs Smasher**



Fonte: Google Play (2021).

O Protocolo Prot2 se concentra nas interações de toque na tela, dando ênfase à precisão do ponto de contato e ao tempo de reação do usuário. Essa avaliação busca entender a destreza e rapidez do usuário ao interagir com elementos específicos na interface, sem a necessidade de movimentos complexos ou gestos.

#### 4.5.1 Atributos armazenados para o Protocolo Prot2

O protocolo de avaliação Prot2, centrado nas interações de toque na tela, busca captar com precisão a destreza e o tempo de resposta do usuário ao realizar tais interações.

Os atributos oferecem uma visão detalhada da habilidade do usuário em localizar e tocar pontos específicos na tela com rapidez e precisão. Assim, além de evidenciar a performance atual do usuário, eles possibilitam a identificação de áreas que demandem mais atenção ou treino.

Registrar os atributos de forma minuciosa também permite um acompanhamento contínuo do desenvolvimento do usuário, fornecendo informações para eventuais ajustes nas atividades ou na metodologia aplicada. O Quadro 15, lista os atributos que compõem este protocolo.

**Quadro 15 – Atributos: Touchscreen apenas**

<b>Atributo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Finalidade</b>
Coordenadas do toque	Coordenadas cartesianas (x,y)	Determinação do toque do usuário
Precisão do toque	Coordenadas cartesianas (x,y)	Determinar a precisão do acerto
Número de penalizações	Valor inteiro	Contabilizar o número de tentativas
Tempo de conclusão da atividade	Valor decimal	Determinar o tempo gasto para realizar o exercício

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A versatilidade deste protocolo está em sua habilidade de se ajustar às particularidades do comportamento do usuário ao interagir com interfaces táteis, sem a necessidade de movimentos mais elaborados. Vale ressaltar que os atributos informados podem ser utilizados de forma parcial, não sendo obrigatória a utilização de todos eles em uma única análise.

O Quadro 16 detalha as métricas específicas relacionadas ao toque na tela. Estas métricas são importantes para decifrar e avaliar o desempenho do jogador, já que são reflexos diretos de sua precisão e agilidade ao tocar. A análise destes dados oferece *insights* valiosos sobre a interação do usuário com a tela, transformando-se em recursos para avaliar a eficiência de suas ações.

**Quadro 16 – Métricas elegíveis para toque na tela**

<b>Métricas</b>	<b>Descrição</b>
Precisão do Toque	Avalia quão próximo o ponto de toque do usuário está em relação ao alvo desejado.
Duração do Toque	Registra o tempo que o usuário mantém o dedo em contato com a tela
Área de Toque	Mede a área da superfície do dedo ou utensílio que entra em contato com a tela, podendo indicar a confiança ou hesitação do usuário.
Frequência de Toque	Quantifica o número de toques realizados em um determinado período.
Pressão do Toque	Caso o dispositivo suporte, pode-se medir a força com que o usuário pressiona a tela.
Consistência de Toque	Avalia se o usuário tem um padrão consistente ao tocar a tela, tanto em termos de localização quanto de força.
Desvio do Toque	Mede a distância média entre toques consecutivos, indicando possíveis desvios ou erros.
Distribuição de Toques	Analisa a dispersão dos toques em uma área específica, ajudando a entender padrões ou áreas de dificuldade.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Tais atributos e métricas apresentadas nos quadros anteriores, nos dão um panorama de quais atividades podem ser desenvolvidas. Uma diversidade de atividades pode se beneficiar da utilização do toque na tela, e cabe ao desenvolvedor a construção da temática criada em torno destes atributos e métricas.

A aplicação do protocolo Prot2, voltado para a avaliação da interação tátil, exige uma compreensão não só das mecânicas técnicas, mas também das nuances do comportamento humano ao interagir com interfaces sensíveis ao toque.

Uma implementação bem-sucedida do protocolo requer um planejamento cuidadoso e uma visão objetiva das metas desejadas. Para garantir uma implementação bem-sucedida deste protocolo em seus jogos, é essencial aderir a um roteiro estruturado.

Um guia detalhado, projetado para aprimorar a incorporação do protocolo Prot2, assegurando que aspectos técnicos e cognitivos se harmonizem na prática é apresentado no Quadro 17. Este quadro descreve as etapas recomendadas para uma efetiva utilização do protocolo Prot2 em contextos de jogo.

**Quadro 17 – Etapas para utilização do Protocolo Prot2**

	<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
<b>Planejamento</b>	<b>1</b>	Identifique o objetivo principal da atividade. Certifique-se de que seja adequado para avaliar o toque na tela, tempo de reação e precisão.
	<b>2</b>	Especifique os desafios e a dinâmica do jogo.
	<b>3</b>	Além dos atributos obrigatórios que compõem a Lei de Hick (quando aplicável), defina dentre as métricas possíveis aquelas que são relevantes para sua atividade.
	<b>4</b>	Defina a forma de análise e mensuração dos dados.
<b>Execução</b>	<b>5</b>	Implemente o protocolo no jogo ou atividade e a captação de dados.
	<b>6</b>	Garanta que os dados coletados são precisos e consistentes.
	<b>7</b>	Adapte o protocolo ao fluxo e design do jogo.
	<b>8</b>	Realize testes iniciais para garantir que o protocolo está funcionando como esperado. Ajuste conforme necessário.
	<b>9</b>	Colete dados em tempo real enquanto os jogadores estão engajados no jogo e armazene esses dados de forma segura e estruturada para análise posterior.
	<b>10</b>	Avalie os dados coletados em relação às métricas definidas
	<b>11</b>	Identifique padrões e tendências no desempenho dos jogadores

**Fonte: Autoria própria (2023).**

#### 4.5.2 Regras e restrições do Protocolo Prot2

As seguintes regras e restrições devem ser observadas quando utilizada atividades com detecção de movimento.

- Regra 01: O desenvolvedor deve garantir atributos no qual seja possível analisar o desempenho do usuário e comparar a evolução.
- Regra 02: As atividades devem possuir níveis de dificuldades distintas.
- Restrição 01: Dispositivos demasiadamente antigos podem não possuir sensores de toques precisos. Logo, para que tais atividades sejam aplicáveis, são necessários dispositivos móveis aptos para tal.

#### 4.6 Uso da arquitetura em um jogo sério

A implementação de um jogo sério utilizando a arquitetura desenvolvida requer uma combinação de pré-requisitos, planejamento e execução técnica. Esta arquitetura, com seus componentes, oferece flexibilidade e precisão na criação de experiências interativas.

O processo começa com o entendimento das metas e objetivos e termina com a avaliação do desempenho do jogador. O Quadro 18 apresenta um guia simplificado para que desenvolvedores possam se orientar durante o processo de uso da arquitetura.

**Quadro 18 – Etapas para utilização da arquitetura**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
<b>Definição dos Pré-requisitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecimento das Metas e Objetivo: Determine qual a finalidade do jogo sério a ser desenvolvido, seja para aprendizado, simulação, diagnóstico, ou outro fim. Esses elementos guiarão as decisões de <i>design</i> e mecânicas de jogo.</li> <li>• Estipulação do Público-Alvo: Identifique claramente para quem o jogo será desenvolvido. É importante entender as características e necessidades do público para garantir que o jogo seja eficaz e envolvente.</li> <li>• Escolha da Temática: Baseando-se no público-alvo, selecione uma temática que trate de uma condição ou situação específica deste público. A temática deve ser relevante e significativa para garantir a adesão e engajamento do jogador.</li> </ul>
<b>Design e Planejamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escolha da <i>Game Engine</i>: Decida qual tecnologia e <i>game engine</i> serão usadas para implementar o jogo.</li> <li>• Estruturação da Lógica do Jogo: Baseado no objetivo pedagógico, esboce as mecânicas principais do jogo e como elas interagirão com os jogadores.</li> </ul>
<b>Implementação da Arquitetura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecânica da Arquitetura: Integre as metodologias de análise e mensuração de movimentos e toques, como a Lei de Fitts e a Lei de Hick. Utilize os dados dos sensores e interações na tela para desenvolver a lógica do jogo.</li> <li>• Integração com a Base de Dados: Configure a base de dados para armazenar informações relevantes, como perfis de usuários, históricos, desempenho e progresso.</li> <li>• Desenvolvimento do <i>Gameplay</i>: Com a lógica e mecânica do jogo definidas, prossiga com o desenvolvimento da <i>gameplay</i>, certificando-se de que ele alinhe com os objetivos pedagógicos estabelecidos.</li> </ul>
<b>Avaliação e Feedback</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementação da Avaliação de Desempenho: Desenvolva métricas e sistemas para mensurar e avaliar o desempenho dos jogadores.</li> <li>• Adaptação em Tempo Real: Com base na avaliação do desempenho, permita que o jogo faça ajustes automáticos no <i>gameplay</i> para desafiar adequadamente o jogador, tornando a experiência mais ou menos difícil conforme necessário.</li> </ul>
<b>Testes e Iterações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teste Beta: Conduza testes com um grupo pequenos de jogadores para identificar potenciais falhas ou áreas de melhoria.</li> <li>• Iterações: Baseado nos <i>feedbacks</i>, faça as devidas alterações e melhorias, repetindo os testes conforme necessário até alcançar um produto satisfatório.</li> </ul>

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Este guia serve como um ponto de partida para desenvolvedores interessados em utilizar a arquitetura desenvolvida. A complexidade e nuances de cada jogo podem exigir ajustes e personalizações específicas.

#### **4.7 Considerações finais do capítulo**

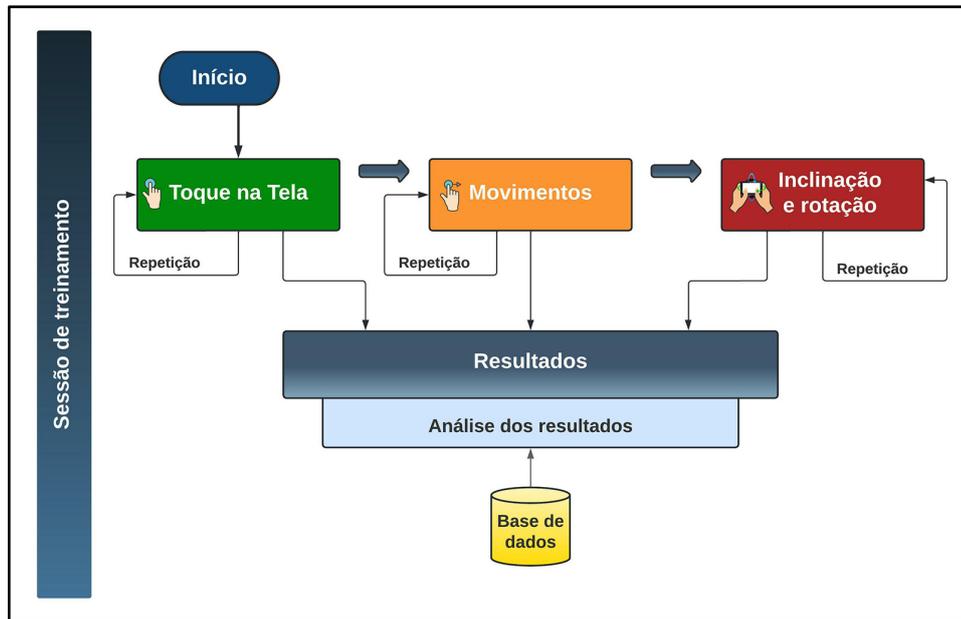
Este capítulo apresentou a arquitetura voltada para a avaliação dos movimentos finos das mãos em dispositivos móveis. A arquitetura é composta por cinco componentes essenciais: Mecânica da arquitetura, Lógica do jogo, *Game Engine*, *Gameplay* e Avaliação do desempenho. Essa estrutura promove uma visão abrangente do processo de avaliação.

A parte central da arquitetura é a componente "Mecânica da arquitetura". Ele administra como os atributos fornecidos pelos dispositivos móveis são usados no tratamento dos movimentos finos das mãos. Incorporou-se a essa mecânica as adaptadas Leis de Fitts e Hick, fundamentais para mensurar desempenho de movimento e tempo de reação. Adicionalmente, criou-se dois protocolos Prot1 e Prot2 projetados especificamente para a utilização de sensores de movimento e interações via toque na tela.

A Seção 4.2 já havia ressaltado que cada mecânica proposta origina atividades e avaliações diferenciadas. Através delas, o desenvolvedor pode aprofundar sua análise após a aplicação do jogo, ajustando conforme a *performance* do usuário. O componente "avaliação do desempenho" configura-se como um módulo adaptável, permitindo ao usuário determinar a metodologia mais apropriada para avaliar o jogador.

Os dados coletados por meio dos atributos permitem análises individualizadas e comparações entre diferentes usuários. Quando se considera todas essas mecânicas em conjunto, elas compõem as fundamentais sessões de treinamento. Para exemplificar, a Figura 43 esquematiza a configuração típica de uma dessas sessões, abrangendo todas as atividades propostas.

**Figura 43 – Sessão de treinamento completa**



Fonte: Autoria Própria (2023).

Por fim, os resultados gerados em cada sessão devem ser analisados e armazenados para a comparação com outras sessões de treinamento. Com isto, chega-se as conclusões sobre o desempenho dos movimentos finos das mãos de um indivíduo e caso necessário, a comparação dentro de um grupo de usuários.

Ao realizar um experimento, é importante controlar os fatores que podem influenciar o desempenho do usuário, como a fadiga, a prática ou outros fatores externos. Além disso, coletar um número adequado de repetições para cada atividade ajuda a obter uma estimativa mais precisa dos resultados.

O próximo capítulo apresenta os resultados da aplicação da arquitetura por meio de um experimento.

## 5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados de um estudo que investigou a aplicação da arquitetura no contexto de jogos sérios em dispositivos móveis para avaliação dos movimentos finos. A Seção 5.1 apresenta a descrição do experimento, e suas subseções relatam sistematicamente como foi a utilização de jogos no experimento para a coleta de dados e análise dos resultados e as conclusões parciais. A Seção 5.2 descreve a Atividade 01 do primeiro jogo desenvolvida, incluindo a utilização da Lei de Fitts. A Seção 5.3 descreve a Atividade 02, um jogo que utiliza os sensores de movimento juntamente com o protocolo criado para mensuração dos

dados. A Seção 5.4 apresenta a Atividade 03, um jogo de reação e precisão no toque na tela, utilizando o protocolo criado para mensuração dos dados, juntamente com a aplicação da Lei de Hick. A Seção 5.5 compara o modelo desenvolvido com os trabalhos relacionados descritos na literatura. A Seção 5.6 ilustra a aplicação da arquitetura em um jogo sério já desenvolvido. Por fim, a Seção 5.7 apresenta as considerações finais deste capítulo.

### **5.1 Descrição do experimento**

A crescente popularidade dos dispositivos móveis e sua ampla utilização para fins educacionais e de treinamento destacam a necessidade de métodos precisos e eficazes para avaliar e futuramente aprimorar as habilidades motoras dos usuários. Para isto foram desenvolvidos 3 (três) jogos sérios com a finalidade de diagnosticar os movimentos finos das mãos.

O experimento utilizou como base para sua implementação a *Game Engine Unity 2D (2023)*, com a linguagem de programação C#. No contexto do desenvolvimento de jogos utilizando a *Unity engine*, é essencial compreender a unidade de medida adotada, que será utilizada para medir o tamanho dos objetos na tela, distância entre objetos, posição, entre outras informações. Esta unidade, conhecida como “unidades de mundo Unity”, descreve uma medida relativa no ambiente de jogo. Em Unity, uma unidade não possui uma correspondência direta com uma unidade de medida do mundo real, mas sim uma unidade arbitrária que facilita o trabalho consistente com tamanhos e distâncias no jogo (UNITY, 2023). Essa abordagem permite o dimensionamento de objetos, cálculos de distâncias e escalas de maneira coesa, independentemente das especificidades do ambiente de jogo. No presente estudo, todos os relatórios e análises estão baseados nessa unidade de medida, garantindo uma abordagem uniforme e coerente na avaliação das características do jogo. Importante salientar que essa unidade é proporcional e pode ser utilizada para comparação entre os usuários, independentemente dos tamanhos de tela e resoluções de dispositivos diferentes.

A metodologia empregada para o experimento envolveu a execução de uma um conjunto de atividades em jogos sérios projetados para avaliar movimentos finos, como toque na tela, arraste e solte e inclinação.

As atividades criadas permitem analisar e estimar o desempenho dos movimentos finos realizados por usuários em atividades específicas dos jogos sérios.

Para o experimento foram criada três implementação de jogos a partir da arquitetura desenvolvida e sua execução foi conduzida com a participação de 10 (dez) alunos de Graduação e Pós-graduação em Ciência da Computação do grupo de pesquisa no qual o próprio autor faz parte. Destes alunos, 5 (cinco) são do sexo masculino e 5 (cinco) do sexo feminino. Os dispositivos utilizados por estes alunos, bem como o tamanho e resolução da tela, são apresentados no Quadro 19.

**Quadro 19 – Dispositivos utilizados**

<b>Usuário</b>	<b>Marca e modelo do dispositivo</b>	<b>Tamanho da tela (polegadas)</b>	<b>Resolução da tela (px)</b>
<b>P1</b>	Samsung Galaxy A50	6.4	2340x1080
<b>P2</b>	Motorola Moto G4	5.5	1920x1080
<b>P3</b>	Redmi Note 8	6.3	2340x1080
<b>P4</b>	Samsung Galaxy A14	6.6	2400x1080
<b>P5</b>	Xiaomi Mi 8 Lite	6.26	2280x1080
<b>P6</b>	Samsung Galaxy M21s	6.4	2340x1080
<b>P7</b>	Samsung Galaxy S9	5.8	2960x1440
<b>P8</b>	Samsung Galaxy S21 FE	6.4	2340x1080
<b>P9</b>	Motorola Moto E7 Plus	6.5	1600x720
<b>P10</b>	Samsung Galaxy S21	6.2	2400x1080

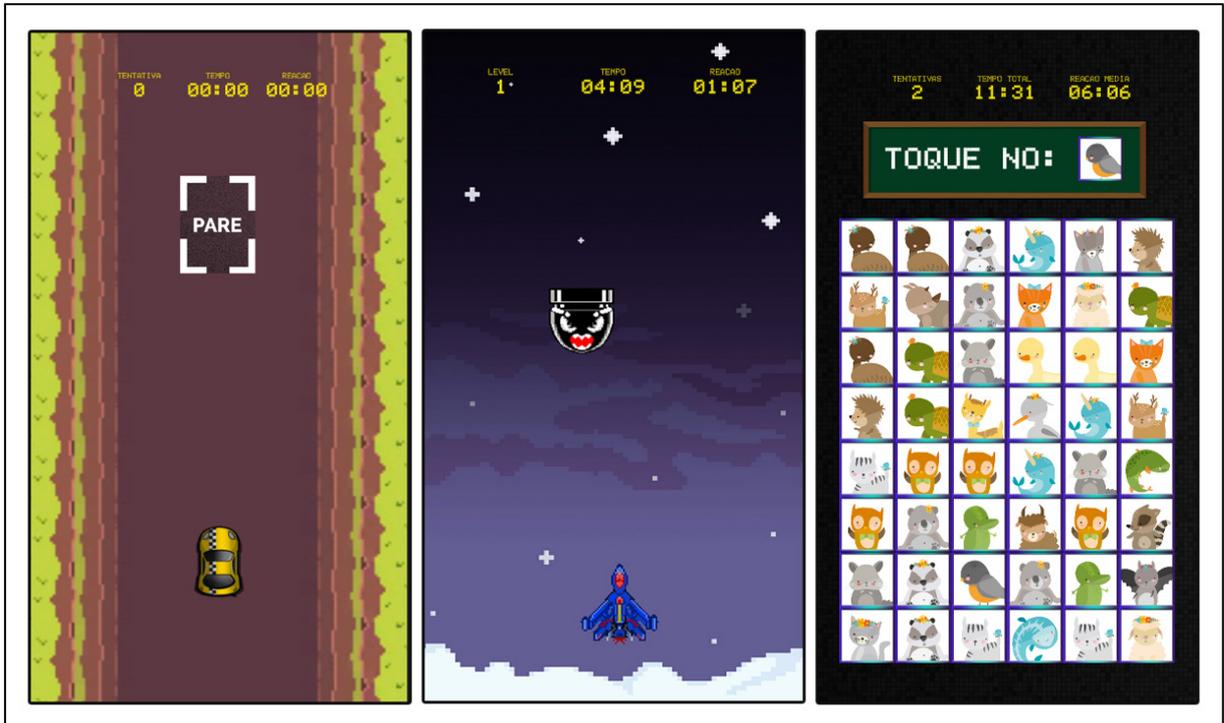
**Fonte: Autoria própria (2023).**

O foco principal foi coletar dados relevantes sobre os movimentos realizados pelos participantes, a fim de obter parâmetros precisos para a estimativa do tempo de movimento e do tempo de reação, utilizando a Lei de Fitts e a Lei de Hick, respectivamente, além dos protocolos criados seguindo os métodos descritos na arquitetura desenvolvida.

A escolha dos jogos utilizados foi baseada em uma cuidadosa análise das características dos movimentos finos que seriam avaliados. Os jogos foram projetados especificamente para abordar diferentes tipos de movimentos finos, como toque na tela, arraste e solte e detecção de movimentos.

Os jogos desenvolvidos foram denominados Atividades. Cada um dos três (3) jogos ou Atividades, foram desenvolvidos levando em consideração os atributos que são relevantes para a análise dos movimentos. A Figura 44 apresenta os jogos criados.

**Figura 44 – Jogos (Atividades) criados**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

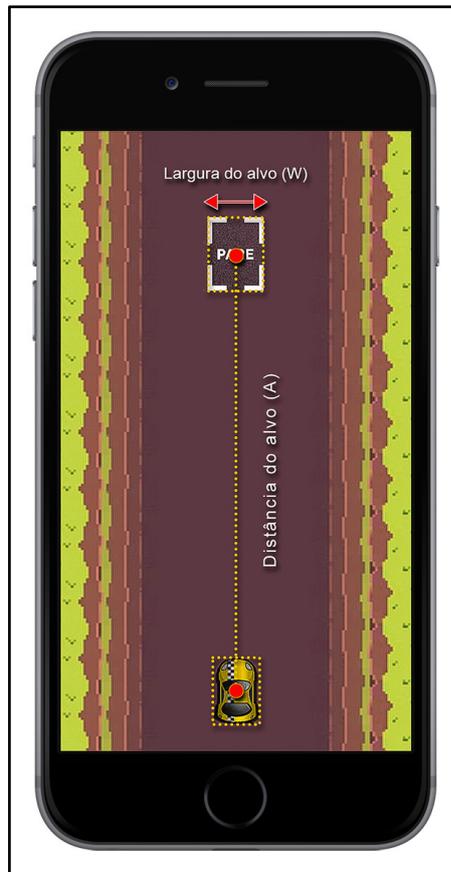
Para cada um dos jogos/atividades foram desenvolvidos diferentes níveis de dificuldades, abrangendo assim uma análise mais aprofundada de cada atividade. A primeira atividade conta 6 (seis) diferentes níveis de dificuldade; a segunda atividade é composta por 1 (um) nível de dificuldade dinâmico, ou seja, há um aumento de dificuldade progressivo em tempo de execução. Por fim, a terceira atividade é composta por 3 (três) níveis de dificuldades.

Nas seções seguintes, detalha-se as atividades criadas para o experimento, as quais foram planejadas e executadas seguindo a arquitetura desenvolvida.

Durante a coleta de dados, foram estabelecidas informações para garantir a consistência nas instruções fornecidas aos participantes e a minimização de fatores externos que pudessem interferir nos resultados.

## **5.2 Atividade 01 – Jogo de arraste e solte com a Lei de Fitts**

O primeiro jogo desenvolvido, denominada Atividade 01 foi desenvolvido para analisar o tempo de movimento do usuário, incorporando os elementos fundamentais da Lei de Fitts, como o objeto a ser arrastado, conforme apresenta a Figura 45.

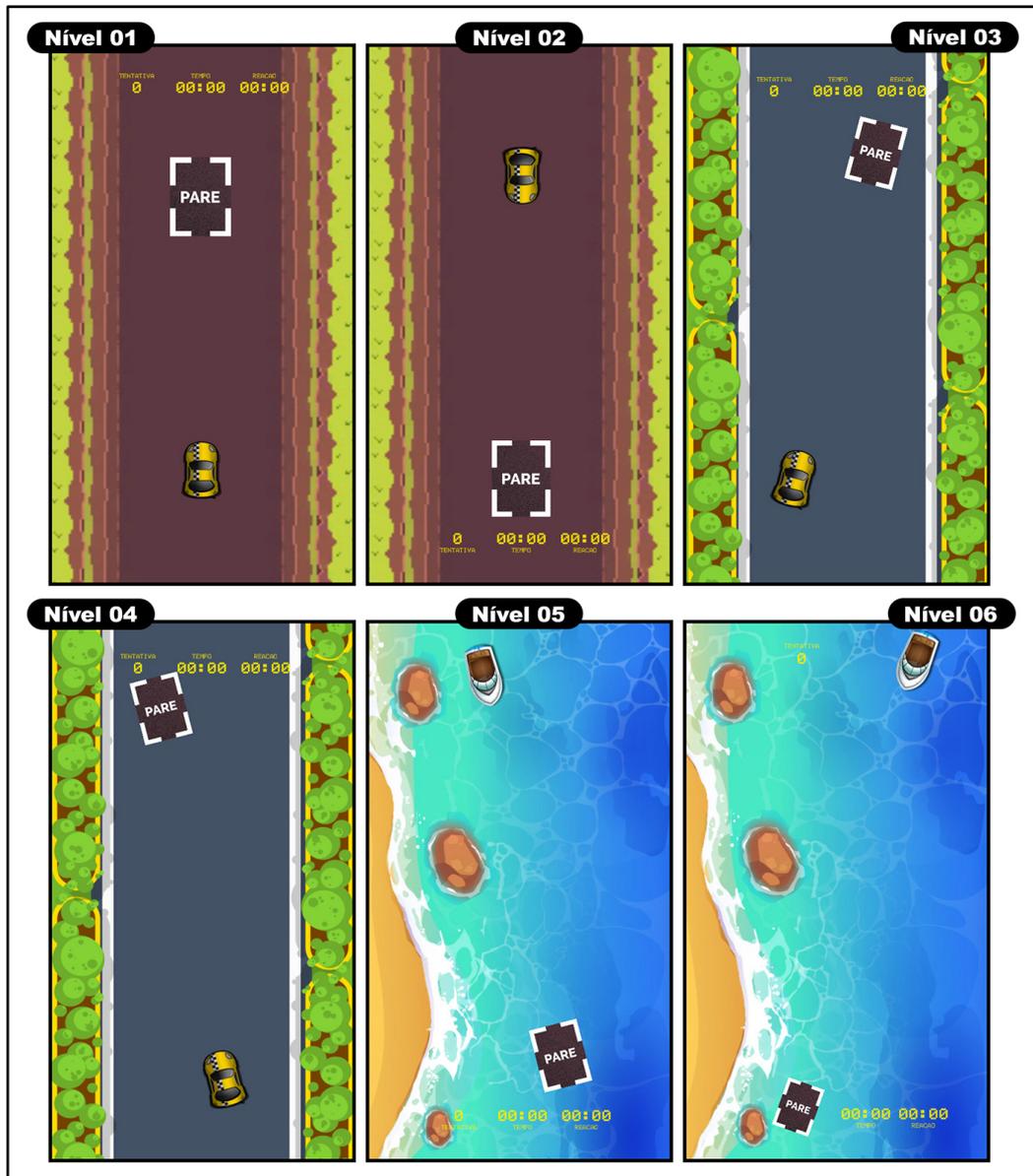
**Figura 45 – Atividade 01**

Fonte: Autoria Própria (2023).

A finalidade desta atividade reside em interagir com o objeto denominado carro e deslocá-lo até seu destino, evitando simultaneamente a colisão com as bordas ou obstáculos, quando presentes no cenário.

Para essa atividade seis (6) níveis de dificuldades (Figura 46) foram desenvolvidos, que se diferem entre si pela variação do atributo ID (índice de dificuldade) que compõem a fórmula da Lei de Fitts, que é composto pela largura do alvo e distância do objeto até o alvo.

Figura 46 – Índice de dificuldades diferentes



Fonte: Autoria Própria (2023).

Durante a execução dos jogos, foram registrados dados relevantes para a análise dos movimentos finos. Além das coordenadas X e Y do plano cartesiano que representa a tela, foram coletados o tempo de movimento, o tempo de reação, o índice de dificuldade do jogo, a posição inicial do objeto, o tamanho do objeto, o tamanho do alvo, a distância entre os objetos, o número de tentativas, o tempo de cada tentativa e se o movimento foi concluído com sucesso. Esses dados foram armazenados para análise posterior e comparação entre os participantes e as atividades realizadas.

A Figura 47 exibe um exemplo do relatório de como os dados foram registrados e organizados para análise posterior.

Figura 47 – Relatório gerado

		Coordenadas do movimento	
		x	y
*****			
Execução do Programa. Início: 12:08:11		0,2172935@-3,650675	0,03746435@-1,409295
*****		0,2172935@-3,598201	0,02997135@-1,311844
Indice de dificuldade (ID): 4,138313		0,2172935@-3,50075	0,02247868@-1,229385
Posicao Inicial do objeto: (1.45, 4.24, 0.00)		0,2172935@-3,388306	-0,007492837@-1,094453
Tamanho do objeto a ser arrastado: (1.36, 1.56, 0.20)		0,2172935@-3,155922	-0,02997152@-1,034483
Tamanho do objeto target: (0.96, 1.10, 0.04)		0,2098005@-3,080959	-0,04495736@-0,9970015
Distância entre o objeto inicial e o objeto alvo: 8,496522		0,2098005@-2,968516	-0,06743604@-0,9370315
Toque(s) no lugar errado: 0		0,2023078@-2,863568	-0,07492871@-0,8095953
Tentativa número: 1		0,1873221@-2,691154	-0,07492871@-0,7421288
Tempo da tentativa: 1,19979		0,1798291@-2,586207	-0,07492871@-0,6971517
Tempo de reação: 1,343		0,1573504@-2,443778	-0,07492871@-0,6371814
Tempo de reação Total: 1,343		0,1348717@-2,353823	-0,07492871@-0,5697146
Tempo de reação Médio: 1,343		0,09740739@-2,226387	-0,07492871@-0,4272869
Ganhou? True		0,07492871@-2,121439	-0,07492871@-0,3598201
		0,05994304@-2,031484	-0,07492871@-0,2548724
		0,04495736@-1,94153	-0,07492871@-0,1274371
		0,03746435@-1,806597	-0,07492871@-0,04497737
		0,03746435@-1,716642	-0,07492871@0,02998471
		0,03746435@-1,641679	-0,07492871@0,09745121
		0,03746435@-1,469265	-0,05994287@0,2323842
			[...]

Fonte: Autoria Própria (2023).

Para cada execução bem-sucedida, registra-se o intervalo de tempo necessário para a conclusão e o número de tentativas efetuadas até o usuário finalizar o movimento. Este procedimento considera as penalidades incidentes quando o movimento é abruptamente interrompido ou o usuário se depara com a colisão contra um objeto de contato proibido.

Subsequentemente, ao término de múltiplas implementações em um índice de dificuldade específico, tem-se um tempo de conclusão e suas respectivas tentativas, o que proporciona a extração de um tempo médio de conclusão por índice e a precisão dos movimentos (com base nos acertos). Estas informações adquiridas são posteriormente empregadas para a aplicação da fórmula, conforme estabelecido pela Lei de Fitts.

A partir desses dados, foi possível determinar os valores das variáveis 'a' e 'b' que compõem a fórmula de Fitts para cada participante. Esses valores fornecem uma medida personalizada e precisa do desempenho do movimento fino para cada indivíduo.

Para a obtenção dos coeficientes "a" e "b" na equação da Lei de Fitts, recorre-se ao método dos mínimos quadrados, uma abordagem estatística utilizada para a realização de regressões lineares. Este método permite a obtenção de estimativas ótimas para os coeficientes "a" e "b", minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e aqueles previstos pela equação.

Os valores não apenas confirmam a aplicabilidade da Lei de Fitts em um ambiente de jogo para dispositivos móveis, como também fornecem *insights* sobre a natureza da interação dos usuários com tais jogos.

Soukoreff e Mackenzie (2004) explicam que não deve haver filtragem dos dados, exceto a remoção de *outliers* (valores atípicos). No contexto do experimento, reconhece-se a importância de identificar e remover *outliers*, que são observações extremas que podem distorcer a análise dos dados.

Foi observado que alguns usuários que participaram do experimento, principalmente nos primeiros movimentos de um determinado índice de dificuldade ou no início de uma nova tentativa, apresentaram tempos de movimento consideravelmente mais altos, provavelmente devido a um período inicial de adaptação ao movimento, ou ainda, por uma distração momentânea durante a execução do jogo.

Com base no trabalho de Soukoreff e Mackenzie (2004) adotou-se a estratégia de utilizar o desvio padrão para detectar e remover os *outliers*. Para cada conjunto de dados, calculou-se o desvio padrão dos tempos de movimento para cada usuário em um determinado índice de dificuldade.

A remoção dos *outliers* permitiu realizar uma análise nos dados que melhor representam o desempenho típico de cada usuário após se familiarizar com o movimento.

### 5.2.1 Execução e coleta de dados da Atividade 01

Na execução do jogo, cada um dos 10 (dez) participantes, nomeados em P1, P2, até P10 foram instruídos previamente a tocar um objeto na tela do dispositivo móvel e arrastá-lo para uma posição específica.

A tarefa foi repetida diversas vezes, com uma quantidade mínima de 10 (dez) repetições por nível de dificuldade. Essas variações foram projetadas para testar e analisar a interação dos usuários sob diferentes condições, permitindo uma análise mais aprofundada das implicações da Lei de Fitts e da Lei de Hick em um ambiente de jogo para dispositivos móveis.

A Tabela 3 apresenta os dados gerados pela execução do primeiro nível de dificuldade da Atividade 01 para os 10 (dez) usuários participantes deste experimento.

**Tabela 3 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 01**

<b>ID = 3,17897</b>			
		<b>Largura do Alvo: 1,11</b>	<b>Distância: 5,04</b>
<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo movimento médio (s)</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	64,71%	1,314	0,768
<b>P2</b>	66,67%	1,073	0,521
<b>P3</b>	71,43%	1,132	0,528
<b>P4</b>	46,88%	0,893	0,654
<b>P5</b>	87,50%	0,967	0,612
<b>P6</b>	45,45%	0,923	1,018
<b>P7</b>	100%	1,456	0,635
<b>P8</b>	60%	1,995	1,026
<b>P9</b>	85,71%	1,024	0,483
<b>P10</b>	55,56%	0,884	0,544

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A Tabela 4 apresenta os dados gerados pela execução do segundo nível de dificuldade da Atividade 01 para os 10 (dez) usuários participantes deste experimento.

**Tabela 4 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 02**

<b>ID = 3,37022</b>			
		<b>Largura do Alvo: 1,08</b>	<b>Distância: 5,59</b>
<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo movimento médio (s)</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	73,33%	1,450	0,751
<b>P2</b>	85,71%	1,261	0,646
<b>P3</b>	83,33%	1,135	0,626
<b>P4</b>	92,31%	1,028	0,565
<b>P5</b>	70,59%	1,114	0,651
<b>P6</b>	75%	1,087	0,576
<b>P7</b>	14,29%	1,787	0,916
<b>P8</b>	71,43%	1,997	0,855
<b>P9</b>	71,43%	1,068	0,576
<b>P10</b>	88,24%	1,035	0,493

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A Tabela 5 apresenta os dados gerados pela execução do terceiro nível de dificuldade da Atividade 01 para os 10 (dez) usuários participantes deste experimento.

**Tabela 5 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 03**

<b>ID = 3,411</b>			
		<b>Largura do Alvo: 1,16</b>	<b>Distância: 6,19</b>
<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo movimento médio (s)</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	84,62%	1,540	0,717
<b>P2</b>	91,67%	1,324	0,489
<b>P3</b>	100%	1,175	0,472
<b>P4</b>	91,67%	0,997	0,475
<b>P5</b>	81,25%	1,153	0,579
<b>P6</b>	100%	1,093	0,458
<b>P7</b>	50%	3,011	0,701
<b>P8</b>	55,56%	2,019	0,786
<b>P9</b>	100%	1,031	0,523
<b>P10</b>	93,75%	1,116	0,423

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A Tabela 6 apresenta os dados gerados pela execução do quarto nível de dificuldade da Atividade 01 para os 10 (dez) usuários participantes deste experimento.

**Tabela 6 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 04**

<b>ID = 3,576</b>			
		<b>Largura do Alvo: 1,16</b>	<b>Distância: 6,93</b>
<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo movimento médio (s)</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	71,43%	1,923	0,633
<b>P2</b>	76,92%	1,071	0,461
<b>P3</b>	100%	1,189	0,523
<b>P4</b>	80%	1,083	0,709
<b>P5</b>	92,86%	1,387	0,589
<b>P6</b>	100%	1,108	0,495
<b>P7</b>	100%	3,654	0,604
<b>P8</b>	100%	2,021	0,657
<b>P9</b>	84,62%	1,195	0,465
<b>P10</b>	57,69%	1,204	0,523

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A Tabela 7 apresenta os dados gerados pela execução do quinto nível de dificuldade da Atividade 01 para os 10 (dez) usuários participantes deste experimento.

**Tabela 7 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 05**

<b>ID = 3,618</b>			
		<b>Largura do Alvo: 1,16</b>	<b>Distância: 7,14</b>
<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo movimento médio (s)</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	73,33%	1,740	0,863
<b>P2</b>	91,67%	1,317	0,488
<b>P3</b>	75,00%	1,194	0,490
<b>P4</b>	83,33%	1,162	0,563
<b>P5</b>	70,00%	1,629	0,699
<b>P6</b>	100,00%	1,110	0,562
<b>P7</b>	25,00%	3,981	0,922
<b>P8</b>	60,00%	2,030	1,119
<b>P9</b>	61,90%	1,232	0,525
<b>P10</b>	73,68%	1,166	0,431

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A Tabela 8 apresenta os dados gerados pela execução do sexto nível de dificuldade da Atividade 01 para os 10 (dez) usuários participantes deste experimento.

**Tabela 8 – Coleta de dados: Atividade 01 / Nível 06**

<b>ID = 4,138</b>			
		<b>Largura do Alvo: 0.96</b>	<b>Distância: 8,50</b>
<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo movimento médio (s)</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	17,86%	2,733	0,884
<b>P2</b>	28,57%	1,561	0,587
<b>P3</b>	70,59%	1,199	0,551
<b>P4</b>	100,00%	1,133	0,668
<b>P5</b>	75,00%	1,377	0,628
<b>P6</b>	87,50%	1,112	0,423
<b>P7</b>	33,33%	3,994	0,884
<b>P8</b>	45,45%	2,065	0,845
<b>P9</b>	68,42%	1,296	0,607
<b>P10</b>	72,22%	1,236	0,482

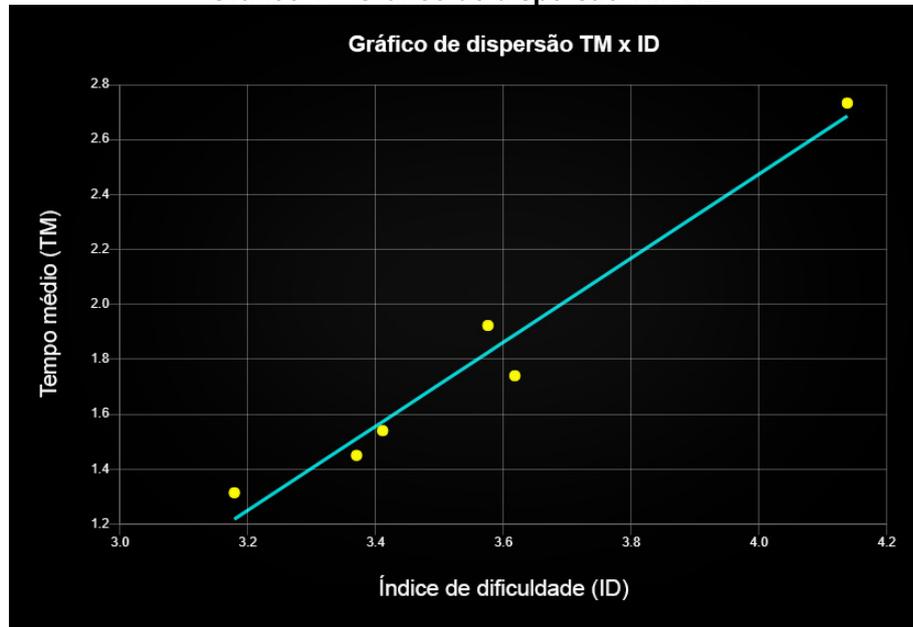
**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A partir da observação dos movimentos realizados pelos 10 (dez) participantes em cada um dos 6 (seis) níveis de dificuldade do jogo, conseguiu-se extrair informações significativas que permitiram a estimativa do tempo de movimento utilizando a Lei de Fitts.

Para este fim, cada tempo de movimento médio registrado para cada participante em cada nível de dificuldade foi analisado. Estes tempos de movimento médios são cruciais, pois são eles que fornecem subsídios para a obtenção do “TM” (Tempo de movimento) resultante da aplicação da fórmula da Lei de Fitts.

Em seguida, os tempos médios foram relacionados com os índices de dificuldade em um gráfico de dispersão e aplicado a regressão linear. O Gráfico 4 ilustra a dispersão do usuário P1. Os demais gráficos de dispersão e a regressão linear estão anexadas no Apêndice A deste trabalho.

**Gráfico 4 – Gráfico de dispersão TM x ID**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Na regressão linear, a variável "a" da fórmula da Lei de Fitts representa o coeficiente linear da equação da reta. Já a variável "b" representa o coeficiente angular da equação da reta. No contexto do plano cartesiano, a variável "a" está relacionada ao valor de "y" e a variável "b" ao valor de "x". Portanto, utilizando ainda o gráfico gerado para o usuário P1 (Figura 52), a equação da reta que define essa regressão é dada por:  $Y = -3,6461 + 1,53x$ . Ou seja, para o valor de "a" da fórmula da Lei de Fitts temos -3,6461 e para a variável "b" temos o valor de 1,53.

Após obter os valores de "a" e "b" para o usuário específico, é possível utilizar esses valores para prever o tempo de movimento em outras atividades, variando as distâncias e larguras dos alvos conforme necessário. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos após a análise para cada usuário participante do experimento.

**Tabela 9 – Resultado dos dados por usuário**  
**Valores das variáveis que compõem a Lei de Fitts**

Usuário	Variável “a”	Variável “b”
P1	-3,646	1,530
P2	-0,284	0,437
P3	0,915	0,072
P4	0,217	0,235
P5	-0,351	0,457
P6	-25,657	0,142
P7	0,569	8,312
P8	1,754	0,075
P9	0,021	0,316
P10	-0,054	0,327

Fonte: Autoria Própria (2023).

Com base nos resultados pode-se substituir os valores obtidos por usuário diretamente na fórmula da Lei de Fitts, conforme exemplificado para o usuário P1 no Quadro 20.

**Quadro 20 – Aplicação da Lei de Fitts**

<b>Fórmula Fitts original:</b>	$TM = a + b * ID$
<b>Fórmula aplicada no usuário P1:</b>	$TM = -3,6461 + 1,53 * ID$

Fonte: Autoria própria (2023).

Dessa mesma forma, todos os usuários dispõem de todos os dados necessários para a utilização da Lei de Fitts e previsões em futuras atividades. Essa abordagem permite que se obtenha uma estimativa personalizada do tempo de execução para qualquer outra atividade de um determinado usuário.

### 5.2.2 Análise dos resultados da Atividade 01

A aplicação da Lei de Fitts na Atividade 01 permitiu estimar o tempo de movimento dos usuários, considerando diferentes índices de dificuldade e tipos de movimentos finos. A obtenção dos parâmetros “a” e “b” da fórmula de Fitts para cada participante individualmente contribuiu para personalizar a análise e fornecer informações específicas sobre o desempenho de cada indivíduo.

Os resultados obtidos no experimento oferecem um olhar sobre o desempenho individual dos usuários, fornecendo indicadores de sua habilidade e precisão em realizar tarefas que requerem movimentos finos.

O tempo médio de movimento pode ser um indicador da agilidade e rapidez com que o usuário pode completar tarefas, enquanto a precisão dos movimentos e o tempo de reação proporcionam *insights* adicionais sobre a destreza e a capacidade de resposta do usuário.

O tempo de reação foi coletado com o objetivo de entender melhor o comportamento do usuário no jogo e pode ser um indicativo importante da capacidade de processamento cognitivo do usuário, a facilidade com que ele entende as demandas do jogo e como responde a elas.

Se o tempo de reação é excessivamente longo, isso pode sugerir que o usuário está tendo dificuldades para entender as tarefas propostas pelo jogo ou que os elementos do jogo não estão claramente indicados ou são confusos. Portanto, o registro do tempo de reação é importante para avaliar a usabilidade e a jogabilidade do jogo.

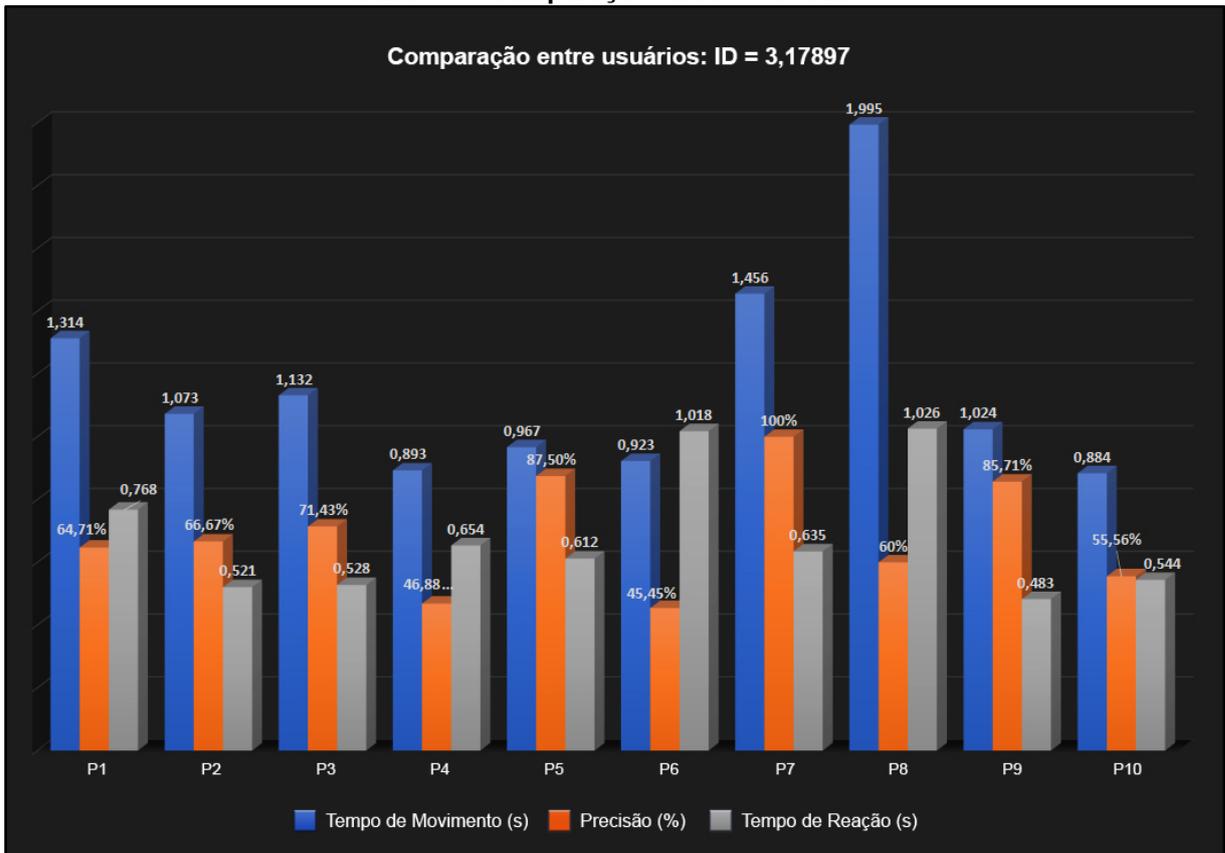
Neste cenário não houve a necessidade da utilização da Lei de Hick, pois a atividade apresenta apenas uma opção de ação para o usuário em cada etapa. Na Atividade 01, optou-se por registrar o tempo de reação médio, que se mostrou mais apropriado para avaliar o desempenho dos usuários.

A aplicação da Lei de Fitts por meio da obtenção dos parâmetros “a” e “b” para cada participante permitiu estimar o tempo de movimento de forma precisa e individualizada, abrindo possibilidades para a criação de experiências de treinamento personalizadas e adaptadas às habilidades e necessidades específicas de cada usuário.

Ao comparar os tempos médios de cada participante é possível identificar padrões de desempenho e possíveis diferenças individuais na capacidade de realizar tarefas que envolvem movimentos finos. Esta análise revela, por exemplo, se alguns usuários são consistentemente mais rápidos ou mais precisos do que outros, o que pode ter implicações importantes para o *design* de interfaces que procuram acomodar uma ampla gama de habilidades e níveis de destreza.

O Gráfico 5 apresenta a comparação de todos os usuários participantes deste experimento na Atividade 01 / Nível 01, bem como seus resultados de tempo de movimento, precisão dos movimentos (acertos) e seus tempos de reação.

Gráfico 5 – Comparação entre os usuários



Fonte: Autoria Própria (2023).

Para uma análise dos movimentos, outros atributos podem ser adotados. A direção do movimento, por exemplo, pode revelar se existem direções específicas que apresentam mais dificuldades para os usuários.

A representação gráfica do movimento, ilustrada na Figura 48, pode identificar desvios desnecessários que prolongam o tempo de execução da tarefa. Além disso, a velocidade e a estabilidade dos movimentos podem ser métricas para uma avaliação mais abrangente da habilidade do usuário.

A eficiência do movimento, representada pela relação entre a distância total percorrida e a distância direta entre o início e o alvo, também fornece informações importantes sobre a *performance* do usuário.

**Figura 48 – Representação gráfica dos movimentos**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Os resultados obtidos demonstraram uma relação direta entre os índices de dificuldade, as métricas de desempenho e as características dos movimentos finos avaliados. Os tempos de movimento mais longos foram observados em jogos com índices de dificuldade mais elevados, evidenciando a capacidade da Lei de Fitts de prever a dificuldade dessas atividades com base na largura do alvo e na distância percorrida pelo usuário.

A combinação da Lei de Fitts com a tecnologia dos dispositivos móveis e a aplicação em jogos sérios oferece um potencial significativo para aprimorar a avaliação e o treinamento de habilidades motoras finas em diversas áreas, como educação, reabilitação e desenvolvimento de habilidades profissionais.

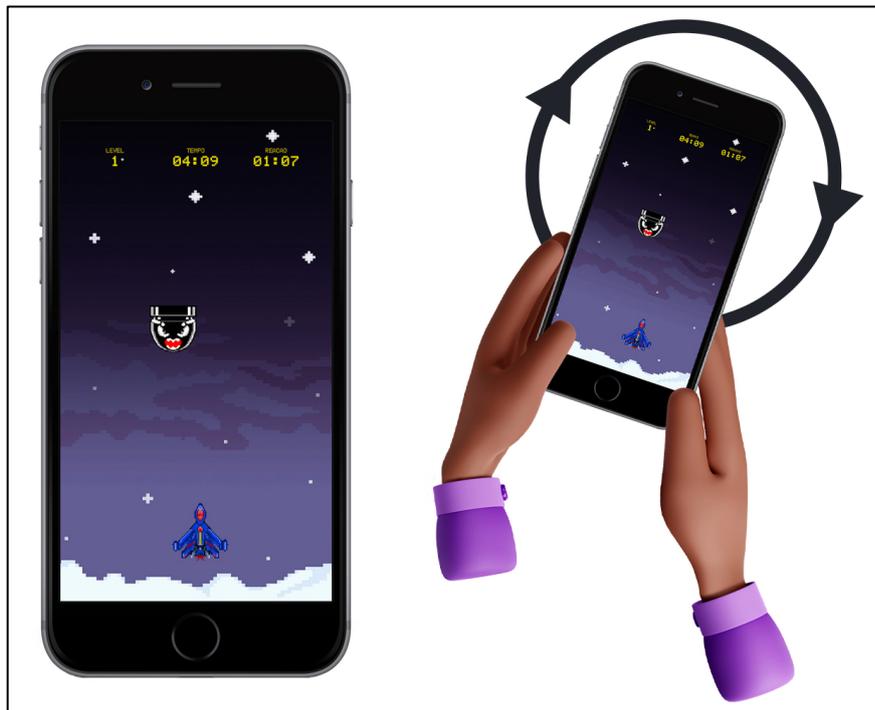
### **5.3 Atividade 02 – Jogo de nave e sensores de movimentos com o Prot1**

A segunda atividade, denominada Atividade 02 foi desenvolvida com base no Protocolo de movimento Prot1 descrito na Seção 4.4. Trata-se de um jogo de reação e precisão, que explora os movimentos e tempos de reação do usuário. O jogo é controlado por meio dos sensores de movimento dos dispositivos móveis, nos quais o

usuário tem a sensação de estar manuseando um volante de um veículo. Ao girar o celular para a esquerda, a nave movimenta-se para a esquerda, e ao girar para a direita, a nave movimenta-se para a direita.

O desafio principal do jogo está em desviar de um canhão que despenca de cima para baixo a intervalos regulares. A partida termina quando ocorre uma colisão entre o objeto que cai e a nave controlada pelo usuário. A Figura 49 ilustra a atividade desenvolvida.

**Figura 49 – Atividade 02**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Assim como na Atividade 01, para a Atividade 02 a aplicação da Lei de Hick não é necessariamente apropriada, principalmente por não haver uma variação de quantidade de ações disponíveis na atividade, necessária para geração do conjunto de dados suficiente para análise individual do usuário. Porém, isso não impede a aferição de uma média do tempo de reação, que é feita utilizando uma média simples. Embora não seja aplicada diretamente, os atributos necessários são armazenados e utilizados quando explorado a Lei de Hick na Seção 5.4.

Como forma de incrementar a dificuldade, a cada 3 (três) desvios bem-sucedidos, a velocidade do objeto que despenca aumenta progressivamente até atingir um ponto em que a rapidez é tal que o usuário não consegue mais evitar a colisão e, conseqüentemente, o jogo se encerra.

Durante a execução do jogo, diversos dados são registrados para posterior análise. Entre eles, tem-se o tempo de reação a cada novo surgimento do objeto que despenca, o tempo de reação médio, a aceleração média dos movimentos para a esquerda e para a direita, além da quantidade total de inimigos desviados pelo jogador.

A coleta das informações visa permitir uma análise dos aspectos relacionados à resposta motora do usuário e à evolução de seu desempenho ao longo do jogo. A Figura 50 exibe um exemplo do relatório gerado durante a execução do jogo.

**Figura 50 – Relatório gerado**

```

*****
Execução do Programa. Início: 16:44:33
*****
Tempo Total: 18,00547
Tempos de reação:
0,5346432
0,03336872
0,2671509
0,1670053
0,1002753
0,4345479
0,3340596
0,03341874
0,03338194
Tempo de reação médio: 0,2153168
Aceleração média do movimento para esquerda: 32,95555 m/s2
Aceleração média do movimento para direita: 27,39126 m/s2
Quantidade de inimigos desviados: 8
Level alcançado: 3
*****

```

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Para cada execução do jogo, 2 (dois) cronômetros são disparados, o primeiro que registra o tempo total da seção, e o segundo que calculará cada tempo de reação quando um novo inimigo for criado e aparecer na cena.

O segundo cronometro é pausado e armazenado quando o usuário efetua um movimento para alguma das duas direções possíveis (direita ou esquerda). Em cada rotação do dispositivo, ou seja, mudança de direção, é capturado o tempo de aceleração e para qual direção se originou o movimento.

A cada 3 (três) desvios bem-sucedidos, a velocidade no qual o inimigo se movimenta é incrementada em 1.5x, tornando o jogo dinâmico, desafiador e finito, pois dessa forma a velocidade se tornará rápida o suficiente para o usuário não conseguir reagir.

Quando uma colisão é detectada, seu tempo total é armazenado, bem como é calculado a média do tempo de reação e a média da aceleração do movimento, separados por direção (direita ou esquerda). O objeto a ser movimentado retorna para o centro da tela e o inimigo retoma sua velocidade inicial e o jogo recomeça.

A partir desses dados, foi possível analisar o desempenho dos movimentos, observando o tempo de reação dos jogadores em resposta ao surgimento de novos inimigos. Outros dados importantes observados foi a aceleração do movimento dos usuários em detrimento da direção, identificando direções nas quais os usuários possuem mais destreza.

A cada execução, o tempo de reação médio, aceleração e suas direções, e quantidade de objetos desviados, que estão relacionados ao nível de dificuldade nas quais os usuários atingiram, são métricas que foram utilizadas para a análise do desempenho dos movimentos.

### *5.3.1 Execução e coleta de dados para a Atividade 02*

Na execução do jogo, cada um dos 10 (dez) participantes, nomeados em P1, P2, até P10 foram instruídos previamente a movimentar o elemento nave com base no movimento do dispositivo móvel, desviando do canhão que despenca na tela.

A tarefa foi repedida diversas vezes, com uma quantidade mínima de 10 (dez) repetições. Essas repetições permitiram experiências diferentes pois o objeto canhão sempre surge em uma posição aleatória, e a cada tentativa o usuário é desafiado a chegar em um nível de dificuldade superior ao já conquistado.

Após a execução do jogo, foram gerados os dados que serão analisados posteriormente. A Tabela 10 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para os 10 (dez) usuários participantes deste experimento.

**Tabela 10 – Comparação do resultado geral**

<b>Usuário</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade máx. de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
<b>P1</b>	0,298	8	33,693	35,165
<b>P2</b>	0,376	25	35,169	39,289
<b>P3</b>	0,330	21	54,441	52,720
<b>P4</b>	0,547	22	29,6237	26,7199
<b>P5</b>	0,585	36	27,899	29,074
<b>P6</b>	0,581	22	38,345	37,671
<b>P7</b>	0,664	17	39,230	43,008
<b>P8</b>	0,277	24	52,909	52,465
<b>P9</b>	0,381	16	46,052	40,336
<b>P10</b>	0,458	39	37,382	31,404

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Os usuários que atingiram o mesmo número de inimigos desviados em mais de uma tentativa tiveram seus tempos de reação médios e suas acelerações agrupadas. A partir desse agrupamento, calculou-se uma média para cada atributo. As tentativas agrupadas representam instâncias em que o usuário alcançou o mesmo nível de desempenho no jogo.

A Tabela 11 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P1.

**Tabela 11 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P1**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,534	0	37,607	0,618
0,251	1	37,569	0,184
0,351	3	34,681	0,351
0,106	5	25,652	0,106
0,215	8	32,956	0,215

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A Tabela 12 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P2.

**Tabela 12 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P2**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,167	0	29,565	50,768
0,404	1	36,814	38,163
0,489	2	36,472	34,494
0,200	3	32,724	45,302
0,491	4	40,171	41,224
0,308	8	39,735	34,385
0,839	25	30,702	30,688

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A Tabela 13 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P3.

**Tabela 13 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P3**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,549	0	57,372	66,287
0,287	1	45,013	51,391
0,543	2	81,594	54,478
0,172	3	54,403	57,167
0,399	6	73,053	67,806
0,424	7	53,339	66,951
0,650	8	40,209	38,031
0,505	15	37,761	33,758
0,536	21	47,223	38,615

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A Tabela 14 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P4.

**Tabela 14 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P4**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,267	0	41,545	31,282
0,650	3	37,183	31,738
0,562	4	13,699	24,532
0,489	5	37,347	39,355
0,479	8	34,657	30,515
0,555	10	22,053	17,34
0,611	17	28,508	17,666
0,504	20	37,541	30,249
0,529	21	25,588	24,328
0,895	22	18,116	20,194

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A Tabela 15 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P5.

**Tabela 15 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P5**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,422	5	30,906	27,769
0,653	18	25,408	46,039
0,566	28	27,771	26,829
0,531	32	30,828	29,020
0,569	33	28,035	25,937
0,525	34	28,103	26,236
0,627	35	27,578	23,135
0,648	36	24,562	27,625

**Fonte: A autoria própria (2023).**

A Tabela 16 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P6.

**Tabela 16 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P6**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,632	0	40,950	37,294
1,735	1	29,714	35,168
0,465	2	44,992	38,879
0,554	20	39,425	41,398
0,424	22	36,646	35,618

**Fonte: A autoria própria (2023).**

A Tabela 17 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P7.

**Tabela 17 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P7**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
1,155	0	35,397	41,128
0,330	2	44,986	57,586
1,353	3	24,172	22,853
0,823	4	38,911	45,795
0,170	10	47,032	51,228
0,309	11	42,621	46,252
0,409	17	41,489	36,212

**Fonte: A autoria própria (2023).**

A Tabela 18 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P8.

**Tabela 18 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P8**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,251	0	59,676	87,271
0,201	1	54,175	46,473
0,768	2	92,202	62,108
0,226	3	48,293	47,566
1,192	4	44,196	43,733
0,033	6	51,664	48,086
0,160	8	40,126	45,030
0,170	24	32,940	39,455

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A Tabela 19 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P9.

**Tabela 19 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P9**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,225	0	65,783	55,840
0,489	1	40,776	37,565
0,789	2	58,009	47,774
0,213	3	55,700	50,039
0,784	4	29,701	28,690
0,793	16	26,343	22,106

**Fonte: Autoria própria (2023).**

A Tabela 20 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 02 para o usuário P10.

**Tabela 20 – Coleta de dados: Atividade 02 / Usuário P10**

<b>Tempo de reação médio (s)</b>	<b>Quantidade de inimigos desviados</b>	<b>Aceleração média para esquerda</b>	<b>Aceleração média para direita</b>
0,685	0	41,590	45,124
0,601	1	43,767	31,291
0,440	6	32,034	25,672
0,515	7	31,907	25,410
0,361	8	44,379	30,751
0,735	9	32,505	26,885
0,542	12	35,645	29,836
0,342	39	37,233	36,261

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Com base nos dados coletados pode-se então analisar a Atividade 02.

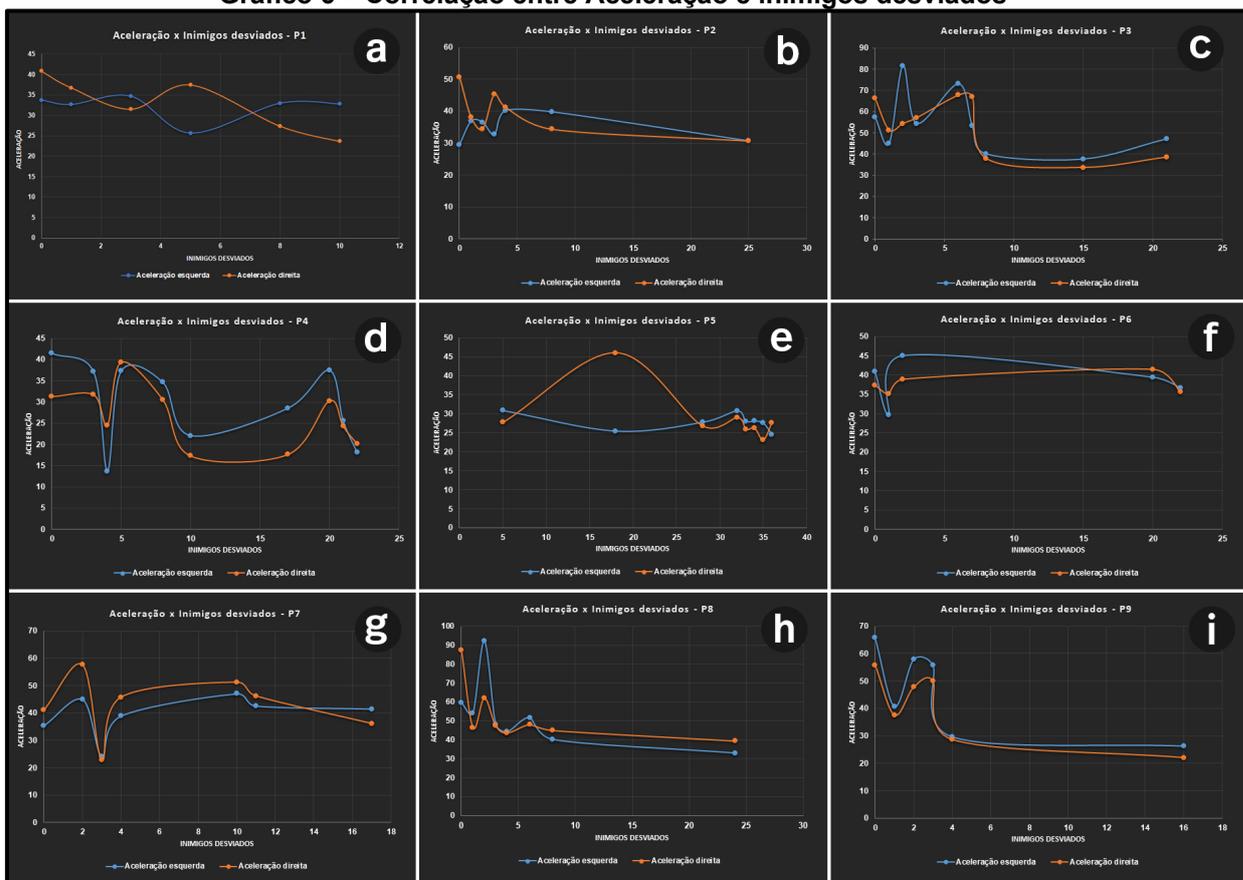
### 5.3.2 Análise dos resultados da Atividade 02

A aplicação do Protocolo de movimento Prot1 permitiu analisar o desempenho dos movimentos quando utilizando os sensores acelerômetro e giroscópio dos dispositivos móveis, observando o tempo de reação a cada surgimento de novos inimigos, aceleração dos movimentos para esquerda ou direita, quantidade de inimigos desviados e por fim, uma comparação entre os 10 (dez) alunos que participaram do experimento.

O propósito desta análise é registrar e avaliar o desempenho da motricidade fina dos usuários, tanto em uma perspectiva coletiva ou individual. Para tal, foram analisados a relação entre aceleração e a quantidade de inimigos desviados, a relação entre aceleração e tempo de reação, a quantidade de inimigos desviados e velocidade da aceleração para direita e esquerda.

Primeiramente quando analisado coletivamente a relação entre aceleração e inimigos desviados, não se observou uma correlação entre essas variáveis (Gráfico 6). Isso sugere que a capacidade de desviar de um maior número de inimigos não depende necessariamente da aceleração dos movimentos realizados pelo usuário, mas pode ser influenciada por outros fatores, como a estratégia de jogo adotada, o tempo de reação ao aparecimento do inimigo, entre outros.

Gráfico 6 – Correlação entre Aceleração e inimigos desviados



Fonte: Autoria Própria (2023).

Quanto à relação entre aceleração e tempo de reação, também não se identificou um padrão definido (Gráfico 7). Isso pode ser interpretado como uma indicação de que a rapidez com que um usuário reage ao estímulo (aparecimento do inimigo) não está diretamente ligada à aceleração do movimento subsequente. Ou seja, um usuário pode ter um tempo de reação rápido, mas optar por movimentos mais controlados e menos acelerados, ou vice-versa.

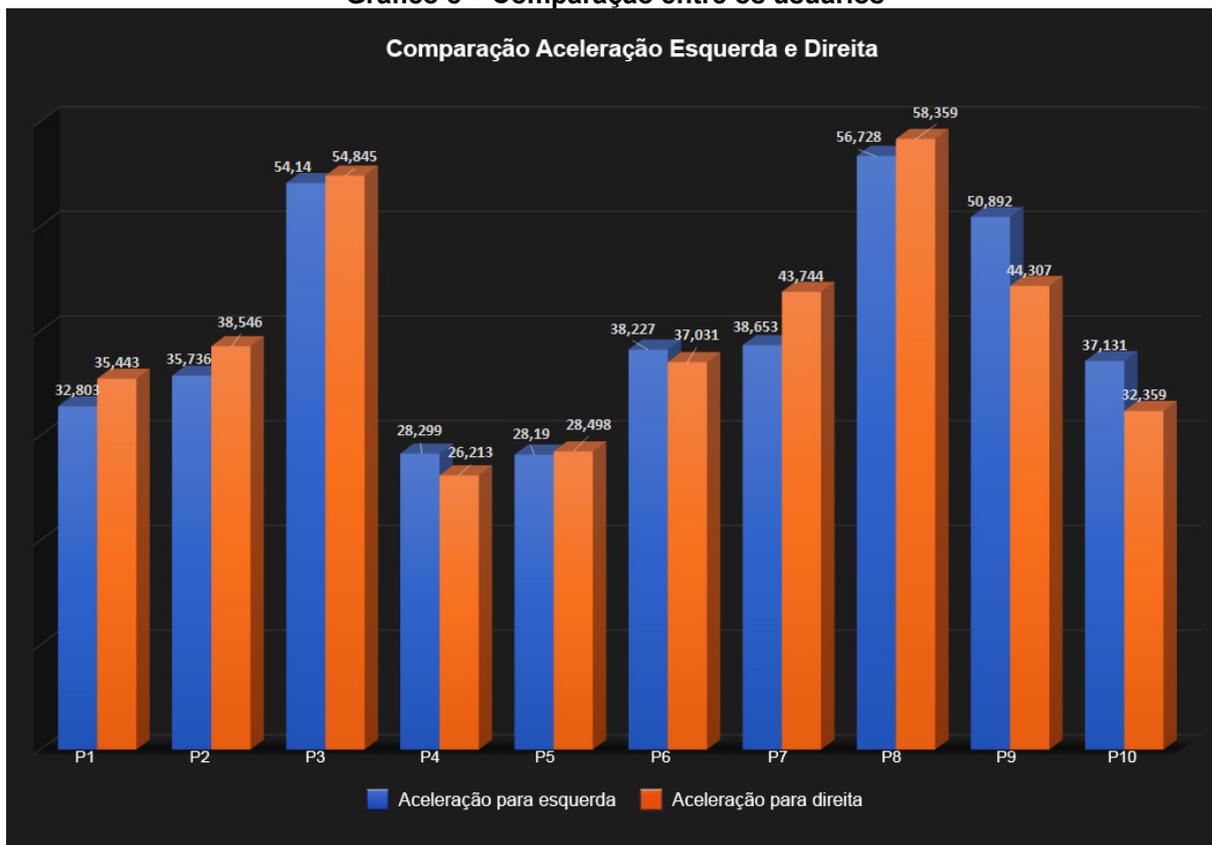
Gráfico 7 – Correlação entre Aceleração e Tempo de reação



Fonte: Autoria Própria (2023).

Na análise da aceleração média, verificou-se que não há uma predominância de maior aceleração em uma direção específica entre os usuários (Gráfico 8). Em vez disso, a tendência é variada, indicando que cada usuário tem um comportamento distinto. Cada indivíduo apresenta uma resposta única ao jogo, o que reforça a importância de considerar a individualidade do usuário em análises de desempenho.

Gráfico 8 – Comparação entre os usuários



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Gráfico 9 apresenta uma visualização individual do desempenho de cada usuário em relação à quantidade de inimigos desviados no jogo. Este indicador é importante para entender a capacidade de reação e coordenação motora de cada participante, bem como sua capacidade de se adaptar ao aumento de velocidade do jogo.

O número de inimigos desviados é também um reflexo direto do tempo de duração da partida para cada jogador, revelando, assim, seu nível de habilidade e resistência no contexto deste jogo.

Gráfico 9 – Comparação entre os usuários



Fonte: Autoria Própria (2023).

Em resumo, na análise dos resultados, notou-se que não existe um padrão nas relações entre aceleração, inimigos desviados e tempo de reação entre todos os usuários. A ausência de um padrão definido nestas relações reforça a ideia de que a experiência de cada usuário no jogo é única e influenciada por uma combinação complexa de fatores. Isso realça a importância de analisar os dados de jogo a partir de uma perspectiva individualizada e sugere que estratégias de personalização da dificuldade do jogo, baseadas no desempenho individual do usuário, podem ser mais eficazes do que uma abordagem de tamanho único.

Para ilustrar como é possível extrair informações a partir dos dados coletados, considera-se a análise do usuário P10, escolhido por ter alcançado a maior quantidade de desvios. Esta análise individual permite uma compreensão da dinâmica e do desempenho do jogador durante o jogo, evidenciando aspectos como tempo de reação, quantidade de inimigos desviados e a aceleração dos movimentos para a esquerda e para a direita. A Tabela 21 apresenta o resultado geral dos dados coletados para o usuário P10.

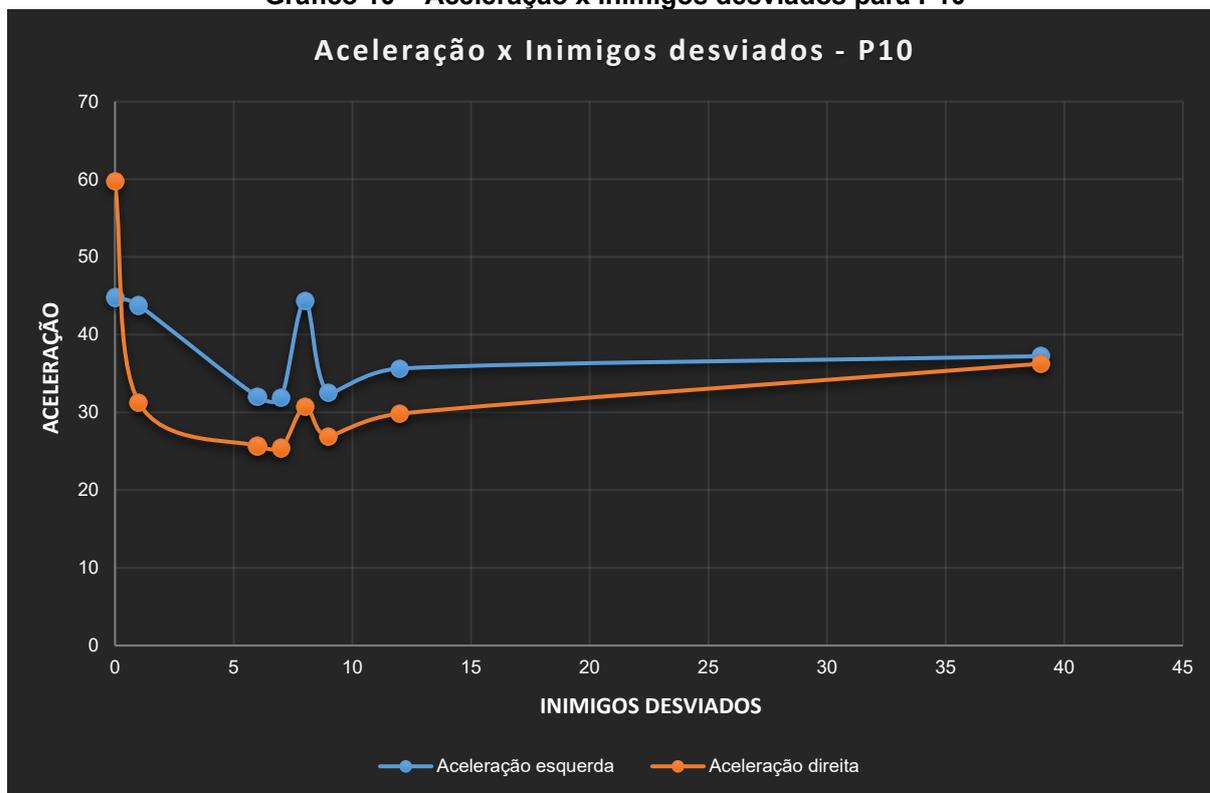
Tabela 21 – Resultado geral usuário P10

Tempo de reação médio (s)	Quantidade máx. de inimigos desviados	Aceleração média para esquerda	Aceleração média para direita
0,458	39	37,131	32,359

Fonte: Autoria própria (2023).

O Gráfico 10 exibe a relação entre a aceleração e o número de inimigos desviados por P10. Este gráfico ajuda a entender se existe uma conexão entre a velocidade dos movimentos do usuário (tanto para a esquerda quanto para a direita) e a quantidade de inimigos que ele conseguiu evitar com sucesso em cada tentativa.

Gráfico 10 – Aceleração x Inimigos desviados para P10



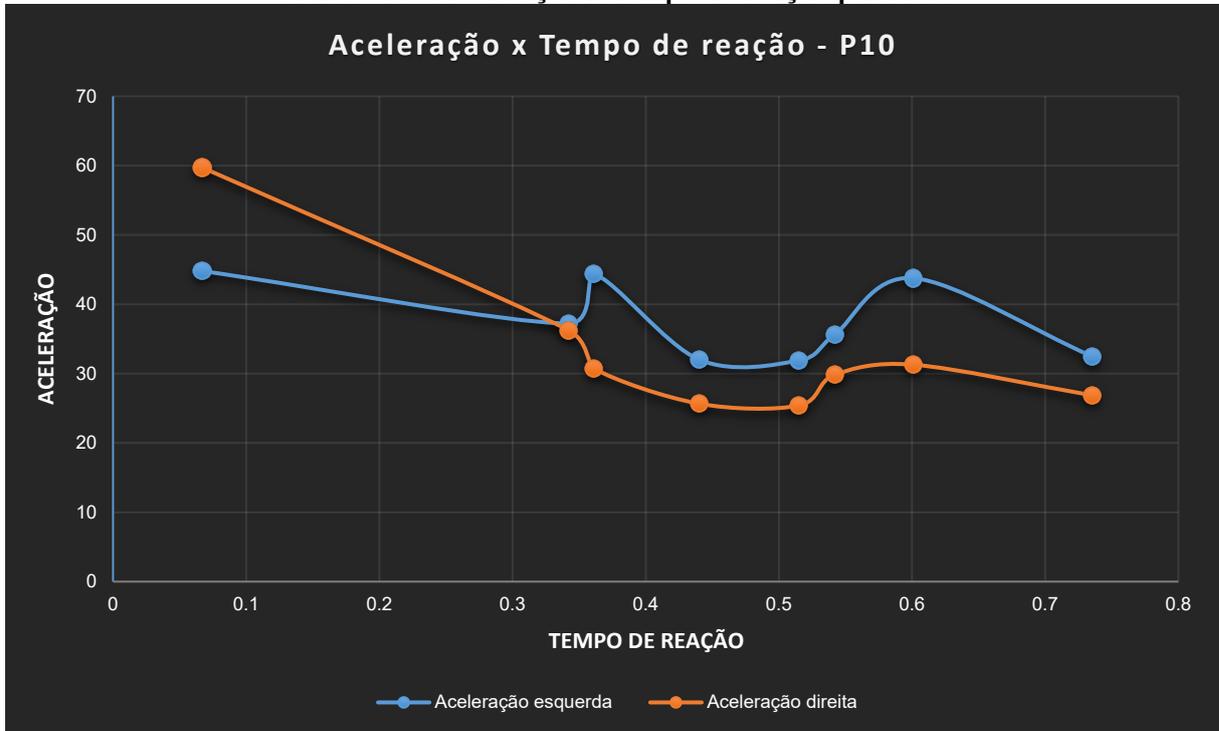
Fonte: Autoria Própria (2023).

Na análise da relação entre Aceleração e Inimigos desviados, o usuário P10 demonstrou inicialmente uma maior destreza na aceleração dos movimentos para a esquerda. Contudo, à medida que o número de inimigos desviados crescia, observou-se um incremento significativo na aceleração para a direita, chegando quase ao mesmo nível da aceleração para a esquerda. Isso pode indicar uma capacidade de adaptação do jogador ao desafio proposto, ajustando sua aceleração conforme necessário para obter um melhor desempenho no jogo.

O Gráfico 11 apresenta o gráfico que estabelece uma relação entre a aceleração dos movimentos e o tempo de reação do jogador. Este gráfico proporciona

uma visão da interação entre a rapidez da resposta do jogador a um novo estímulo (o tempo de reação) e a velocidade com a qual ele executa os movimentos (aceleração), e como esses fatores podem influenciar o desempenho no jogo.

**Gráfico 11 – Aceleração x Tempo de reação para P10**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Observando o usuário P10, fica evidente que seu desempenho é acentuadamente superior quando realiza movimentos para o lado esquerdo. Esta preferência pela esquerda pode ser atribuída a diversos fatores, tais como destreza manual, coordenação motora ou até mesmo a comodidade do layout do jogo, sendo um elemento importante a ser considerado para análises futuras.

Em resumo, esta análise permite compreender melhor como os usuários interagem com o jogo, quais fatores influenciam no seu sucesso dos seus movimentos. Entretanto, para uma compreensão ainda mais precisa e detalhada, é interessante realizar novos estudos, utilizando um número maior de participantes e incorporando outras métricas e métodos de análise.

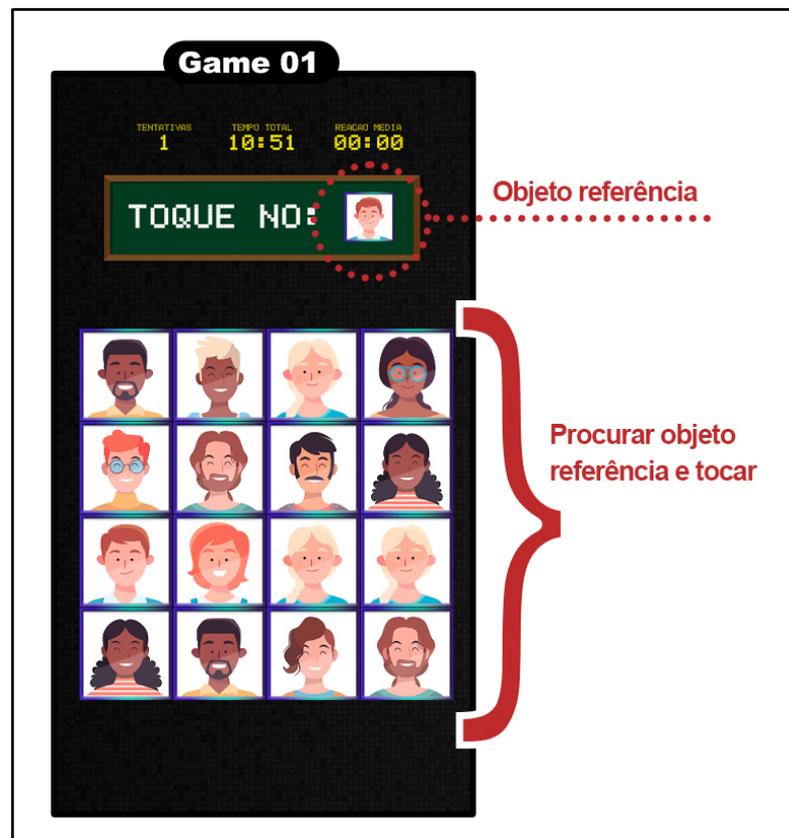
#### **5.4 Atividade 03 – Jogo de toque na tela com o Prot2 e a Lei de Hick**

A terceira atividade, denominada Atividade 03 desenvolvida com base no Protocolo Prot2 (toque na tela) descrito na Seção 4.5. O experimento foi conduzido

para avaliar o desempenho dos participantes em um jogo de identificação de objetos, que explora o tempo de reação e precisão do toque na tela.

Essa atividade trata-se de um jogo no estilo tabuleiro (Figura 51), onde é exibida uma referência visual indicando qual objeto específico deve ser tocado no tabuleiro. O objeto referência e a disposição dos objetos no tabuleiro são gerados aleatoriamente para cada tentativa, garantindo uma variedade de combinações possíveis. Além disso, essa atividade apresenta uma variação de ações possíveis a serem tomadas pelo usuário, permitindo assim a utilização da Lei de Hick como ferramenta para medir e prever futuros resultados em outras atividades.

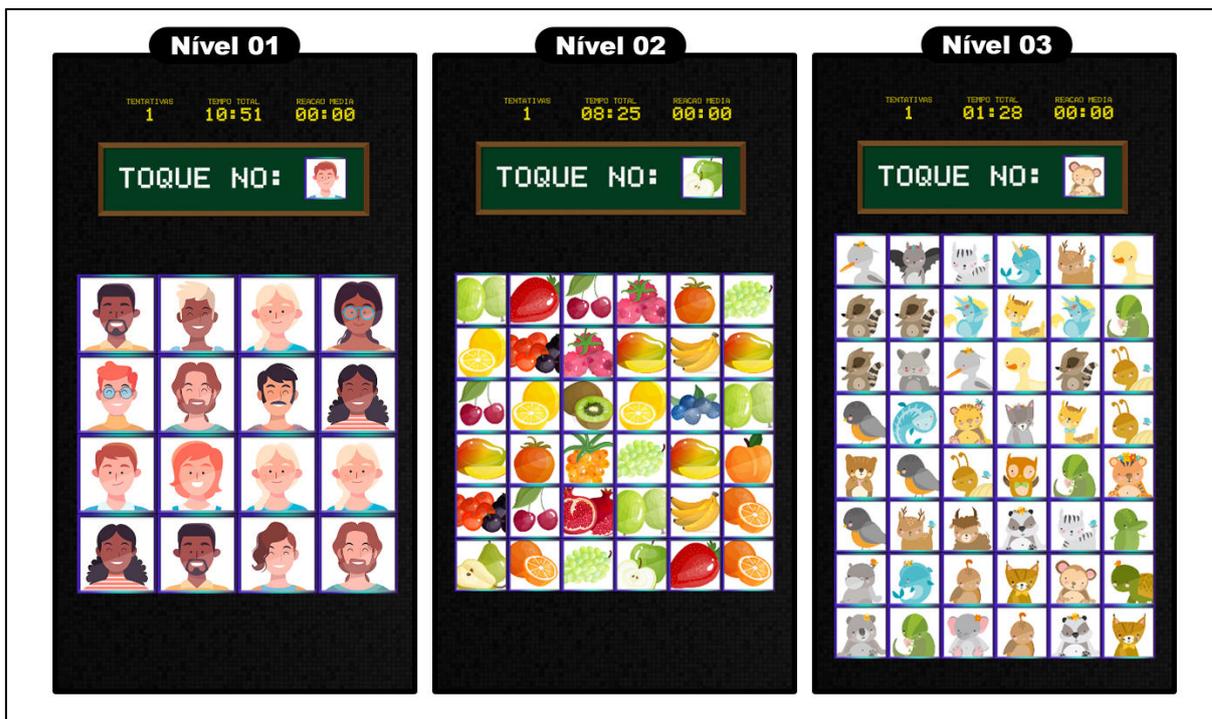
**Figura 51 – Atividade 03**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Para essa atividade três (3) níveis de dificuldades (Figura 52) foram desenvolvidos, que se diferem entre si pela variação da quantidade de objetos na tela, sendo o primeiro com um tabuleiro de 16 (dezesesseis) objetos, o segundo com 36 (trinta e seis) objetos, e por fim o terceiro com 48 (quarenta e oito) objetos. Essas variações tornam a busca do objeto referência mais desafiadora na medida em que mais opções estão disponíveis na tela e possibilita a utilização da Lei de Hick.

Figura 52 – Níveis de dificuldades



Fonte: Autoria Própria (2023).

Durante a execução do jogo, foram registrados dados como a quantidade de objetos no tabuleiro, o tempo de reação de cada tentativa, o tempo de reação médio, o tempo total, a quantidade de tentativas, e uma verificação se a atividade foi concluída.

A Figura 53 exibe um exemplo de relatório gerado durante a execução do jogo. Essa imagem exemplifica como os dados foram registrados e organizados para análise posterior em cada execução.

Figura 53 – Relatório gerado

```

*****
Execução do Programa. Início: 18:15:55
*****
Quantidade de objetos: 48
Ganhou = True
Tempos de reação:
5,47815
2,350319
Tempo Reacao medio: 3,914233
Tempo Total: 7,828466
Tentativas: 2

```

Fonte: Autoria Própria (2023).

Para cada execução do jogo são ativados dois cronômetros: o primeiro para medir o tempo total da sessão e segundo para registrar o tempo de reação, que é interrompido quando o usuário toca em uma das peças.

Ao tocar em uma peça que não corresponda à peça de referência, o cronômetro total prossegue sua contagem ininterrupta, enquanto o cronômetro de tempo de reação é reiniciado. Simultaneamente, o tabuleiro e a peça de referência são reconfigurados aleatoriamente, oferecendo ao usuário uma nova oportunidade de selecionar a peça correta do tabuleiro.

Além de registrar o tempo de reação para cada tentativa e o tempo total de jogo, também são registradas outras informações relevantes no plano de fundo, entre elas, a quantidade de tentativas realizadas pelo usuário, se ele foi bem-sucedido no jogo (ao selecionar a peça correta), o tempo de reação médio (calculado com base nos tempos de reação de cada tentativa) e o tempo total de jogo.

As análises propostas para esta atividade oferecem uma compreensão de como as características individuais dos jogadores e suas estratégias podem influenciar o desempenho no jogo.

#### *5.4.1 Execução e coleta de dados para a Atividade 03*

Na execução do jogo, cada um dos 10 (dez) participantes foram instruídos previamente identificar o objeto alvo e em seguida tocar no objeto correspondente dentre as opções disponíveis no tabuleiro.

A tarefa foi repetida diversas vezes, com uma quantidade mínima de 10 (dez) repetições por nível de dificuldade. Essas variações permitiram experiências diferentes pois a cada nova execução o objeto alvo e a posição dentro do tabuleiro eram geradas aleatoriamente, permitindo assim uma análise mais das implicações do Protocolo Prot2.

A Tabela 22 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 03 para todos os usuários deste experimento.

**Tabela 22 – Resultado geral para a Atividade 03**

<b>Usuário</b>	<b>Precisão no toque</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	91,43%	2,809
<b>P2</b>	78,65%	1,676
<b>P3</b>	94,67%	2,071
<b>P4</b>	85,94%	1,584
<b>P5</b>	100%	1,990
<b>P6</b>	95,45%	1,610
<b>P7</b>	95,08%	2,774
<b>P8</b>	94,74%	2,276
<b>P9</b>	97,5%	1,666
<b>P10</b>	83,82%	1,820

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A Tabela 23 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 03 no Nível 01 para todos os usuários deste experimento.

**Tabela 23 – Coleta de dados: Atividade 03 / Nível 01**

<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	100%	2,214
<b>P2</b>	63,33%	1,526
<b>P3</b>	94,12%	1,893
<b>P4</b>	100%	1,464
<b>P5</b>	100%	2,223
<b>P6</b>	100%	1,804
<b>P7</b>	100%	2,506
<b>P8</b>	100%	2,122
<b>P9</b>	100%	1,959
<b>P10</b>	94,74%	1,966

A Tabela 24 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 03 no Nível 02 para todos os usuários deste experimento.

**Tabela 24 – Coleta de dados: Atividade 03 / Nível 02**

<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	84%	2,945
<b>P2</b>	94,74%	1,463
<b>P3</b>	94,44%	1,874
<b>P4</b>	73,91%	1,584
<b>P5</b>	100%	1,642
<b>P6</b>	91,67%	1,390
<b>P7</b>	94,74%	2,633
<b>P8</b>	92,86%	2,205
<b>P9</b>	93,33%	1,342
<b>P10</b>	75%	1,569

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

A Tabela 25 apresenta os dados gerados pela execução da Atividade 03 no Nível 03 para todos os usuários deste experimento.

**Tabela 25 – Coleta de dados: Atividade 03 / Nível 03**

<b>Usuário</b>	<b>Precisão</b>	<b>Tempo de reação médio (s)</b>
<b>P1</b>	83,33%	3,269
<b>P2</b>	93,33%	2,038
<b>P3</b>	90,47%	2,446
<b>P4</b>	85,71%	1,704
<b>P5</b>	100%	2,107
<b>P6</b>	92,31%	1,637
<b>P7</b>	82,60%	3,184
<b>P8</b>	92,31%	2,500
<b>P9</b>	100%	1,699
<b>P10</b>	87,5%	1,926

**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Até o momento, foi avaliado cada jogo considerando o tempo de reação por meio de uma média simples, devido ao fato de não haver uma variedade de ações disponíveis para o usuário nas atividades anteriores.

Conforme explicado anteriormente, essa análise permite observar o tempo médio de reação com a utilização da Lei de Hick, possibilitando a análise individual quanto no grupo, de maneira semelhante ao que foi feito com a aplicação da Lei de Fitts na primeira atividade.

A Tabela 26 apresenta os tempos de reação médios dos usuários separados por nível de dificuldade (quanto maior o tabuleiro, maiores as ações possíveis).

**Tabela 26 – Quantidade de ações possíveis  
Tempo de reação médio (s)**

Usuário	Nível 1 (16 ações)	Nível 2 (36 ações)	Nível 3 (48 ações)
P1	2,214	2,945	3,269
P2	1,526	1,463	2,038
P3	1,893	1,874	2,446
P4	1,464	1,584	1,704
P5	2,223	1,642	2,107
P6	1,804	1,390	1,637
P7	2,506	2,633	3,184
P8	2,122	2,205	2,500
P9	1,959	1,342	1,699
P10	1,966	1,569	1,926

Fonte: Autoria Própria (2023).

Os tempos de reação médios fornecem subsídios para a obtenção do “TR” (Tempo de reação) resultante da aplicação da fórmula da Lei de Hick. Em seguida, os tempos de reação foram relacionados com a quantidade de ações possíveis em um gráfico de dispersão e aplicado a regressão linear. O Gráfico 12 ilustra a dispersão do usuário P1. Os demais gráficos de dispersão e a regressão linear estão anexadas no Apêndice B deste trabalho.

**Gráfico 12 – Gráfico de dispersão TR x Ações possíveis**



Fonte: Autoria Própria (2023).

Como na Lei de Fitts, a variável “a” da fórmula da Lei de Hick representa o coeficiente linear da equação da reta. Já a variável “b” representa o coeficiente angular

da equação da reta. No contexto do plano cartesiano, a variável "a" está relacionada ao valor de "y" e a variável "b" ao valor de "x". Portanto, utilizando ainda o gráfico gerado para o usuário P1 (Figura 66), a equação da reta que define essa regressão é dada por:  $Y = 1,698 + 0,033x$ . Ou seja, para o valor de "a" da fórmula da Lei de Hick temos 1,698 e para a variável "b" temos o valor de 0,033.

Após obter os valores de "a" e "b" para o usuário específico, é possível utilizar esses valores para prever o tempo de reação em outros níveis de dificuldade, variando a quantidade de ações possíveis que o usuário possa realizar, conforme necessário. A Tabela 27 apresenta os resultados obtidos após a análise para cada usuário participante do experimento.

**Tabela 27 – Resultado dos dados por usuário da Atividade 03**  
**Valores das variáveis que compõem a Lei de Hick**

Usuário	Variável "a"	Variável "b"
P1	1,698	0,033
P2	1,207	0,014
P3	1,557	0,015
P4	1,340	0,007
P5	2,198	0,006
P6	1,837	0,007
P7	2,118	0,020
P8	1,909	0,011
P9	2,015	0,010
P10	1,925	0,003

Fonte: Autoria Própria (2023).

Com base nos resultados pode-se substituir os valores obtidos por usuário diretamente na fórmula da Lei de Hick, conforme exemplificado para o usuário P1 no Quadro 21.

**Quadro 21 – Aplicação da Lei de Hick**

<b>Fórmula Hick original:</b>	$TR = a + b * H$
<b>Fórmula aplicada no usuário P1:</b>	$TR = 1,698 + 0,033 * H$

Fonte: Autoria própria (2023).

É importante destacar que a variável "H", presente na Lei de Hick, pode ser interpretada de duas formas distintas: uma quando há igual probabilidade de o usuário escolher qualquer ação e outra quando cada ação tem sua probabilidade específica. Na abordagem adotada neste trabalho, assumiu-se que todas as ações possíveis apresentam a mesma chance de serem selecionadas pelo usuário. Isso ocorre porque

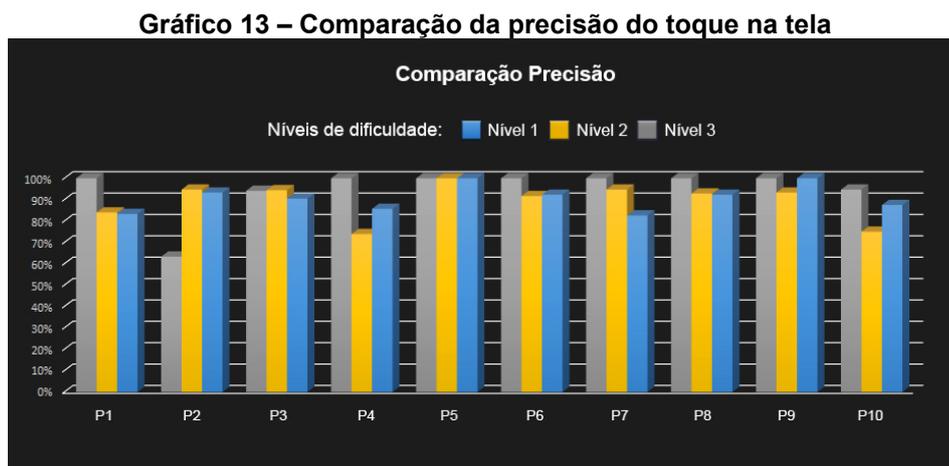
os níveis propostos não possuem elementos que levem o indivíduo a priorizar uma determinada ação em detrimento das demais.

Por fim, todos os usuários dispõem dos dados necessários para a utilização da Lei de Hick e previsões em futuras atividades. Essa abordagem permite que se obtenha uma estimativa personalizada do tempo de reação para qualquer outra atividade de um determinado usuário.

#### 5.4.2 Análise dos resultados da Atividade 03

A implementação do Protocolo Prot2 permitiu avaliar a agilidade e precisão dos usuários ao interagir com interfaces gráficas em dispositivos móveis. Foram observados o tempo total da sessão, o tempo de reação a cada nova configuração do tabuleiro, a quantidade de tentativas, o sucesso do usuário no jogo (ao selecionar a peça correta), que implica na precisão do movimento, e o tempo de reação médio e sua aplicação na Lei de Hick.

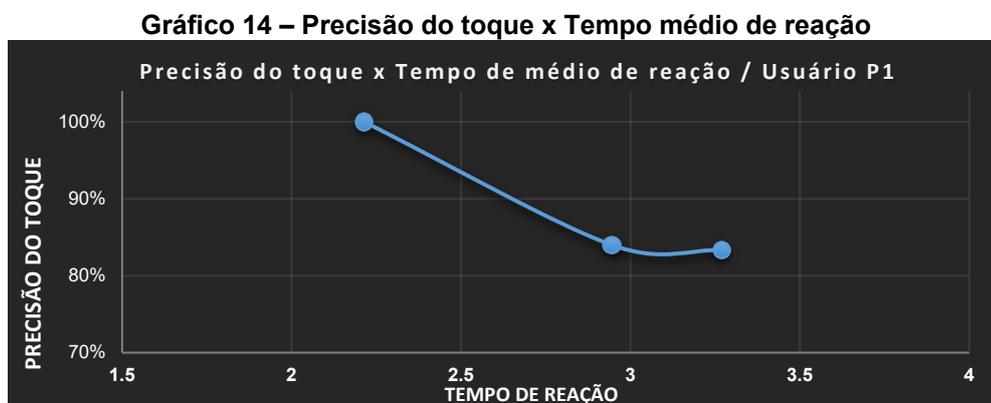
O primeiro aspecto a ser abordado refere-se à comparação da precisão do toque dos usuários nos três níveis de dificuldade da atividade. Observa-se que o nível de dificuldade proposto não foi elevado, o que justifica a notável precisão dos usuários ao tocar na tela. Adicionalmente, os resultados apresentaram-se consistentes entre os participantes, sem distinções significativas nas análises individuais, conforme ilustrado no Gráfico 13.



Fonte: Autoria Própria (2023).

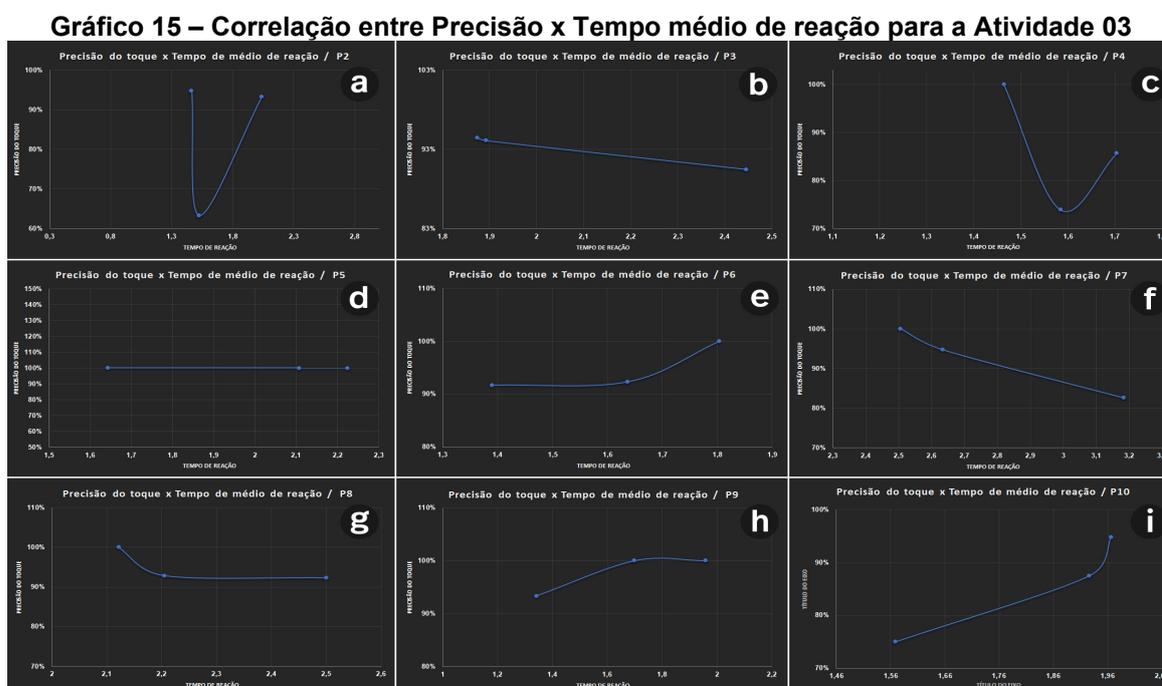
O Gráfico 14 apresenta a relação entre a precisão e o tempo de reação para o usuário P1. Observa-se que a precisão tende a diminuir conforme o tempo de reação

aumenta, ou seja, quanto mais tempo o usuário demanda para iniciar uma ação, menos preciso é seu movimento.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Apesar de não se ter identificado um padrão uniforme, nota-se que essa propensão de redução na precisão com o aumento dos tempos de reação também se manifestou nos usuários P3, P7 e P8 (Gráfico 15 - b, f, g). Uma hipótese para essa tendência é que, ao demorar a encontrar a peça correta, algum fator pode ter levado o usuário a tomar uma decisão mais rápida, comprometendo a precisão do toque. Isso sugere que, para esses usuários, o aumento no tempo de reação pode ter resultado em um declínio na precisão do toque.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Os usuários P6 e P10 tiveram melhores precisões de toque na tela com o aumento do tempo de reação. Para eles, uma hipótese para essa tendência é que, ao

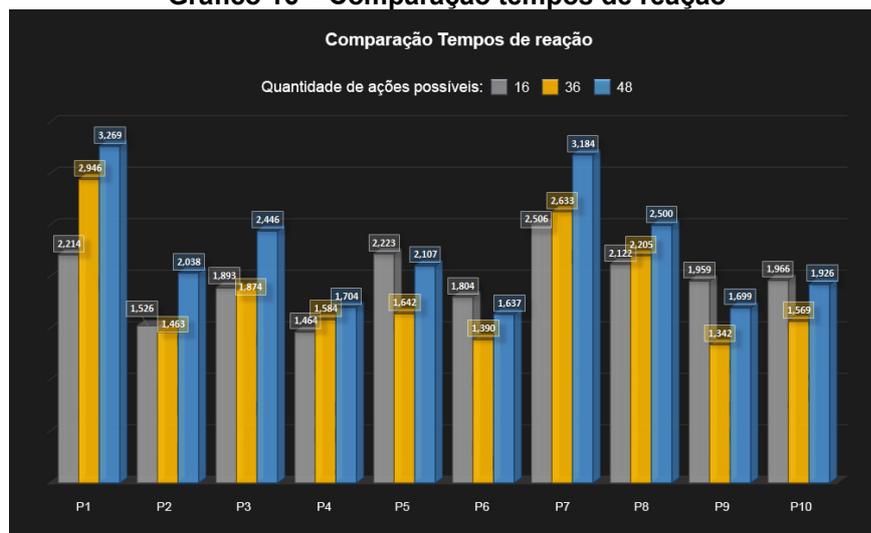
demorar mais para realizar um toque, houve mais tempo para pensar e realizar um toque mais preciso.

Enquanto algumas semelhanças foram identificadas em determinados usuários, a maioria apresentou resultados distintos e sem correlações. Isso sugere a inexistência de um padrão definido, ou pelo menos um padrão que não foi detectado durante a análise dos dados. Isso reforça a importância de uma avaliação individualizada, considerando as características e peculiaridades de cada indivíduo.

Os dados ressaltam que cada usuário tem sua própria dinâmica de interação, que pode ser influenciada por uma série de fatores, como habilidades motoras individuais, familiaridade com a interface do jogo, entre outros. Assim, é importante não generalizar os resultados, mas sim, explorar a singularidade de cada participante.

Uma outra observação nos dados registrados está em sintonia com a afirmação de Hick, que indica um crescimento logarítmico no tempo de reação à medida que o número de opções disponíveis aumenta. Ao comparar o tempo médio de reação entre os diferentes participantes, identifica-se a tendência de aumento de tempo de reação conforme o aumento de ações possíveis. Contudo, houve desvios nesse padrão, como é o caso dos usuários P5, P6, P9 e P10, que mostraram comportamentos divergentes da Lei de Hick. Isso salienta a importância de uma análise individualizada para compreender as razões das discrepâncias. Tal comparação pode ser observada no Gráfico 16.

**Gráfico 16 – Comparação tempos de reação**



**Fonte: Autoria Própria (2023).**

Os resultados obtidos no experimento oferecem uma visão sobre a capacidade individual dos usuários em processar e decidir diante de diversas

alternativas. O tempo médio de reação serve como um indicativo da agilidade cognitiva do usuário. Se o tempo de reação é longo, pode-se inferir que o usuário está tendo dificuldades para processar as opções apresentadas, ou que está raciocinando sobre qual tomada de decisão deve ser executada.

Os resultados obtidos reforçam a previsibilidade da Lei de Hick no contexto da tomada de decisão em dispositivos móveis. Conforme aumentava o número de opções disponíveis para o usuário, o tempo de reação também aumentava, consolidando a ideia de que o processo de decisão se torna mais complexo à medida que mais escolhas são apresentadas ao indivíduo.

Por fim, destaca-se a relevância e o potencial da análise individual, que vai além da simples compilação de médias e permite uma percepção mais aprofundada do comportamento e desempenho do usuário.

## **5.5 Comparação da Arquitetura Proposta e as da Literatura**

No decorrer do presente trabalho, um mapeamento sistemático foi conduzido com o objetivo de identificar e compreender as arquiteturas de desenvolvimento de jogos já presentes na literatura acadêmica. Nesta seção, buscou-se fazer uma comparação entre a arquitetura desenvolvida neste trabalho e aquelas identificadas no mapeamento sistemático.

Tal comparação tem o propósito não apenas de destacar as singularidades e inovações introduzidas pela arquitetura proposta, mas também de situá-la dentro do panorama mais amplo das soluções já propostas disponíveis na literatura.

Foi possível elencar os seguintes diferenciais na arquitetura desenvolvida tais como foco na coordenação motora fina, flexibilidade para inserção de técnicas de avaliação, flexibilidade e adaptabilidade

Enquanto muitas arquiteturas se concentraram na estrutura, tecnologia ou outros aspectos gerais dos jogos, a arquitetura desenvolvida dá destaque ao movimento fino das mãos e à interação do usuário, que é uma abordagem menos explorada. Este foco em detalhes minuciosos da interação pode levar a *insights* significativos sobre como otimizar a experiência do usuário e o aprendizado em jogos sérios.

Diferentemente das arquiteturas encontradas, que não expressa claramente sua flexibilidade, a arquitetura proposta possui flexibilidade e adaptabilidade pois pode

ser modificada conforme novas tecnologias emergem, como por exemplo, a adição de um sensor que consiga medir o nível de pressão efetuada na tela do dispositivo.

Uma inovação da arquitetura desenvolvida é o componente central focado na mecânica da arquitetura, que é fundamentalmente orientado para a análise e mensuração dos movimentos e toques na tela com base em leis formais. Enquanto outras arquiteturas têm foco na integração de sistemas, a arquitetura desenvolvida foca na precisão e a interação do usuário. Isso permite que seja usada para aplicações que requerem *feedback* detalhado sobre a interação do usuário, por exemplo, em treinamento de habilidades motoras. Isto a difere das arquiteturas de Bontchev; Vassileva; Dankov (2019) que é focada em gerar labirintos de forma automática, ou da arquitetura de Lehmann *et al.* (2013), voltada para primeiros socorros para militares.

Separabilidade entre *Game Engine* e *Gameplay* é outra diferença da arquitetura em relação as existentes. A distinção entre a "*Game Engine*" e o "*Gameplay*" oferece clareza e modularidade durante o desenvolvimento, tornando mais simples o processo de adaptação ou modificação do jogo sem afetar a mecânica principal. Isto significa que os jogos desenvolvidos não estão necessariamente vinculados a uma forma ou uma linguagem de desenvolvimento apenas, como por exemplo, a utilização de um motor de desenvolvimento de jogos como a *Unity* juntamente com a linguagem de programação C#.

O componente "Avaliação do desempenho" da arquitetura pode modificar a *gameplay* do jogador em tempo real e oferece um elemento adaptativo que pode maximizar o engajamento e o aprendizado dos usuários, diferenciando-se de arquiteturas que podem não ter essa adaptabilidade intrínseca.

Apenas algumas das arquiteturas mapeadas, como a de Marín-Vega *et al.* (2022) e a de Vidal Jr *et al.* (2018) focam na utilização de características específicas dos dispositivos móveis, mas a proposta da arquitetura desenvolvida leva isso como princípio base, aproveitando os recursos como sensores de movimento e toque na tela.

Enquanto arquiteturas como a de Bontchev; Vassileva; Dankov (2019) focam em labirintos e a de Marín-Vega *et al.* (2020) em gamificação baseada em regras, a arquitetura desenvolvida não se limita a um gênero ou tipo de jogo, podendo ser aplicada a diversos contextos, como por exemplo, em atividades em jogos sérios voltados para o público infantil ou jogos sérios voltados ao treinamento de médicos.

A integração das Leis de Fitts e Hick permite a arquitetura estar focada em conceitos teóricos consolidado na literatura. Além disto, a criação de protocolos específicos para a implementação de sensores de movimento e atividades de toque são contribuições significativa para o campo, pois desta forma, atributos relacionados a coordenação motora fina, como tremor, velocidade de movimento, precisão, podem ser avaliados.

Algumas arquiteturas são direcionadas para contextos bem específicos, como a de Avola *et al.* (2019) (reabilitação do corpo inteiro) ou a de Lehmann *et al.* (2013) (treinamento para militares). Por sua vez, a arquitetura proposta pode ser usada em várias aplicações, uma vez que a coordenação motora fina é relevante em diversos contextos.

Em síntese, a arquitetura desenvolvida destaca-se pela especificidade no estudo da coordenação motora fina, flexibilidade na inserção de técnicas de avaliação, usando as tecnologias dos dispositivos móveis e ampla aplicabilidade em diferentes contextos. O Quadro 22 apresenta uma comparação entre as arquiteturas disponíveis com a arquitetura proposta.

**Quadro 22 – Comparação entre as arquiteturas**

<b>Arquitetura</b>	<b>Flexível / Modular?</b>	<b>Aplicação em dispositivos móveis?</b>	<b>Aplicação em múltiplos contextos?</b>	<b>Foco em coordenação motora fina?</b>
Arquitetura proposta	Sim	Sim	Sim	Sim
Kosmides et al. (2018)	Não	Sim	Não	Não
Rego; Moreira; Reis (2014)	Não	Não	Não	Não
Bontchev; Vassileva; Dankov (2019)	Não	Não	Não	Não
Avola et al. (2019)	Não	Não	Não	Não
Marín-Vega et al. (2022)	Sim	Não	Sim	Não
Sung; Cho; Um (2012)	Não	Não	Não	Não
Lehmann et al. (2013)	Sim	Não	Sim	Não
Marín-Vega et al. (2020)	Sim	Não	Sim	Não
Vahldick; Mendes; Marcelino (2016)	Não	Não	Não	Não
Vidal Jr et al. (2018)	Sim	Não	Sim	Não

**Fonte: Autoria própria (2023).**

O Quadro 20 apresenta uma comparação entre diferentes arquiteturas de jogos sérios, analisando-as sob quatro critérios distintos: sua flexibilidade e modularidade, capacidade de aplicação em dispositivos móveis, versatilidade para múltiplos contextos e se possuem foco em coordenação motora fina. A modularidade

é um indicador de quão adaptáveis essas arquiteturas são às mudanças e personalizações. Enquanto arquiteturas como a proposta por Marín-Vega *et al.* (2022) demonstram ser flexíveis, outras, a exemplo da sugerida por Kosmides *et al.* (2018), apresentam uma estrutura mais fixa.

A compatibilidade com dispositivos móveis é importante na era digital atual, e neste quesito, a arquitetura desenvolvida neste trabalho demonstra essa capacidade. Em termos de aplicação em diferentes contextos, é interessante notar a versatilidade de algumas propostas, que podem ser empregadas em variados cenários educacionais ou de treinamento.

A coordenação motora fina, é outro diferencial da arquitetura desenvolvida. Esta comparação ressalta a diversidade de propósitos e características das arquiteturas de jogos sérios, evidenciando o campo de estudo do presente trabalho.

Por fim, é importante destacar que a arquitetura desenvolvida pode ser utilizada como base de modelo de inteligência para criação de jogos em geral, não apenas dos jogos ditos “sérios”. O modelo proposto que analisa os movimentos finos das mãos pode ser utilizado como instrumento de engajamento em jogos de entretenimento, como por exemplo, o aumento dinâmico de dificuldade ao notar-se uma facilidade do usuário em executar tarefas correlatas aos movimentos finos das mãos. Além disso, pode ser parte complementar em outra arquitetura já existente.

## **5.6 Aplicação da arquitetura em um jogo sério**

Ao considerar a adaptabilidade e eficácia de uma arquitetura, é fundamental observar sua aplicação em contextos reais, especialmente em ambientes já desenvolvidos e testados. O desafio, contudo, está em integrar esses novos componentes de maneira harmoniosa, garantindo que os objetivos originais do jogo não sejam comprometidos, enquanto novas funcionalidades são acrescentadas.

Como um exemplo prático dessa integração, pode-se citar o "Dental Game" (PEREIRA *et al.*, 2021). Esse jogo sério, que originalmente foca em aspectos odontológicos, apresenta uma oportunidade para uma expansão funcional.

Ao incorporar a avaliação motora fundamentada na Lei de Fitts é possível testar e treinar a precisão e agilidade dos movimentos dos jogadores. Já a incorporação da Lei de Hick pode trazer uma nova dimensão ao jogo, desafiando os jogadores a melhorar seu tempo de reação frente a diferentes estímulos, conforme ilustra a Figura 54.

Figura 54 – Dental Game (adaptado)



Fonte: PEREIRA *et al.* (2021).

Neste exemplo, a inclusão de variáveis como o tempo de reação, quantidade de peças disponíveis, o tamanho da peça, a distância até a posição correta no tabuleiro, a precisão do movimento, entre outros, tornaria a mecânica da arquitetura desenvolvida aplicável, bem como as Leis formais de Fitts e Hick.

A combinação de teorias consolidadas e novas integrações pode propor uma nova maneira de como os jogos sérios são percebidos e utilizados. Além de melhorar a experiência do usuário, a arquitetura pode proporcionar uma base para pesquisadores e desenvolvedores avaliarem e refinarem suas propostas de arquitetura. Com isto, torna-se os jogos sérios ainda mais eficientes e eficazes em seus objetivos pedagógicos e de treinamento, principalmente quando a arquitetura for relacionada a coordenação motora fina.

## 5.7 Considerações finais do capítulo

O Capítulo 5 deste trabalho concentrou-se em descrever os experimentos realizados e analisar seus resultados, com um foco especial na eficácia da arquitetura proposta para avaliação e da coordenação motora fina em dispositivos móveis.

Nas atividades elaboradas, o papel fundamental da Lei de Fitts e da Lei de Hick ficou evidente. Com a primeira, observou-se a relação direta entre os índices de dificuldade e o desempenho dos movimentos finos, corroborando sua utilidade em prever a complexidade dessas atividades. Já a Lei de Hick se mostrou previsível no contexto da tomada de decisão, especialmente quando o número de opções

apresentadas ao usuário aumentava, evidenciando uma complexidade crescente no processo de decisão.

Quando os resultados foram contextualizados com o uso de dispositivos móveis, a relevância da arquitetura desenvolvida se tornou mais clara. A capacidade da arquitetura de se adaptar a diferentes tecnologias e contextos é um diferencial, e pode ser exemplificada por sua sugestão de aplicação em jogos sérios existentes, como visto na Seção 5.6.

A comparação com outras arquiteturas existentes na literatura ressaltou a importância do trabalho desenvolvido, especialmente na flexibilidade, modularidade e foco em coordenação motora fina. A arquitetura não só se encaixa bem no ecossistema atual de dispositivos móveis, mas também apresenta uma adaptabilidade e versatilidade que a torna relevante em diversos outros cenários.

Além disso, os dados coletados permitem análises individualizadas e oferecem *insights* sobre o desempenho e comportamento dos usuários, enriquecendo, assim, o campo de estudos sobre a eficácia de jogos sérios e avaliação de habilidades motoras finas.

Em conclusão, os experimentos e análises realizados neste capítulo reforçam a eficácia e a importância da arquitetura desenvolvida, demonstrando seu potencial como uma ferramenta para desenvolvedores e pesquisadores interessados em jogos sérios focados na coordenação motora fina. O capítulo também abre caminhos para pesquisas futuras, que podem explorar ainda mais a arquitetura em contextos variados e com amostragens de dados mais robustas.

O próximo capítulo apresenta as conclusões obtidas após o desenvolvimento deste trabalho.

## 6 CONCLUSÃO

O objetivo da presente dissertação foi criar uma arquitetura para o desenvolvimento de jogos sérios que avalie os movimentos finos das mãos. Para isso, este trabalho criou uma arquitetura voltada para desenvolvimento de jogos que avaliam a coordenação motora fina por meio de jogos sérios em dispositivos móveis.

A arquitetura surgiu da necessidade de oferecer uma abordagem para o desenvolvimento de jogos sérios, focados na avaliação da coordenação motora fina em dispositivos móveis. Destaca-se pela flexibilidade em incorporar tecnologias e métodos de avaliação, além de utilizar-se de duas Leis formais: a Lei de Fitts e Hick.

A Lei de Fitts relaciona o tempo de movimento, amplitude e precisão do movimento (FITTS, 1954), e a Lei de Hick, prevê o tempo de reação que o usuário terá para realizar alguma ação diante das opções disponíveis (HICK, 1952).

Os resultados obtidos pelo experimento durante a criação dos três jogos, demonstraram que a aplicação da Lei de Fitts nos jogos em dispositivos móveis é uma abordagem eficaz para a avaliação dos movimentos finos. A Lei de Fitts permitiu estimar com precisão o tempo de movimento dos usuários, considerando diferentes índices de dificuldade e tipos de movimentos.

Além disso, os resultados revelaram relações consistentes entre os índices de dificuldade das atividades, as métricas de desempenho e as características dos movimentos finos avaliados. Jogos com índices de dificuldade mais altos foram associados a tempos de movimento mais longos, refletindo a influência dos parâmetros da Lei de Fitts na dificuldade das tarefas. Essa relação validou a capacidade da Lei de Fitts de prever a dificuldade dos movimentos finos em dispositivos móveis.

Além da aplicação da Lei de Fitts, este estudo também incorporou a Lei de Hick como uma abordagem adicional para medir o tempo de reação dos usuários. A Lei de Hick propõe que o tempo de reação é diretamente proporcional à quantidade de informações apresentadas ao participante. Nesse contexto, a Lei de Hick foi aplicada em uma das atividades para analisar o tempo de reação dos participantes em resposta aos estímulos visuais apresentados nos jogos sérios.

Para a coleta de dados relacionados ao tempo de reação, foram registrados os momentos em que os participantes iniciavam o movimento após a apresentação do estímulo visual correspondente. Esses dados, coletados cuidadosamente durante

a execução dos jogos, serviram para determinar o tempo de reação médio de cada participante nas respectivas atividades.

Os resultados evidenciaram que os tempos de reação foram afetados pelos índices de dificuldade das atividades. Jogos com índices de dificuldade mais elevados demandaram tempos de reação mais longos, conforme esperado de acordo com a Lei de Hick. Esses resultados destacam a importância de considerar tanto os tempos de movimento quanto os tempos de reação ao avaliar a habilidade de um usuário em realizar movimentos finos em dispositivos móveis.

Além da aplicação das Leis de Fitts e Hick, este estudo também introduziu os Protocolos de Movimento Prot1 e Prot2, desenvolvidos especificamente para abordar distintas dimensões da interação humano-dispositivo móvel.

O Protocolo Prot1 focou no uso dos sensores acelerômetro e giroscópio dos dispositivos móveis para analisar o desempenho de movimentos. Este protocolo possibilitou uma análise detalhada sobre o tempo de reação aos novos inimigos que aparecem, a aceleração dos movimentos laterais, e a quantidade de inimigos desviados.

No caso do Protocolo P2, a interação tátil e o tempo de reação, utilizados com a aplicação da Lei de Hick, formam o centro das análises. Através deste protocolo, foi possível compreender melhor como as características individuais e as estratégias adotadas pelos jogadores podem afetar seu desempenho geral. Os dados coletados, incluindo o tempo de reação médio e o número de tentativas bem-sucedidas, proporcionaram insights valiosos sobre o comportamento do usuário.

Ambos os protocolos enriqueceram a compreensão sobre as complexidades inerentes aos movimentos finos das mãos em contextos de jogo em dispositivos móveis. Eles complementam e expandem as informações obtidas através das Leis de Fitts e Hick, oferecendo uma visão mais holística das variáveis que afetam o desempenho do usuário.

Adicionalmente, uma comparação entre a arquitetura proposta neste estudo e aquelas já estabelecidas na literatura evidenciou as singularidades e inovações do nosso modelo. Esta análise comparativa serviu não só para posicionar nosso trabalho no contexto da pesquisa atual, mas também para identificar potenciais melhorias e expansões para estudos futuros.

Outro aspecto notável é a possibilidade da arquitetura em ser incorporada em jogos já existentes. Isso evidencia sua relevância não apenas para novos projetos,

mas também para a otimização e expansão de jogos sérios previamente desenvolvidos. Esta capacidade de integração garante que a arquitetura continue sendo uma ferramenta relevante à medida que a tecnologia e as demandas do mercado evoluem.

Com isso, os objetivos definidos e descritos na Seção 1.2 deste trabalho foram concluídos com sucesso, validando nossa abordagem. Em resumo, a arquitetura desenvolvida neste trabalho se coloca como uma ferramenta eficaz para os desenvolvedores que buscam criar jogos sérios voltados à avaliação da coordenação motora fina em dispositivos móveis. Através da integração das Leis de Fitts e Hick, ela não apenas valida sua eficácia, mas também se estabelece como uma referência em comparação com outras propostas na literatura. Quando utilizada por desenvolvedores, esta arquitetura oferece uma base sólida e confiável, garantindo a produção de jogos que efetivamente atendem ao propósito de avaliar e aprimorar habilidades motoras finas em jogos sérios.

## **6.1 Trabalhos futuros**

A partir do desenvolvimento da arquitetura voltada para jogos que avaliam a coordenação motora fina em dispositivos móveis e dos resultados obtidos neste estudo, diversas direções podem ser tomadas em investigações futuras.

Primeiramente é interessante ampliar a amostra de participantes, visando uma maior generalização dos resultados e compreensão de variações individuais na coordenação motora. Sugere-se a criação de jogos com uma maior variedade de índices de dificuldade quando utilizados a Lei de Fitts e, uma maior variação de ações disponíveis para o usuário quando aplicados a Lei de Hick, permitindo uma análise mais detalhada do desempenho dos usuários em diferentes contextos e desafios.

Considerando a rápida evolução tecnológica, novos sensores e interfaces poderão ser integrados à arquitetura proposta, expandindo as possibilidades de avaliação e treinamento.

Além disso, estudos comparativos entre a aplicação combinada das Leis de Fitts e Hick e outras metodologias existentes podem enriquecer o entendimento sobre sua eficácia e especificidades. É relevante investigar a aplicabilidade e eficácia desta arquitetura em populações específicas, como crianças, idosos ou indivíduos com distúrbios motores, abrindo oportunidade de pesquisa para aplicações terapêuticas e de reabilitação por meio dos jogos sérios.

## REFERÊNCIAS

- ACUÑA, E.; RODRIGUEZ, C. **On detection of outliers and their effect in supervised classification**. University of Puerto Rico at Mayaguez, v. 15, 2004.
- AFYOUNI, Imad *et al.* **Motion-based serious games for hand assistive rehabilitation**. *In: Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces Companion*, p. 133-136, 2017.
- ALONSO-FERNANDEZ, C. *et al.* **Full lifecycle architecture for serious games: integrating game learning analytics and a game authoring tool**. *In: Joint International Conference on Serious Games*. Springer, Cham, p. 73-84, 2017.
- ANTONIO, B. A., *et al.* **Uso do acelerômetro e giroscópio no monitoramento de movimento: uma avaliação comparativa por meio de unidade inercial e smartphone**. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 34, n. 3, p. 429-436, 2020.
- APA - AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION *et al.* **DSM-5: Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais**. Artmed Editora, 2014.
- AVOLA, D. *et al.* **An interactive and low-cost full body rehabilitation framework based on 3D immersive serious games**. **Journal of biomedical informatics**, v. 89, p. 81-100, 2019.
- BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software architecture in practice**. Addison-Wesley Professional, 2003.
- BATISTA, T. V. V. *et al.* **FarMyo: a serious game for hand and wrist rehabilitation using a low-cost electromyography device**. **International Journal of Serious Games**, v. 6, n. 2, p. 3-19, 2019.
- BI, X.; LI, Y.; ZHAI, S. **Fitts law: modeling finger touch with Fitts' law**. *In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 1363-1372, 2013.
- BRITO, A. **Leveraging Fitts' law: user interface design principles for e-commerce**. 2021. Disponível em: <https://www.toptal.com/designers/mobile-ui/fitts-law-user-interface-design>. Acesso em: 23 abr. 2022.
- BRITO, L. **Desenvolvimento motor fino: a habilidade do cirurgião | colonistas**. 2021. Disponível em: <https://www.sanarmed.com/desenvolvimento-motor-fino-a-habilidade-do-cirurgiao-colonistas>. Acesso em: 13 jan. 2022.
- BONELL, J. **O que é o giroscópio de um smartphone e como saber se o vosso smartphone tem?** 2020. Disponível em: <https://androidgeek.pt/giroscopio-smartphone-saber-vosso-smartphone>. Acesso em 20 mai. 2022.
- BONTCHEV, B.; VASSILEVA, D.; DANKOV, Y. **The APOGEE Software Platform for Construction of Rich Maze Video Games for Education**. *In: ICSOFT*. 2019. p. 491-498.

BORECKI, L.; TOLSTYCH, K.; POKORSKI, M. **Computer games and fine motor skills**. *In: Respiratory Regulation-Clinical Advances*. Springer, Dordrecht, p. 343-348, 2013.

BRANDÃO, A. *et al.* **Jecripe: stimulating cognitive abilities of children with down syndrome in pre-scholar age using a game approach**. *In: Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, p. 15-18, 2010.

CAI, S. *et al.* A case study of gesture-based games in enhancing the fine motor skills and recognition of children with autism. **Interactive Learning Environments**, v. 26, n. 8, p. 1039-1052, 2018.

CAMERON, C. E. *et al.* Fine motor skills and executive function both contribute to kindergarten achievement. **Child development**, v. 83, n. 4, p. 1229-1244, 2012.

CARD, S. K.; MORAN, T. P.; NEWELL, A. **The psychology of human-computer interaction**, Crc Press, 2018.

CARABEO, C. G. G. *et al.* Stroke patient rehabilitation: A pilot study of an android-based game. **Simulation & Gaming**, v. 45, n. 2, p. 151-166, 2014.

CARNEIRO, F. *et al.* A gamified approach for hand rehabilitation device. **International Journal of Online Engineering**, v. 14, n. 1, 2018.

CHIA, F. Y.; SAAKES, D. **Interactive training chopsticks to improve fine motor skills**. *In: Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, p. 1-4, 2014.

CHOI, C. *et al.* Military serious game federation development and execution process based on interoperation between game application and constructive simulators. **International Journal of Simulation and Process Modelling**, v. 10, n. 2, p. 103-116, 2015.

CHOI, C. *et al.* **Serious game development methodology by via interoperation between a constructive simulator and a game application using HLA/RTI**. *In: International Defense and Homeland Security Simulation Workshop*. 2013.

CHUNG, A. T. *et al.* Effect of fine-motor-skill activities on surgical simulator performance. **Journal of Cataract & Refractive Surgery**, v. 43, n. 7, p. 915-922, 2017.

DE GLORIA, A.; BELLOTTI, F.; BERTA, R. Serious games for education and training. **International Journal of Serious Games**, v. 1, n. 1, 2014.

DÖRNER, R. *et al.* **Serious games: foundations, concepts and practice**. Springer Publishing Company, 2016.

DJAOUTI, D.; ALVAREZ, J.; JESSEL, J. P. Classifying serious games: the G/P/S model. *In: Handbook of research on improving learning and motivation through educational games: Multidisciplinary approaches*. **IGI global**, p. 118-136, 2011.

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, P. *et al.* Leap motion controlled video game-based therapy for upper limb rehabilitation in patients with Parkinson's disease: a feasibility study. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2019.

FERREIRA, E. F.; VAN MUNSTER, M. A.; PEREIRA, E. T. Deficiência intelectual e psicomotricidade: uma revisão. **Revista da Sobama**, v. 13, n. 2, p. 31-37, 2012.

FERREIRA, G. A. S. *et al.* **Apae games: um jogo digital como ferramenta de aprendizagem para crianças com deficiência intelectual.** In Proceedings - SB Games. p. 1–5, 2018.

FINKELSTEIN, H. Stenosing tendovaginitis at the radial styloid process. **JBJS**, 12(3), 509-540, 1930.

FITTS, Paul M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. **Journal of experimental psychology**, v. 47, n. 6, p. 381–391, 1954.

FOLETTTO, A. A.; D'ORNELLAS, M. C.; PRADO, A. C. **Serious games for parkinson's disease fine motor skills rehabilitation using natural interfaces.** In: MEDINFO 2017: Precision healthcare through informatics. Proceedings of the 16th World Congress on Medical and Health Informatics. IOS Press, p. 74, 2018.

FORD, J. F. **What is the difference between accelerometer and gyroscope?** 2021. Disponível em: <https://answerstoall.com/language/what-is-the-difference-between-accelerometer-and-gyroscope/>. Acesso em: 5 abril 2022.

GETCHELL, N.; HAYWOOD, K. M. **Desenvolvimento motor ao longo da vida.** 6ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2016.

GOOGLE PLAY. **Bug Smasher.** 2021. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=bugworld.bugsmaher.insectsmaher>. Acesso em: 15 mai. 2022.

GOOGLE PLAY. **Kids Mazes.** 2020. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pescapps.kidsmazes>. Acesso em: 12 out. 2022.

GSMA. **The mobile economy 2021.** Copyright © 2021 GSM Association, 2021.

HIDALGO, J. C. C. *et al.* **Serious game to improve fine motor skills using leap motion.** In: 2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI). IEEE, p. 1-5, 2018.

HICK, W. E. On the rate of gain of information. **Quarterly Journal of experimental psychology**, v. 4, n. 1, p. 11-26, 1952.

HOOBER, S. **Touch Design for Mobile Interfaces.** Editora Smashing Media AG, Freiburg, Germany, 2021.

HOOKER, J. *et al.* **Fine motor friend.** Topics in Stroke Rehabilitation, v. 18, n. 4, p. 372-377, 2011.

- JANSEN. **Jornada do Acolhimento (Game)**. 2021. Disponível em: <https://falarinspiravida.com.br/setembro-amarelo-2021/>. Acesso em: 25 set. de 2022.
- KANESHIRO, N. K.; ZIEVE, D. **Fine Motor Control**. 2015. Disponível em: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/002364.htm>. Acesso em 6 out. 2021.
- KANODE, C. M.; HADDAD, Hisham M. **Software engineering challenges in game development**. *In*: 2009 Sixth International Conference on Information Technology: New Generations. IEEE, p. 260-265, 2009.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. 2007.
- KOSMIDES, P. *et al.* **InLife ecosystem: creating Serious Games with IoT features**. *In*: 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). IEEE, p. 299-304, 2018.
- KUMAR, A. *et al.* Effects of short-term training on behavioral learning and skill acquisition during intraoral fine motor task. **Neuroscience**, v. 306, p. 10-17, 2015.
- LAAMARTI, F; EID, M.; EL SADDIK, A. An overview of serious games. **International journal of computer games technology**, v. 2014, p. 1-15, 2014.
- LEHMANN, A. *et al.* Santrain: **A serious game architecture as platform for multiple first aid and emergency medical trainings**. *In*: Asian Simulation Conference. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 361-366, 2013.
- LEÓN, M. A. *et al.* **Virtual rehabilitation system for fine motor skills using a functional hand orthosis**. *In*: International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics. Springer, Cham, p. 78-94, 2018.
- LIU, W. *et al.* **How relevant is Hick's law for HCI?** *In*: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, p. 1-11, 2020.
- NIELD, N. **All the sensors in your smartphone, and how they work**. 2020. Disponível em: <https://gizmodo.com/all-the-sensors-in-your-smartphone-and-how-they-work-1797121002>. Acesso em 17 mai. 2022.
- MACHADO, L. S.; DE LIMA COSTA, T. K.; DE MORAES, R. M. Multidisciplinaridade e o desenvolvimento de serious games e simuladores para educação em saúde. **Revista Observatório**, v. 4, n. 4, p. 149-172, 2018.
- MACKENZIE, I. S. **Fitts' throughput and the remarkable case of touch-based target selection**. *In*: International conference on human-computer interaction. Springer, Cham, p. 238-249, 2015.
- MARÍN-VEGA, H. *et al.* ZeusAR: a process and an architecture to automate the development of augmented reality serious games. **Multimedia tools and applications**, v. 81, n. 2, p. 2901-2935, 2022.
- MARÍN-VEGA, H. *et al.* Zeus—a tool for generating rule-based serious games with gamification techniques. **IET Software**, v. 14, n. 2, p. 88-97, 2020.

MASOODIAN, M. *et al.* **A serious game for improving community-based prevention of neglected diseases.** *In:* 2015 IEEE 28th International Symposium on Computer-Based Medical Systems. IEEE, p. 286-291, 2015.

MCSHAFFRY, M.; GRAHAM, D. **Game coding complete, Fourth Edition.** Cengage Learning, 2013.

MEFTAH, C. *et al.* **Serious games modeling.** *In:* Proceedings of the 2nd international Conference on Big Data, Cloud and Applications, p. 1-6, 2017.

MELLO, G., ZENDRON, P. Banco nacional do desenvolvimento. **Bndes setorial n. 42,** p. 337–382, 2015. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9374>. Acesso em: 19 nov. 2021.

MERCHÁN-GARCÍA, D. A. *et al.* **Development of an arcade controller for children with intellectual disabilities to improve fine motor skills through video games.** *In:* 2020 IEEE Games, Multimedia, Animation and Multiple Realities Conference (GMAX). IEEE, p. 1-4, 2020.

MICHAEL, D. R.; CHEN, S. L. **Serious games: Games that educate, train, and inform.** Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005.

MURRAH III, W. M. **Comparing Self-Regulatory and Early Academic Skills as Predictors of Later Math, Reading, and Science Elementary School Achievement.** ProQuest LLC, 2010.

NAYEBI, F.; DESHARNAIS, J.; ABRAN, A. **An expert-based framework for evaluating ios application usability.** *In:* 2013 Joint Conference of the 23rd International Workshop on Software Measurement and the 8th International Conference on Software Process and Product Measurement. IEEE, p. 147-155, 2013.

NEMOTO, T.; BEGLAR, D. **Likert-scale questionnaires.** *In:* JALT 2013 conference proceedings. Tokyo: Jalt, p. 1-8, 2014.

NIKOLOV, A. **Design principle: Hick's Law — quick decision making.** 2017. Disponível em: <https://uxplanet.org/design-principles-hicks-law-quick-decision-making-3dcc1b1a0632>. Acesso em: 15 mai. 2022.

PEREIRA, R. A. *et al.* **A Systematic Mapping of Serious Games for Oral Health.** *In:* CSEDU. p. 400-407, 2021.

PEREIRA, R. A. *et al.* **DentalGame: um jogo sério para o ensino de saúde bucal.** *In:* Proceedings of the INNODOCT/21. International Conference on Innovation, Documentation and Education. Valencia, p. 807-814, 2021.

PESSOA, J. H. D. L. **Desenvolvimento da criança, uma visão pediátrica.** Sinopse de Pediatria, 9(3), 72-77, 2003.

POSADA-GÓMEZ, R. *et al.* **An interactive system for fine motor rehabilitation.** Rehabilitation Nursing, 2016.

- PRADA, R. **O que é um acelerômetro?** 2009. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/curiosidade/2652-o-que-e-um-acelerometro-.htm>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- PRANANTHA, D. *et al.* **A format of serious games for higher technology education topics: a case study in a digital electronic system course.** In: 2012 IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies. IEEE, p. 13-17, 2012.
- PRUNA, E. *et al.* **Immersive Virtual System Based on Games for Children's Fine Motor Rehabilitation.** In: International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics. Springer, Cham, p. 30-42, 2018.
- PURWAR, S. **Breaking down Fitts law for UX designers.** 2019. Disponível em: <https://uxplanet.org/breaking-down-fitts-law-for-ux-designers-542cabb48f9>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- RATAN, R. A.; RITTERFELD, U. **Classifying serious games.** In: Serious games. Routledge, p. 32-46, 2009.
- RAVADO, R. **10 Free accelerometer apps for iPhone and iPod touch.** 2016. Disponível em: <https://turbofuture.com/cell-phones/10-Best-Accelerometer-Apps>. Acesso em: 1 de mai. 2022.
- REGO, P. A.; MOREIRA, P. M.; REIS, L. P. **Architecture for serious games in health rehabilitation.** In: New Perspectives in Information Systems and Technologies, Volume 2. Springer, Cham, p. 307-317, 2014.
- REGO, P. A.; MOREIRA, P. M.; REIS, L. P. A serious games framework for health rehabilitation. **International Journal of Healthcare Information Systems and Informatics (IJHISI)**, v. 9, n. 3, p. 1-21, 2014.
- RF Wireless World. **Difference between Accelerometer and Gyroscope | Accelerometer vs Gyroscope.** 2022. Disponível em: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Difference-between-Accelerometer-and-Gyroscope.html>. Acesso em: 29 mai. 2022.
- ROIG-MAIMÓ, M. F. *et al.* Head-tracking interfaces on mobile devices: Evaluation using Fitts' law and a new multi-directional corner task for small displays. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 112, p. 1-15, 2018.
- ROSA, N. **Treze anos de iPhone: relembre como foi o dia que mudou a história dos celulares.** 2020. Disponível em: <https://canaltech.com.br/smartphone/13-anos-de-iphone-relembre-como-foi-o-dia-que-mudou-a-historia-dos-celulares-158893/>. Acesso em :1 mai. 2022.
- ROSSER, J. C. *et al.* The impact of video games on training surgeons in the 21st century. **Archives of surgery**, v. 142, n. 2, p. 181-186, 2007.
- RUIZ-RODRIGUEZ, A.; MARTINEZ-GARCIA, A. I.; CARO, K. **Gesture-based video games to support fine-motor coordination skills of children with autism.** In: Proceedings of the 18th ACM International Conference on Interaction Design and Children, p. 610-615, 2019.

SATHISH. **How to measure acceleration in smartphones using accelerometer?** 2021. Disponível em: <https://blog.contus.com/how-to-measure-acceleration-in-smartphones-using-accelerometer/>. Acesso em: 2 mai. 2022.

SANTOS, T. **Usabilidade: Lei de Hick, Fitts e consistência.** 2018. Disponível em: <https://medium.com/@thaysasantos/usabilidade-lei-de-hick-fitts-e-consist%C3%A2ncia-ace948fba147>. Acesso em: 9 out. 2021.

SAVI, R.; ULBRICHT, V. R. Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios. **Renote**, v. 6, n. 1, 2008.

SCHELL, J. **A arte de game design: o livro original.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

SHAH, V. *et al.* **A rhythm-based serious game for fine motor rehabilitation using Leap Motion.** *In: 2019 58th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE).* IEEE, p. 737-742, 2019.

SHANNON, Claude E.; WEAVER, Warren. **The Mathematical Theory of Communication.** University of Illinois, Urbana III, 1949.

SÖBKE, H.; STREICHER, A. **Serious games architectures and engines.** *In: Entertainment Computing and Serious Games: International GI-Dagstuhl Seminar 15283, Dagstuhl Castle, Germany, July 5-10, 2015, Revised Selected Papers.* Springer International Publishing, p. 148-173, 2016.

SOUKOREFF, R. W.; MACKENZIE, I. S. **Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research.** *In HCI. International journal of human-computer studies*, v. 61, n. 6, p. 751-789, 2004.

SUNG, Y.; CHO, K.; UM, K. **A development architecture for serious games using BCI (brain computer interface) sensors.** *Sensors*, v. 12, n. 11, p. 15671-15688, 2012.

TECHTUDO. **O que é e como funciona o leap motion?** 2014. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2014/05/o-que-e-leap-motion.ghtml>. Acesso em: 02 fev. 2022.

TECMUNDO. **Lei de Fitts: a matemática por trás da interface de seu sistema operacional.** 2015. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/curiosidade/83118-lei-fitts-matematica-tras-interface-sistema-operacional.htm>. Acesso em: 06 out. 2021.

TIZEN DOCS. **Devices sensors.** 2022. Disponível em: <https://docs.tizen.org/application/native/guides/location-sensors/device-sensors/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

UNITY. **Motor de jogo proprietário by Unity Technologies.** 2022. Disponível em: <https://unity.com/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

VAHLDICK, A.; MENDES, A. J.; MARCELINO, M. J. **Towards a constructionist serious game engine.** *In: Proceedings of the 17th International Conference on Computer Systems and Technologies 2016*, p. 361-368, 2016.

VAROTO, A. C. **Visões em arquitetura de software**. 2002. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

VAHLICK, A.; VIEIRA, V. T. Um jogo sério em dispositivos móveis para o aprendizado de física utilizando realidade aumentada. **Ensino de ciências e tecnologia em revista (ENCITEC)**, v. 12, n. 2, p. 157-167, 2022.

VECTEEZY. **Recursos criativos de qualidade profissional**. 2022. Disponível em: <https://www.vecteezy.com/vector-art/427961-touch-gestures-icons>. Acesso em 22 mai. 2022.

VIDAL JR, E. C. E. *et al.* (2018) **MAGIS: mobile augmented-reality games for instructional support**. *Interactive learning environments*, 27:7, 895-907, DOI: 10.1080/10494820.2018.1504305

ZHAO, H. *et al.* C-Hg: A collaborative haptic-gripper fine motor skill training system for children with autism spectrum disorder. **ACM transactions on accessible computing (TACCESS)**, v. 14, n. 2, p. 1-28, 2021.

ZHAO, H. *et al.* **Design of a haptic virtual system for improving fine motor skills in children with autism**. *In: International conference on applied human factors and ergonomics*. Springer, Cham. p. 204-216, 2017.

ZHU, G. *et al.* **A series of leap motion-based matching games for enhancing the fine motor skills of children with autism**. *In: 2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies*. IEEE. p. 430-431, 2015.

ZIEBARTH, S.; MALZAHN, N.; HOPPE, H. U. **Matchballs—A multi-agent-system for ontology-based collaborative learning games**. *In: International conference on Collaboration and Technology*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 208-222, 2012.

WANG, I. F. *et al.* **PinchFun: A fine motor training game for preschool children with developmental delay**. *In: Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, p. 152-155, 2016.

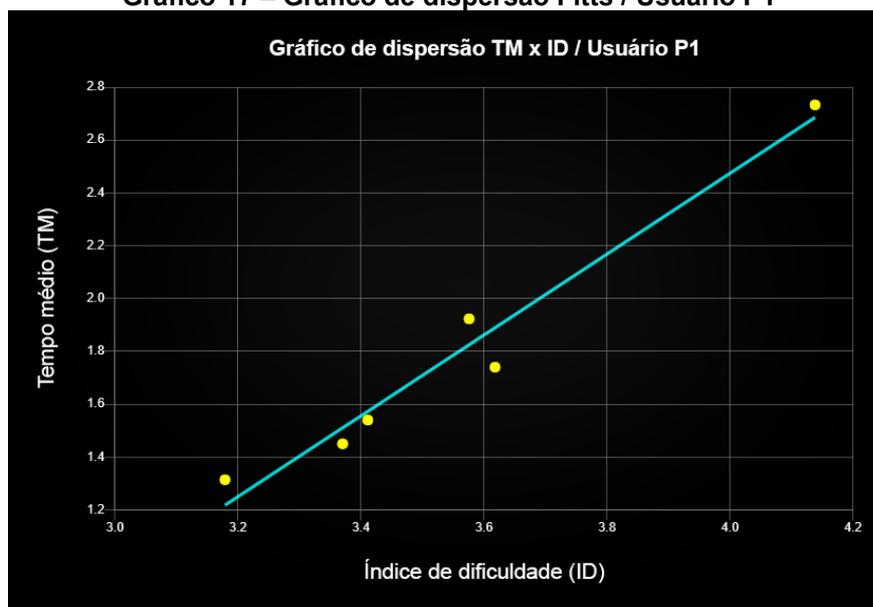
WESTERA, W. *et al.* **Software components for serious game development**. *In: 10th European Conf. on Games Based Learning*. Reading UK, Paisley, Scotland, p. 765-772, 2016.

WILSON, M. **T-Mobile G1: full details of the HTC dream Android phone**. 2008. Disponível em: <https://gizmodo.com/t-mobile-g1-full-details-of-the-htc-dream-android-phon-5053264>. Acesso em: 24 de nov. de 2021.

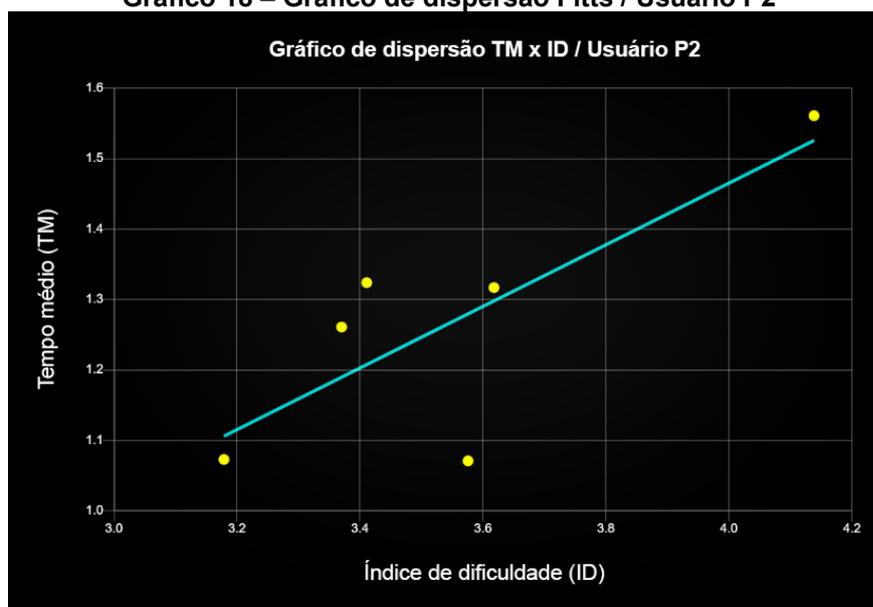
WU, T. *et al.* **Hick–Hyman law is mediated by the cognitive control network in the brain**. *Cerebral Cortex*, v. 28, n. 7, p. 2267-2282, 2018.

YABLONSKI, J. **Laws of UX: using psychology to design better products & services**. O'Reilly Media, 2020.

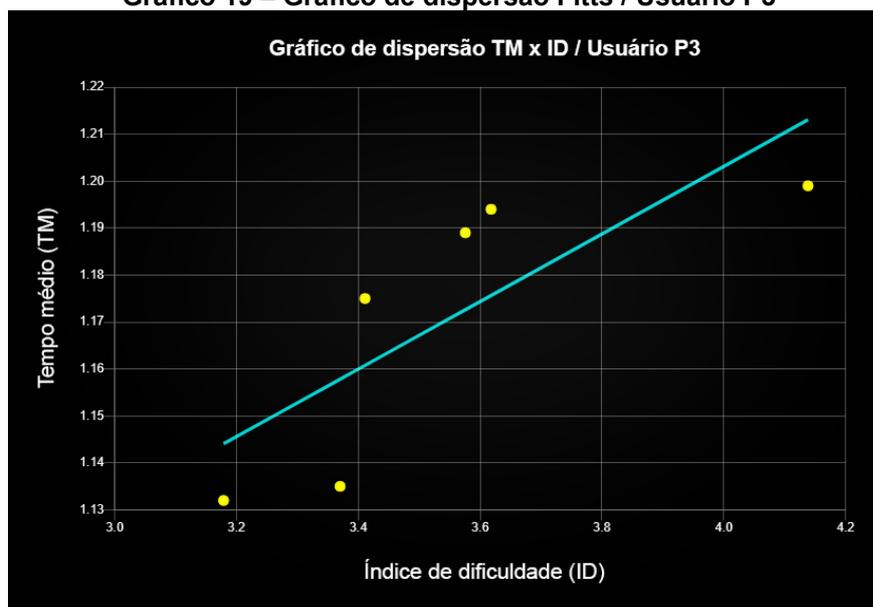
## **APÊNDICE A - Gráficos de dispersão Lei de Fitts**

**Gráfico 17 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P1**

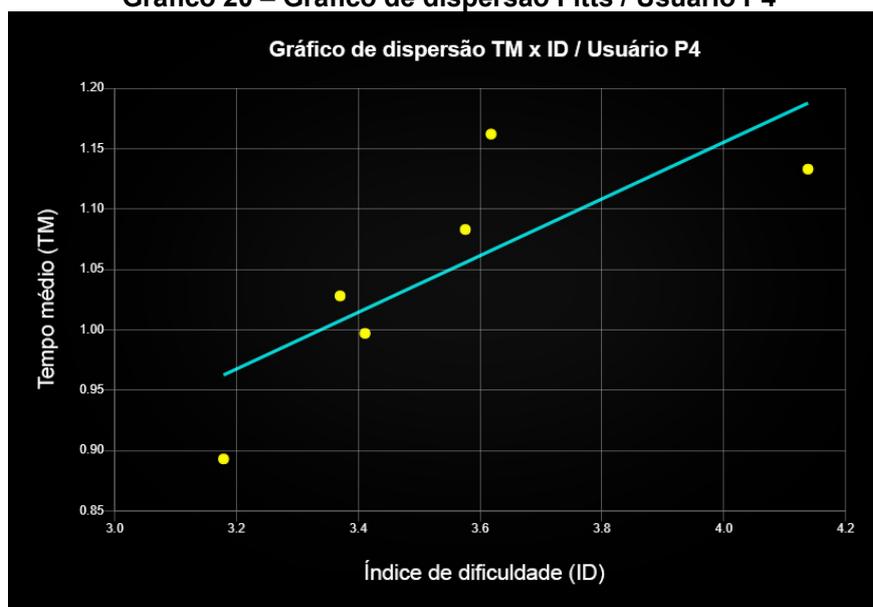
Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 18 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P2**

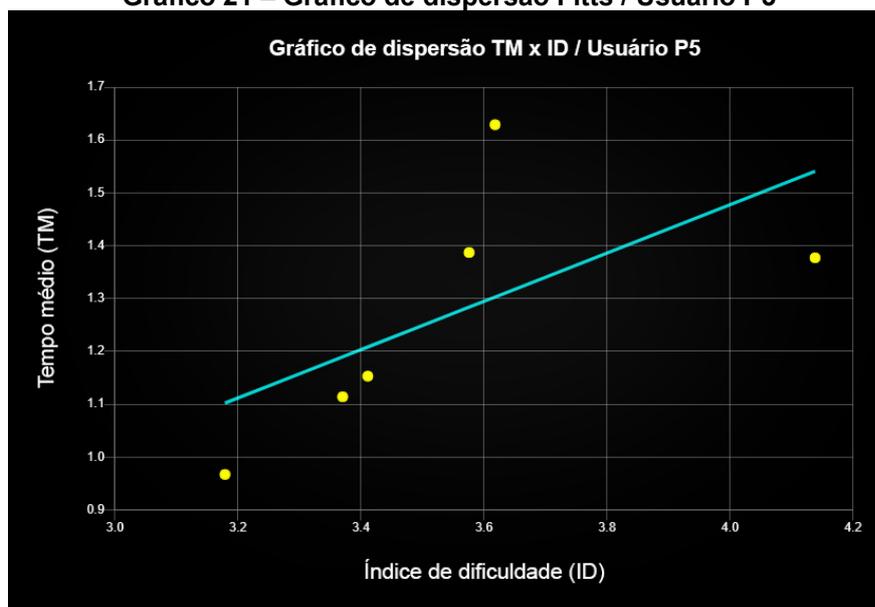
Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 19 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P3**

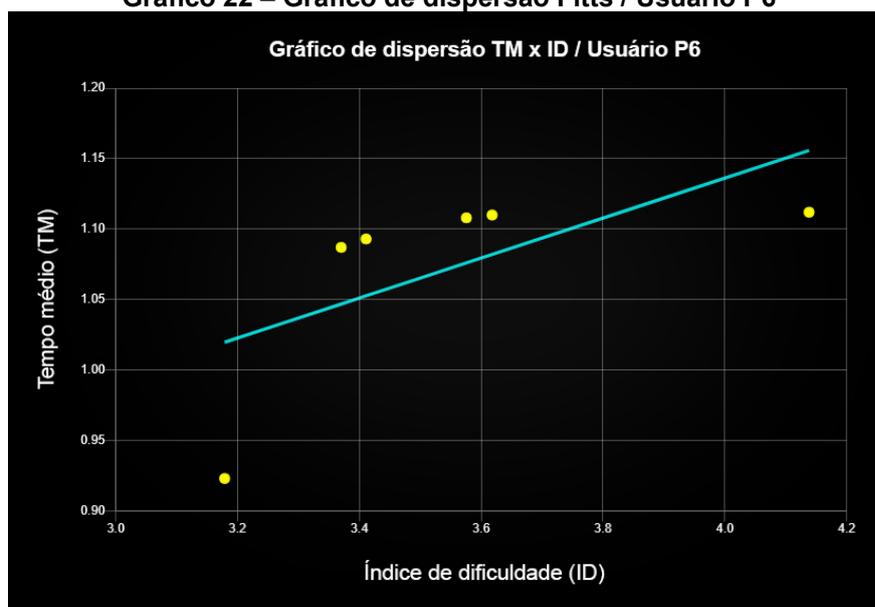
Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 20 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P4**

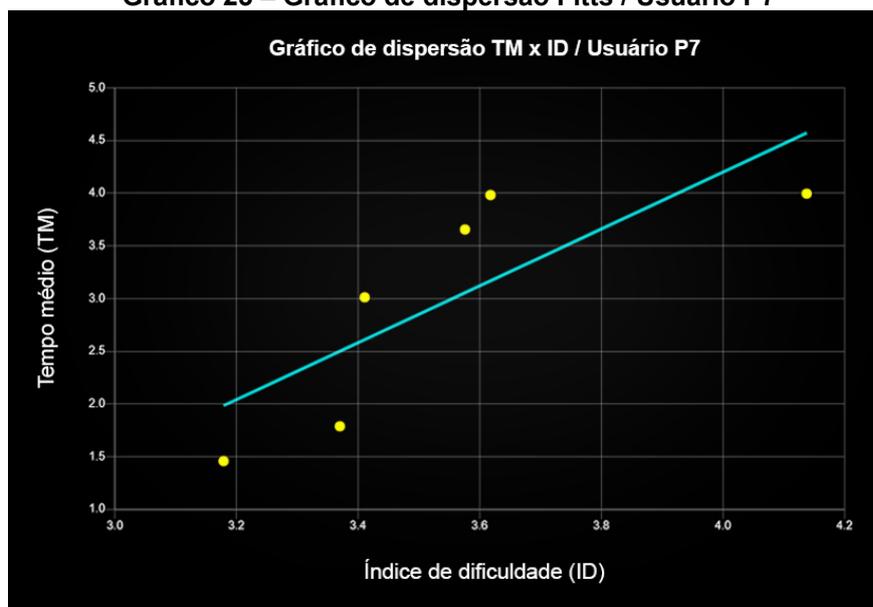
Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 21 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P5**

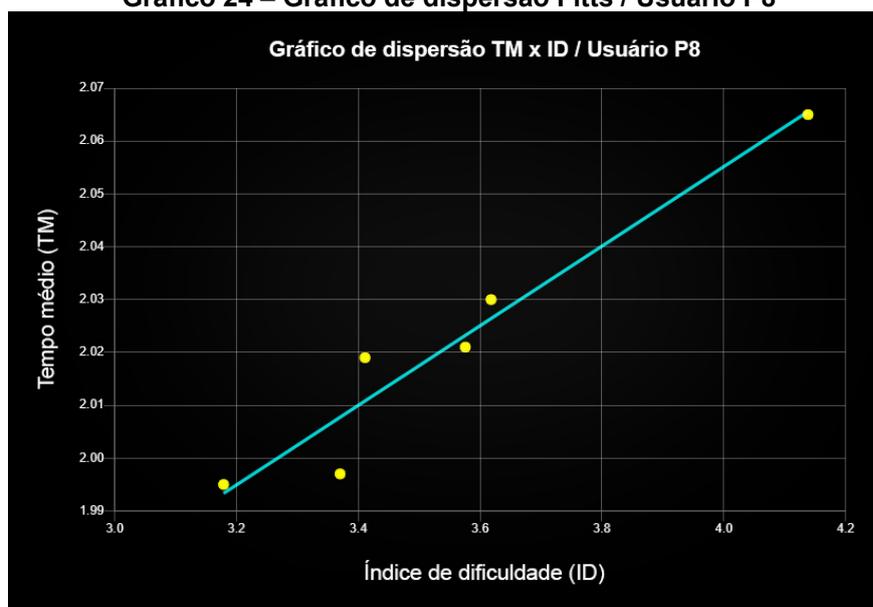
Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 22 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P6**

Fonte: Autoria Própria (2023).

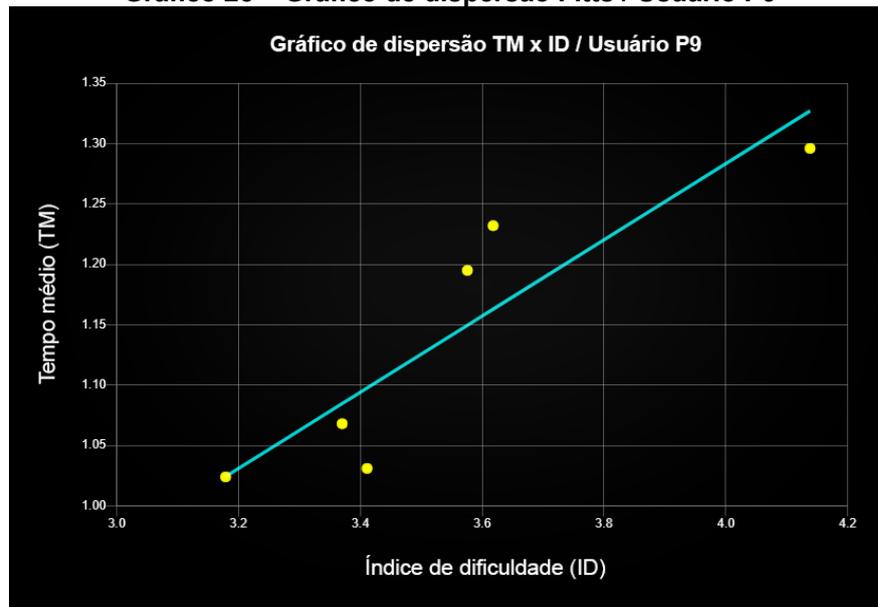
**Gráfico 23 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P7**

Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 24 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P8**

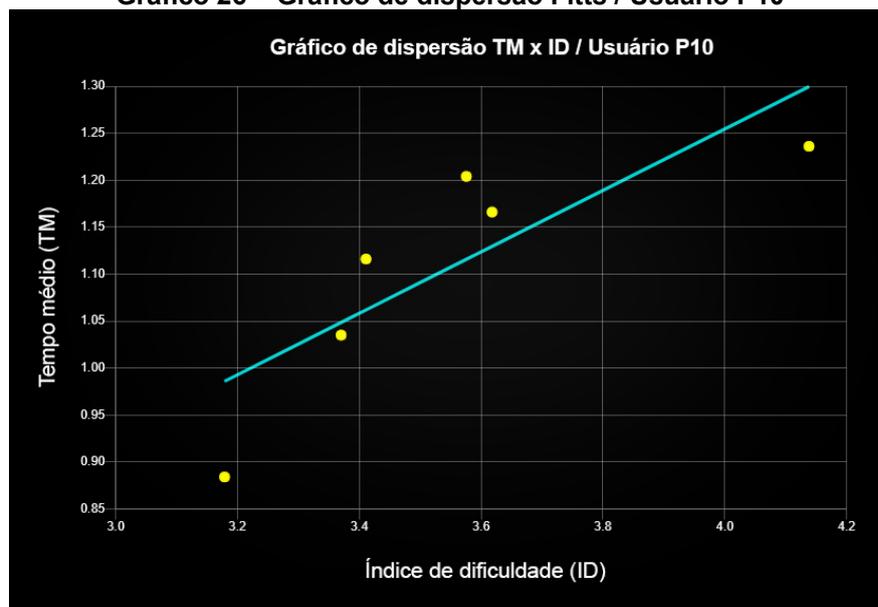
Fonte: Autoria Própria (2023).

Gráfico 25 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P9



Fonte: Autoria Própria (2023).

Gráfico 26 – Gráfico de dispersão Fitts / Usuário P10



Fonte: Autoria Própria (2023).

## **APÊNDICE B - Gráficos de dispersão Lei de Hick**

**Gráfico 27 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P1**



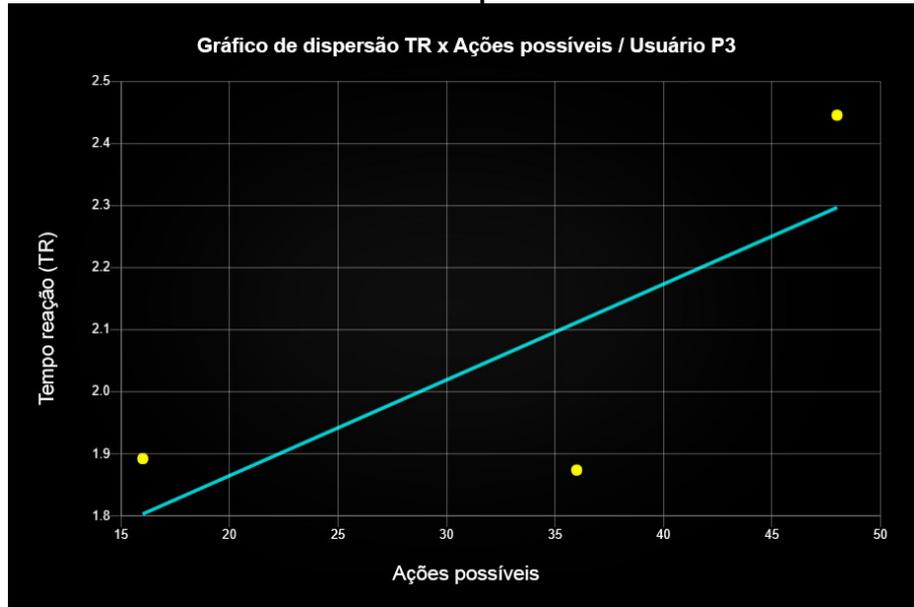
Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 28 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P2**



Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 29 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P3**



Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 30 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P4**



Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 31 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P5**



Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 32 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P6**



Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 33 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P7**



Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 34 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P8**



Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 35 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P9**

Fonte: Autoria Própria (2023).

**Gráfico 36 – Gráfico de dispersão Hick / Usuário P10**

Fonte: Autoria Própria (2023).