

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
CAMPUS TIMÓTEO**

Eduardo Filgueiras Silva de Almeida

**UM ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE  
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM UM JOGO 2D**

**Timóteo**

**2016**

**Eduardo Filgueiras Silva de Almeida**

**UM ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE  
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM UM JOGO 2D**

Monografia apresentada à Coordenação de Engenharia de Computação do Campus Timóteo do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: André Rodrigues da Cruz

Timóteo

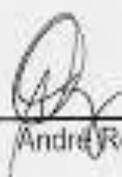
2016

Eduardo Filgueiras Silva de Almeida

**UM ESTUDO SOBRE APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE  
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM UM JOGO 2D**

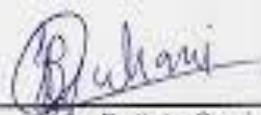
Monografia apresentada à Coordenação de  
Engenharia de Computação do Campus Timóteo do  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Computação

Orientador: André Rodrigues da Cruz



---

André Rodrigues da Cruz (Orientador)



---

João Balista Queiroz Zuliani



---

Odilon Corrêa da Silva

Timóteo, 06 de julho de 2016

Dedico à minha família  
e amigos.

# Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente ao meu orientador André Rodrigues da Cruz pelo apoio e garra, sendo sempre paciente realizando reuniões e tirando dúvidas para obter o melhor resultado, mesmo quando foi necessário que ele chamasse a atenção nos momentos mais complicados. Tudo isso foi fundamental para melhor desenvolvimento e conclusão do trabalho.

Meus agradecimentos secundários são para a minha família, que me deram todo suporte necessário e me incentivaram a conquistar cada etapa pela qual eu passei. Em especial quero agradecer à minha namorada que sempre esteve me apoiando em todas as situações, se mostrou presente e persistente na ajuda para vencer essa etapa.

Agradeço aos professores do CEFET-MG campus Timóteo que sempre agiram de forma profissional, seja nas salas de aula, nos laboratórios de informática, nos corredores ou até no estacionamento. Sem eles eu não alcançaria tamanho conhecimento.

Por último e não menos importantes, agradeço a todos meus companheiros de turma que sempre me apoiaram e auxiliaram trocando conhecimento e experiências.

*“A persistência é o caminho do êxito.”  
Charles Chaplin*

# Resumo

Este trabalho realiza um estudo experimental envolvendo três técnicas de inteligência artificial para a tomada de decisões e dois modelos de personagens. Um ambiente de jogo de plataforma-tiro foi implementado, em duas dimensões, a fim de serem comparadas as técnicas baseadas em árvore de decisão, máquina de estado e cadeia de Markov. Para este fim, foi planejado e executado um experimento computacional no qual o jogador enfrenta, individualmente e em ordem aleatória, cada combinação de personagens e técnicas. Para cada jogador, as amostras são armazenadas com informações sobre a diversão, dificuldade e tempo gasto para derrotar cada agente. Os resultados do experimento foram analisados utilizando o teste de Quade não paramétrico com confiança de 0,95. No final, uma análise estatística comparativa foi apresentada sobre quais combinações de técnica de decisão e modelo de personagem são significativamente mais divertidos, difíceis e que exigem mais tempo para derrotá-los.

**Palavras-chave:** Modelos de tomada de decisão, Árvore de Decisão, Máquina de estados, Cadeia de Markov, Inteligência artificial para jogos.

# Abstract

This work performs an experimental study involving three artificial intelligence techniques for decision-making and two character models. A platform shooting game environment was implemented, in two dimensions, in order to be compared the techniques based on decision tree, state machine and Markov chain. For this purpose, it was planned and executed a computational experiment in which the player faces, individually and in random order, each combination of character and technique. For each player, samples are stored with information about fun, difficulty and time spent to defeat each agent. The experiment results are analyzed using the nonparametric Quade test with confidence 0:95. In the end, a comparative statistical analysis is presented about which combinations of decision technique and character model are significantly more fun, difficult and requiring more time to defeat them.

**Keywords:** Decision-making models, Decision trees, State machine, Markov chain, Artificial intelligence for games.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de um personagem modelado como AD que pode ficar em guarda, perseguir e defender. . . . .	17
Figura 2 – Exemplo de um personagem modelado como ME que pode ficar em guarda, perseguir e defendendo. . . . .	18
Figura 3 – Exemplo de um personagem modelado como CM que pode ficar em guarda, perseguir e defender. . . . .	19
Figura 4 – Processo de mudança de estado de um avatar. . . . .	25
Figura 5 – Árvore de decisão de P1. . . . .	26
Figura 6 – Árvore de decisão de P2. . . . .	27
Figura 7 – Diagrama de transição de P1. . . . .	28
Figura 8 – Diagrama de transição de P2. . . . .	29
Figura 9 – Cadeia de Markov de P1. . . . .	33
Figura 10 – Ambiente de simulação. . . . .	34
Figura 11 – Questionário utilizado no ambiente de simulação. . . . .	35
Figura 12 – Diagrama de caixa para dificuldade. . . . .	37
Figura 13 – Resultados do teste de Quade para a dificuldade. . . . .	38
Figura 14 – Diagrama de caixa para diversão. . . . .	39
Figura 15 – Resultados do teste de Quade para a diversão. . . . .	39
Figura 16 – Diagrama de caixa para o tempo para derrotar o inimigo. . . . .	40
Figura 17 – Resultados do teste de Quade para o tempo. . . . .	41

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Estrutura de uma matriz de transição. . . . .	19
Tabela 2 – Exemplo de uma matriz de probabilidades de uma cadeia de Markov. . . . .	20
Tabela 3 – Registros organizados em uma tabela para o teste de Quade. . . . .	20
Tabela 4 – Tempo de permanência dos estados de P1. . . . .	23
Tabela 5 – Tempo de permanência dos estados de P2. . . . .	24
Tabela 6 – Especificação dos avatares. . . . .	24
Tabela 7 – Descrição das perguntas dos nós apresentados pela Figura 5. . . . .	26
Tabela 8 – Descrição das perguntas dos nós apresentados pela Figura 6. . . . .	27
Tabela 9 – Descrição das transições de P1 apresentado pela Figura 7. . . . .	29
Tabela 10 – Descrição das transições de P2 apresentado pela Figura 8. . . . .	30
Tabela 11 – Matriz de transição de P1 no nível fácil. . . . .	31
Tabela 12 – Matriz de transição de P1 no nível médio. . . . .	31
Tabela 13 – Matriz de transição de P1 no nível difícil. . . . .	31
Tabela 14 – Matriz de transição de P2 no nível fácil. . . . .	31
Tabela 15 – Matriz de transição de P2 no nível médio. . . . .	32
Tabela 16 – Matriz de transição de P2 no nível difícil. . . . .	32
Tabela 17 – Tabela de dados referente à dificuldade. . . . .	48
Tabela 18 – Tabela de dados referente à diversão. . . . .	51
Tabela 19 – Tabela de dados referente ao tempo em segundos. . . . .	55

# Lista de abreviaturas e siglas

IA	Inteligência Artificial
AD	Árvore de Decisão
ME	Máquina de Estado
CM	Cadeia de Markov
PJ	Personagem Jogador
P1	Personagem Inimigo 1
P2	Personagem Inimigo 2
P1-ME	Avatar composto por P1 com a técnica ME
P1-CM	Avatar composto por P1 com a técnica CM
P1-AD	Avatar composto por P1 com a técnica AD
P2-ME	Avatar composto por P2 com a técnica ME
P2-CM	Avatar composto por P2 com a técnica CM
P2-AD	Avatar composto por P2 com a técnica AD

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Modelagem de Personagens e Tomada de Decisão</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Árvore de Decisão</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Máquina de Estados</b>	<b>18</b>
<b>3.4</b>	<b>Cadeia de Markov</b>	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Hipóteses Estatísticas</b>	<b>20</b>
<b>3.6</b>	<b>Teste de Quade</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>MÉTODOS UTILIZADOS</b>	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>Modelagem dos Personagens</b>	<b>22</b>
4.1.1	Personagem Jogador	22
4.1.2	Personagens Inimigos	22
<b>4.2</b>	<b>Modelagem das Técnicas de Decisão</b>	<b>24</b>
4.2.1	Árvore de Decisão	25
4.2.2	Máquina de Estados	27
4.2.3	Cadeia de Markov	30
<b>5</b>	<b>O AMBIENTE DE SIMULAÇÃO</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>Dificuldade</b>	<b>36</b>
<b>6.2</b>	<b>Diversão</b>	<b>38</b>
<b>6.3</b>	<b>Tempo</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>42</b>
<b>A</b>	<b>DADOS EXPERIMENTAIS</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>56</b>

# 1 Introdução

A aplicação de técnicas de Inteligência Artificial (IA) em jogos digitais propõe ampliar a interatividade e a jogabilidade dos mesmos (MILLINGTON, 2006). Diante disto, este trabalho visa aplicar e comparar as técnicas de IA baseadas em árvore de decisão, máquina de estado e cadeia de Markov em um ambiente de jogo de gênero plataforma-tiro, com a intenção de analisar e avaliar modelos em relação à diversão, dificuldade e tempo. Com isso, é possível definir quais modelos proporcionam mais jogabilidade e interatividade, tornando viável o uso deles em projetos futuros.

É comum que pessoas de todas as idades busquem entretenimento com jogos convencionais. Com o crescimento desta procura e da melhoria das tecnologias existentes, há uma exigência para que eles sejam mais bonitos e proporcionem maior jogabilidade do que antigamente (RABIN, 2011).

Uma avaliação em relação à qualidade subjetiva de uma técnica de IA é de grande importância para as futuras decisões. Deseja-se criar avatares (personagem + técnica de IA) com alta aceitação de diferentes tipos de jogadores de acordo com algumas características. Assim, este trabalho propõe uma metodologia para comparar avatares em um ambiente experimental.

O objetivo geral deste trabalho é construir um ambiente para comparar avatares inimigos no processo de tomada de decisão. Para isso, foram modelados dois personagens inimigos em um ambiente de jogo as seguintes técnicas de decisão: Máquina de Estados, Árvore de Decisão e Cadeia de Markov. Cada uma delas possui particularidades e obedece as características de cada personagem. Para a construção dos personagens, foi utilizado de inspiração, os personagens do jogo Metal Slug X (SNK. . . , 1999).

No ambiente planejado, o jogador enfrenta, individualmente e em ordem aleatória, cada combinação de personagem e técnica. Para cada jogador, as amostras são armazenadas com informações sobre a diversão, dificuldade e tempo gasto para derrotar cada agente. A hipótese nula sobre a igualdade destas medidas serão analisadas com o teste de Quade não paramétrico com confiança 0,95 (GARCÍA et al., 2010).

A análise estatística comparativa apresentará quais combinações de técnica de decisão e modelo de personagem são significativamente mais divertidos, difíceis e que exigem mais tempo para derrotá-los.

Em geral, os métodos não paramétricos são aplicados em problemas de inferência no qual as distribuições dos tratamentos não precisam pertencer a uma família específica de distribuições de probabilidade tal como Normal, Uniforme ou Exponencial (DERRAC et al., 2011).

A principal contribuição deste trabalho é a apresentação de uma metodologia capaz de comparar, em um ambiente de incerteza, um conjunto de agentes modelados com diferentes técnicas. Claramente, o método proposto aqui, é extensível para comparar qualquer número

de combinações de técnicas aplicadas em jogos digitais.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 apresenta trabalhos relacionados à proposta desse trabalho; o Capítulo 3 apresenta e explica as técnicas de decisão e o teste estatístico utilizado; o Capítulo 4 descreve os métodos utilizados para a criação dos personagens e como as técnicas de decisão foram adaptadas para eles; o Capítulo 5 apresenta e detalha como foi construído o ambiente utilizado para realizar a simulação do jogo; o Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos; E por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões e análises.

## 2 Trabalhos Relacionados

Neste capítulo são apresentados trabalhos que utilizaram as técnicas de decisão apresentadas neste trabalho. Alguns trabalhos citados pelo autor utilizaram técnicas de decisão determinísticas. Porém, outros foram adaptados para fazer com que possam ser usadas de forma evolutiva.

No trabalho *“UD3 - Unity Decision Tree Integrator: Uma extensão de Árvores de Decisão para Unity”* (MULLER; BITTENCOURT, 2014) foi feita uma análise descritiva de um *plug-in* que visa facilitar o trabalho do desenvolvedor Unity quanto ao uso de técnicas de IA. Os autores desse trabalho criaram um protótipo do UD3 com os métodos de aprendizado de máquina à partir da criação das árvores de decisão usando o ID3, extração das regras da árvore e inferência.

O trabalho *“Uma abordagem usando algoritmos genéticos em Agentes Inteligentes para Jogos”* (VIEIRA; SANTOS, 2008) utilizou a técnica máquina de estados para criar agentes inteligentes. Além da máquina de estados, foi utilizado algoritmos genéticos para torná-los mais inteligentes. O agente que utiliza essa máquina foi testado várias vezes até atingir uma constituição que o autor encontrou como sendo ideal para combates, demonstrando o aprendizado propiciado, bem como a eficácia do método.

A máquina de estados é uma das técnicas mais utilizadas pelos programadores para ter controle dos processos envolvidos em um jogo, pois permitem a ele modelar as etapas antes de codificá-la. O trabalho *“Utilizando Behaviors Para o Gerenciamento da Máquina de Estados em Jogos Desenvolvidos com Java 3D”* (MALFATTI; FRAGA, 2006) apresenta, descreve e demonstra algumas formas de utilização da classe Behavior, presente na API de Programação Java 3D, facilitando o gerenciamento da máquina de estados em jogos implementados com essa ferramenta. Dentro dessas demonstrações, os autores constatam que o uso do Behavior é plenamente adequado para o gerenciamento das máquinas de estados, uma vez que agiliza e facilita o trabalho de estruturação e programação, diminuindo o número de implementações necessárias para a obtenção do mesmo resultado.

O trabalho *“A Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv”* (GABRIEL; NEUMANN, 1962) apresenta um modelo de probabilidade de cadeia de Markov para ajustar os dados de precipitação de chuva diária na cidade de Tel Aviv. A distribuição do número de dias chuvosos por semana, meses ou outro período são obtidas.

Segundo Whittaker e Thomason (1994), o teste estatístico de software estabelece uma base para a inferência estatística sobre a qualidade do campo esperado de um sistema. O trabalho *“A Markov chain model for statistical software testing”*, feito por esses autores, descreve um método para o teste estatístico baseado em um modelo de cadeia de Markov de uso de software. O método permite que as sequências de teste de entrada sejam geradas à partir de várias distribuições de probabilidade, tornando-o mais geral do que muitas técnicas existentes. As sequências são geradas à partir da cadeia e aplicadas no software. Elas são usadas para

criar uma segunda cadeia de Markov para separar os históricos do teste em partes, incluindo qualquer falha observada.

Os trabalhos de Muller e Bittencourt (2014), Vieira e Santos (2008) e Malfatti e Fraga (2006) utilizaram passos semelhantes aos deste trabalho durante a modelagem das técnicas. Primeiramente, foram definidos os possíveis estados dos agentes e depois os parâmetros de entrada de cada técnica. Não foram encontrados trabalhos relacionados que utilizassem a técnica cadeia de Markov para modelagem de personagens para jogos.

## 3 Referencial Teórico

Neste capítulo são apresentadas as definições das técnicas e conceitos utilizados para este trabalho. Na Seção 3.1 são apresentados como personagens do ambiente foram modelados e como funciona o processo de tomada de decisão dos mesmos. Já nas Seções 3.2, 3.3 e 3.4 são descritos o funcionamento das técnicas árvore de decisão, máquina de estados e cadeia de Markov. A Seção 3.5 explica o teste de hipótese estatística. E por fim, a Seção 3.6 descreve como é realizado o teste de Quade e como comparar os resultados.

### 3.1 Modelagem de Personagens e Tomada de Decisão

A IA é definida como uma área do conhecimento que tenta simular comportamentos inteligentes em objetos inanimados. Tais comportamentos, que apenas os seres vivos conseguem realizar, são por exemplo pensar, tomar decisões diante de situações difíceis, comunicar, e o mais complicado de ser realizado, o aprendizado (MILLINGTON, 2006).

A utilização de técnicas de IA em jogos digitais propõe ampliar a interatividade e a jogabilidade dos mesmos. Os desenvolvedores procuram elaborar jogos que apresentem um bom desafio para o usuário, criando oponentes mais interativos (MILLINGTON, 2006).

Os algoritmos de tomada de decisão estão presentes na IA aplicada em jogos. Eles permitem que o personagem decida o que fazer, e quando fazer. Boa parte dos jogos utilizam sistemas de tomada de decisão simples, como árvores de decisão e máquina de estados (MILLINGTON, 2006).

De acordo com Millington (2006), a tomada de decisão é o componente que se articula com o movimento, implementado em cada personagem, e que permite que ele tome decisões. De um modo geral, todas as técnicas de tomada de decisão possuem uma estrutura semelhante. O personagem processa um grupo de informações com o objetivo de gerar uma ação para executar. Os dados para um sistema de tomada de decisão é o conhecimento que um determinado personagem tem do ambiente, e o resultado é o pedido de ação. Esse conhecimento ainda pode ser dividido em dois, o interno e o externo. Este último é a informação que o personagem tem do ambiente ao seu redor, como a posição de outros personagens, a arma de outro personagem, a saúde de outro personagem, a direção que surge um som e a distância dele até o inimigo. E o conhecimento interno é a informação que o personagem tem dele mesmo, como a sua saúde, seu movimento realizado anteriormente e o seu objetivo.

A quantidade e o formato do conhecimento vão de acordo com os requisitos do jogo. A representação do conhecimento está ligada essencialmente com a maioria das técnicas de tomada de decisão.

Nas próximas seções serão apresentadas três técnicas de tomada de decisão abordadas neste trabalho.

## 3.2 Árvore de Decisão

Segundo Muralikrishna (2009), a Árvore de Decisão (AD) consiste em um conjunto de regras condicionais encadeadas do tipo “IF - ELSE”, que formam uma estrutura hierárquica similar a de uma árvore.

Uma AD tem como entrada um objeto ou situação descrita por um conjunto de características e como saída uma ação, ou decisão. A ação final é decidida através de uma sequência de testes. De um modo geral, uma AD é composta de uma raiz, ramos, nós e folhas.

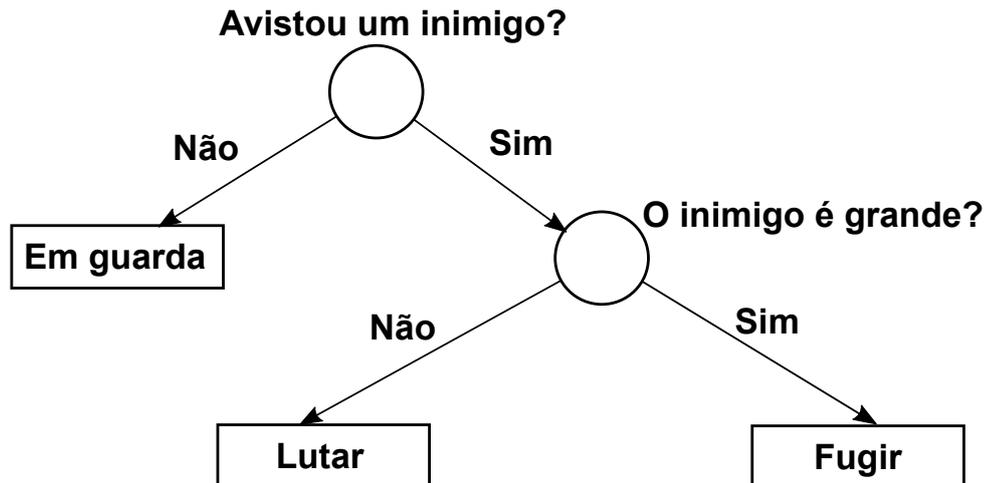


Figura 1 – Exemplo de um personagem modelado como AD que pode ficar em guarda, perseguir e defender.

A Figura 1, criada pelo autor, representa um modelo de personagem através de uma AD em que cada nó corresponde a uma condição. Os ramos são considerados os possíveis resultados da condição do nó. E cada folha representa um valor a ser retornado caso aquela folha seja alcançada. Neste caso, o personagem é questionado se avistou um inimigo. Caso não tenha avistado, ele assume o estado em guarda. Se avistou, ele é questionado se esse inimigo é grande. Caso o inimigo for grande, o personagem assume o estado fugir. Senão ele assume o estado lutar.

As árvores de decisão são habitualmente usadas como mecanismos rápidos e simples no processo de tomada de decisão. Os personagens costumam aderir diretamente ao estado global do jogo, em vez de aceder apenas à representação do próprio conhecimento. É comum que a maioria das ADs sejam binárias, mas é possível ter quantos ramos precisar (MILLINGTON, 2006).

A principal vantagem de uma AD é a simplicidade de compreender, modelar e implementar. Uma desvantagem é a falta de aleatoriedade que permite aos jogadores visualizar ações futuras.

### 3.3 Máquina de Estados

O estudo da Máquina de Estado (ME) pertence à teoria dos autômatos. Uma ME pode modelar um sistema à partir de um conjunto finito de comportamentos e suas respectivas transições (HOPCROFT, 2000). É a técnica mais frequentemente utilizada para tomada de decisão em jogos (MILLINGTON, 2006). Uma ME pode ser representada graficamente através de um diagrama de estados que apresenta os estados, entradas, saídas e transições (HOPCROFT, 2000).

Uma máquina de estado finita  $M = (S, I, O, f, g, s_0)$  é composto por um conjunto finito  $S$  de estados, um alfabeto de entrada finito  $I$ , um alfabeto de saída finito  $O$ , uma função de transição  $f$  que atribui a cada par estado e entrada um novo estado, uma função de saída  $g$  que atribui a cada par estado e entrada uma saída, e um estado inicial  $s_0$  (HOPCROFT, 2000).

Este tipo de técnica é facilmente aplicada em modelagem se o agente for considerado uma ME. Para um personagem, um conjunto de comportamentos pode ser considerado como um conjunto de estados e a respectiva mudança ocorre através de transições.

Uma das desvantagens de usar MEs é que comportamentos repetitivos podem ser memorizados pelo jogador, o que torna as ações do personagem previsíveis. É difícil a ME prever todas as situações, pois o número de estados e transições variam de acordo com a complexidade do ambiente (KARLSSON, 2005).

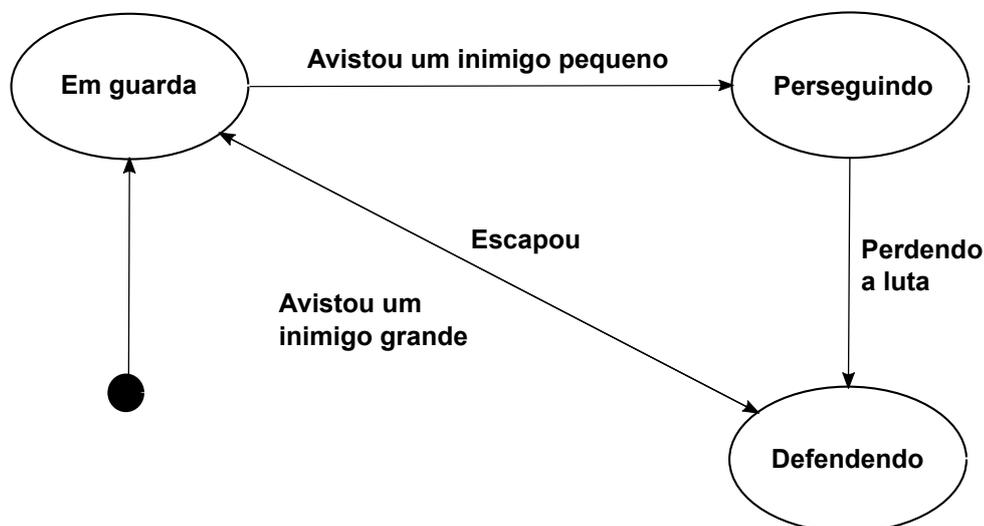


Figura 2 – Exemplo de um personagem modelado como ME que pode ficar em guarda, perseguir e defendendo.

A Figura 2, adaptada de (MILLINGTON, 2006), representa um diagrama de estados de um personagem fictício, que por sua vez possui os mesmos estados do apresentado pela Figura 1. O estado inicial é indicado com o pequeno círculo preto. Cada estado possui condições para transitar entre os outros. Quando uma das transições é aceita, um novo estado é ativado.

### 3.4 Cadeia de Markov

Um processo estocástico é definido como um conjunto de variáveis aleatórias  $X_t$ , o qual representa uma característica mensurável de interesse no instante  $t$ . O processo estocástico representa o comportamento de um sistema operando ao longo do tempo (HILLIER; LIEBERMAN, 2010).

Uma Cadeia de Markov (CM) é um caso particular de processo estocástico com a propriedade de que a distribuição de probabilidade do próximo estado depende exclusivamente do estado atual e não da série de eventos que o antecedeu. Em outras palavras, os estados anteriores são irrelevantes para a predição dos estados seguintes, desde que o estado atual seja conhecido (HILLIER; LIEBERMAN, 2010).

Uma maneira de mostrar as probabilidades de transição é através da matriz apresentada na Tabela 1, em que  $M$  é o número de estados. Para um estado fixo  $i$ , a linha  $i$  mostra todas as probabilidades,  $P_{ij}$ , de transição para qualquer outro estado  $j$ . Cada linha representa uma distribuição de probabilidade, ao qual pode-se afirmar que  $\sum_{j=1}^M P_{ij} = 1$ .

Estado	1	2	...	M
1	$P_{11}$	$P_{12}$	...	$P_{1M}$
2	$P_{21}$	$P_{22}$	...	$P_{2M}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
M	$P_{M1}$	$P_{M2}$	...	$P_{MM}$

Tabela 1 – Estrutura de uma matriz de transição.

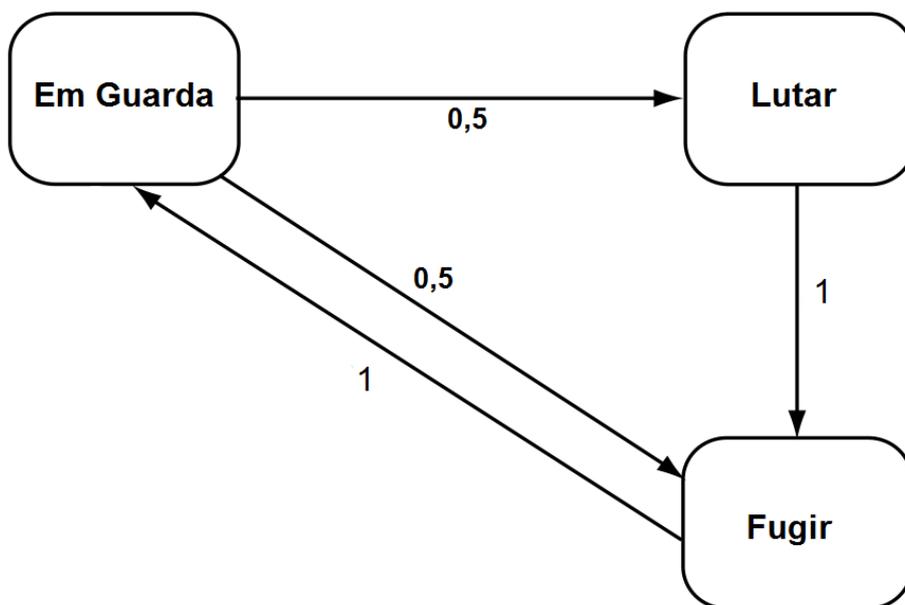


Figura 3 – Exemplo de um personagem modelado como CM que pode ficar em guarda, perseguir e defender.

A Figura 3 utiliza o mesmo diagrama utilizado para construir o personagem fictício

mostrado na Figura 2. Dessa vez, a transição ocorre de acordo com os respectivos valores de probabilidade. Ela descreve o comportamento de um personagem de um jogo com comportamento aleatorizado. A matriz de transição da Tabela 2 representa as probabilidades de transição entre os estados em guarda, lutar e fugir.

ESTADO	EM GUARDA	LUTAR	FUGIR
EM GUARDA	0,0	0,5	0,5
LUTAR	0,0	0,0	1,0
FUGIR	1,0	0,0	0,0

Tabela 2 – Exemplo de uma matriz de probabilidades de uma cadeia de Markov.

### 3.5 Hipóteses Estatísticas

Uma hipótese estatística é uma declaração sobre os parâmetros de uma ou mais populações. A afirmação é chamada de hipótese, e o processo decisório é chamado de teste de hipóteses (MONTGOMERY; RUNGER, 2010).

Os testes de hipóteses e estimativa do intervalo de confiança de parâmetros são métodos fundamentais utilizados na análise de dados para uma experiência comparativa. Um processo que conduz a uma decisão sobre uma hipótese nula particular contra uma alternativa é chamado de teste de hipótese. A hipótese nula é a afirmação a ser testada. A rejeição da hipótese nula leva a aceitação da hipótese alternativa (MONTGOMERY; RUNGER, 2010).

Um teste de hipótese envolve coletar uma amostra aleatória, computar uma estatística de teste à partir dos dados da amostra, e em seguida, usar o teste estatístico para tomar uma decisão sobre a hipótese nula (MONTGOMERY; RUNGER, 2010).

### 3.6 Teste de Quade

De acordo com (DERRAC et al., 2011) e (GARCÍA et al., 2010), o teste de Quade é um teste estatístico não paramétrico que visa detectar diferenças entre  $K$  tratamentos, sendo  $K \geq 2$ . Como pode ser observado pela Tabela 3, os registros são agrupados em blocos, ou grupos, de  $K$  unidades experimentais homogêneas, que são afetadas aleatoriamente.

Blocos	Tratamentos			
	$T_1$	$T_2$	...	$T_K$
<b>1</b>	$X_{11}$	$X_{12}$	...	$X_{1K}$
<b>2</b>	$X_{21}$	$X_{22}$	...	$X_{2K}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
<b>B</b>	$X_{B1}$	$X_{B2}$	...	$X_{BK}$

Tabela 3 – Registros organizados em uma tabela para o teste de Quade.

O teste de Quade calcula rankings ponderados para cada tratamento da seguinte maneira. Considere  $R(X_{ij})$  como a classificação atribuída a  $X_{ij}$  dentro do bloco  $i$ . As médias são

utilizadas em caso de empate. Os intervalos de cada bloco são calculados e atribuídos à  $Q_i$ . Seja  $S_{ij} = Q_i(R(X_{ij}) - (K + 1)/2)$  e  $S_j = \sum_{i=1}^B S_{ij}$ , para todo  $j = 1, 2, \dots, K$ .

O teste de Quade considera a hipótese nula  $H_0$  que afirma que todos os tratamentos têm efeitos idênticos, contra a alternativa  $H_1$ , que declara que, pelo menos, um tratamento é diferente de pelo menos algum outro. A estatística de teste utilizada é  $T = (B - 1)\beta/(A2 - \beta)$ , no qual  $A2 = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^K S_{ij}^2$  e  $\beta = (1/B) \sum_{i=1}^K S_j^2$ .

Dado um nível de significância  $\alpha$ , é rejeitada a hipótese nula se  $T > F_{(\alpha, K-1, (B-1)(K-1))}$ . A função  $F$  calcula o ponto percentual da distribuição  $F$ . Se a hipótese dos tratamentos idênticos for rejeitada, é determinado quais pares de tratamentos são diferentes utilizando a Equação 3.1, em que  $t$  vem de distribuição de  $t$ -Student.

$$|S_i - S_j| > t_{(1-\alpha/2, (B-1)(K-1))} \sqrt{\frac{2B(A2 - \beta)}{(B - 1)(K - 1)}} \quad (3.1)$$

## 4 Métodos Utilizados

Nesta seção é descrito como foram modelados os personagens, as técnicas e o ambiente usado para fazer a simulação de um jogo 2D do gênero plataforma-tiro.

As tecnologias utilizadas para este trabalho foram Javascript, PHP, CSS e HTML5. A aplicação manipula os objetos do ambiente e gerencia o processamento gráfico através do elemento canvas (ROWELL, 2011). Três tipos distintos de personagens foram construídos para serem usados no experimento do trabalho. Um deles é controlado pelo jogador, via teclado e mouse. Os outros dois são agentes aos quais foram aplicadas três técnicas distintas de tomada de decisão, que são máquina de estados, cadeia de Markov e árvore de decisão.

À seguir, a Seção 4.1 explica como foram modelados os personagens e descreve as possíveis ações e estados. A Subseção 4.1.1 faz uma descrição do personagem controlado pelo jogador. Já a Subseção 4.1.2 explica como foram modelados os personagens inimigos. Por fim, a Seção 4.2 descreve como foram modeladas e aplicadas nos personagens inimigos as técnicas de decisão.

### 4.1 Modelagem dos Personagens

Os três personagens possuem os mesmos movimentos, porém cada um tem formas de atacar diferentes. Como o ambiente de simulação acontece em tempo real, o motor do jogo realiza todos os cálculos e tratamentos necessários para que seja possível uma interação entre jogador-personagem.

#### 4.1.1 Personagem Jogador

O personagem jogador (PJ) pode realizar três tipos de movimentos, que são andar e saltar. Ele possui quatro armas diferentes, podendo alternar entre elas, que são:

- Revólver
- Metralhadora
- Escopeta
- Granadas

#### 4.1.2 Personagens Inimigos

Os personagens inimigos são controlados por alguma técnica de decisão. Eles podem andar, pular e atacar com uma arma. Cada um deles possuem armas diferentes. Todos os movimentos e ataques são controlados por meio de estados, que são definidos de acordo com o conjunto de ações que determinado personagem pode executar. Cada estado possui uma

particularidade, tais como o movimento que será realizado enquanto o personagem assumir um estado e o tempo obrigatório que um personagem deve continuar no mesmo estado.

O personagem 1 (P1) possui três armas diferentes, sendo elas:

- Revólver.
- Facas.
- Foguetes.

Para realizar as ações, ele possui os seguintes estados EM GUARDA, PERSEGUINDO, ATACANDO 1 (Revólver), ATACANDO 2 (Facas), ATACANDO 3 (Foguetes), DEFENDENDO e RECUANDO. Cada um desses estados possuem um tempo de permanência, no qual é obrigado que o personagem permaneça nele, conforme a Tabela 4.

<b>ESTADOS</b>	<b>TEMPO DE PERMANÊNCIA</b>
EM GUARDA ( $E_1$ )	indeterminado
PERSEGUINDO ( $E_2$ )	0,05 segundos
ATACANDO 1 ( $E_3$ )	2 segundos
ATACANDO 2 ( $E_4$ )	1,5 segundos
ATACANDO 3 ( $E_5$ )	1 segundo
DEFENDENDO ( $E_6$ )	0,5 segundos
RECUANDO ( $E_7$ )	0,1 segundos

Tabela 4 – Tempo de permanência dos estados de P1.

Já o personagem 2 (P2) possui quatro armas diferentes, sendo elas:

- Bazuca.
- Metralhadora.
- Facas.
- Granada de peito alemão.

Para realizar as ações, ele possui os seguintes estados EM GUARDA, PERSEGUINDO, ATACANDO 1 (Bazuca), ATACANDO 2 (Metralhadora), ATACANDO 3 (Facas), ATACANDO 4 (Granada de peito alemão), DEFENDENDO e RECUANDO. Da mesma forma que P1, o P2 também possui um tempo de permanência para cada estado, conforme apresentado pela Tabela 5.

<b>ESTADOS</b>	<b>TEMPO DE PERMANÊNCIA</b>
EM GUARDA ( $E_1$ )	indeterminado
PERSEGUINDO ( $E_2$ )	0,05 segundos
ATACANDO 1 ( $E_3$ )	2,5 segundos
ATACANDO 2 ( $E_4$ )	1,5 segundos
ATACANDO 3 ( $E_5$ )	2 segundos
ATACANDO 4 ( $E_6$ )	2 segundos
DEFENDENDO ( $E_7$ )	0,5 segundos
RECUANDO ( $E_8$ )	0,1 segundos

Tabela 5 – Tempo de permanência dos estados de P2.

Tanto a Tabela 4 quanto a Tabela 5 apresentam os tempos de permanência de cada estado dos respectivos personagens. Pode-se notar que os estados do tipo ATACANDO possuem tempos mais elevados, porque são estados que exigem mais movimentos dos personagens. O estado EM GUARDA possui tempo indeterminado, pois os personagens podem sair dele a qualquer momento. Este é um estado no qual os inimigos realizam nenhum movimento.

A transição entre os estados dos personagens é controlada por uma técnica de tomada de decisão, em que são observados os elementos do ambiente.

## 4.2 Modelagem das Técnicas de Decisão

As técnicas de decisão apresentadas nas Seções 3.2, 3.3, 3.4 foram modeladas e aplicadas em P1 e P2. Elas fazem com que os personagens inimigos sejam capazes de interagir dentro do ambiente e tomar decisões.

A Tabela 6 apresenta como são definidos os avatares e quais as respectivas técnicas e inimigos. Essa notação será utilizada no Capítulo 6 para análise dos gráficos.

<b>AVATAR</b>	<b>Inimigo</b>	<b>Técnica</b>
P1-ME	Personagem inimigo 1	Máquina de estados
P1-CM	Personagem inimigo 1	Cadeia de Markov
P1-AD	Personagem inimigo 1	Árvore de decisão
P2-ME	Personagem inimigo 2	Máquina de estados
P2-CM	Personagem inimigo 2	Cadeia de Markov
P2-AD	Personagem inimigo 2	Árvore de decisão

Tabela 6 – Especificação dos avatares.

De uma forma geral, a transição entre estados dos personagens é calculado à partir de um conjunto de parâmetros de entrada para uma técnica. Após isso, obedecendo as regras criadas para cada avatar, a técnica retorna qual será o próximo estado que o avatar irá assumir. O processo descrito na Figura 4 é realizado várias vezes, obedecendo as regras particulares de cada inimigo.

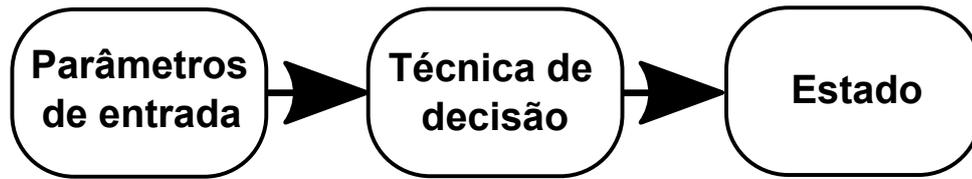


Figura 4 – Processo de mudança de estado de um avatar.

#### 4.2.1 Árvore de Decisão

A árvore de decisão foi a mais simples, fácil e rápida de implementar. Uma árvore binária foi criada para cada personagem. Observando as Figuras 5 e 6, elas são compostas por uma raiz (N1), que é o círculo que se encontra acima de todos os outros. De nós, que são todos os outros círculos. E das folhas, que são os possíveis resultados, ou seja, os estados.

Cada nó representa uma pergunta, em que é possível dois tipos de resposta, sim ou não. Assim, os estados dos personagens são definidos à partir das condições encontradas em cada nó e na raiz. Desta forma, à partir de combinações dos parâmetros de entrada, cada personagem pode assumir qualquer estado que esteja presente na respectiva árvore.

Os parâmetros de entrada para a função que calcula o próximo estado que os inimigos devem ficar são:

1. O estado atual do personagem.
2. As coordenadas  $x$  e  $y$  referentes ao personagem.
3. A largura e altura do personagem.

As Figuras 5 e 6 mostram as árvores dos personagens inimigos P1 e P2. E as Tabelas 7 e 8 mostram as perguntas dos nós.

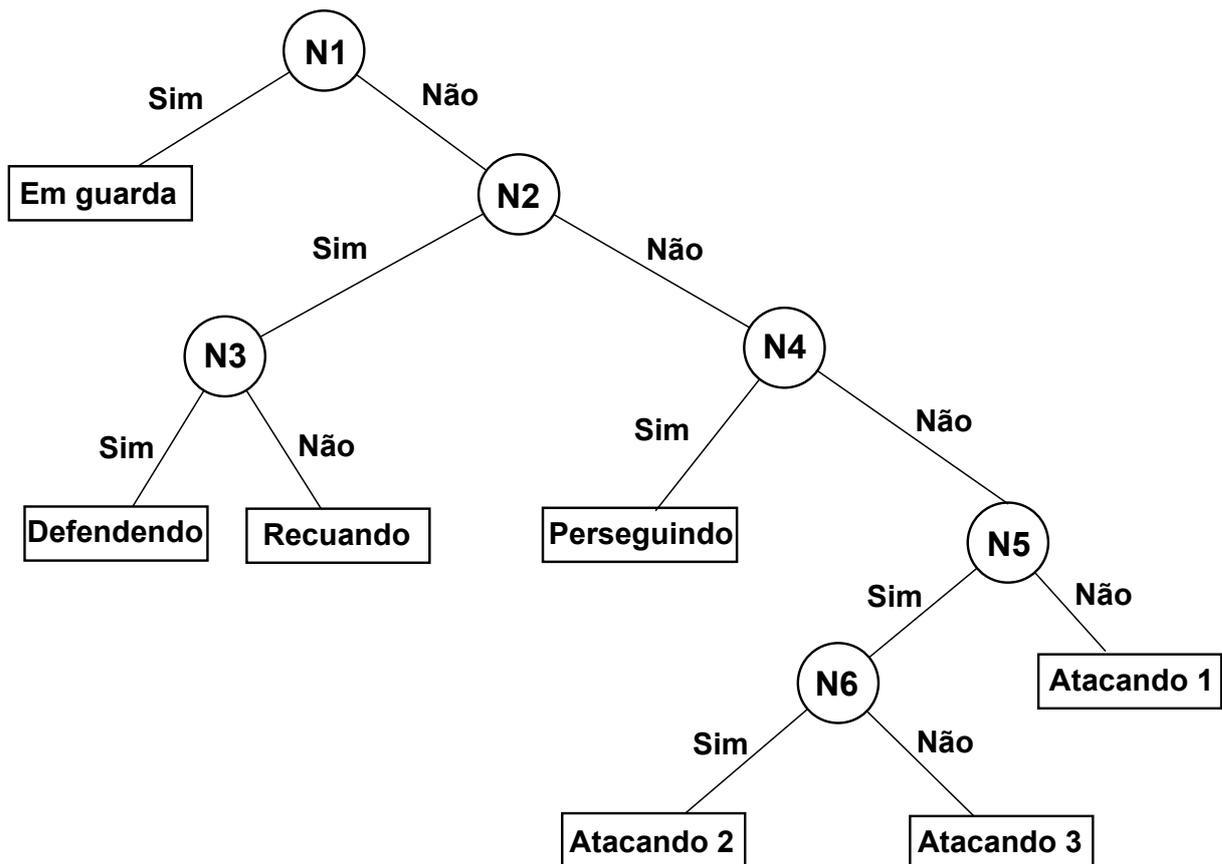


Figura 5 – Árvore de decisão de P1.

Nó	Pergunta para transição
N1	P1 está muito longe de PJ?
N2	P1 está correndo perigo?
N3	P1 está prestes a ser atingido?
N4	P1 consegue ver, mas não consegue atacar PJ?
N5	P1 está longe para usar o ataque 1?
N6	P1 está perto de PJ?

Tabela 7 – Descrição das perguntas dos nós apresentados pela Figura 5.

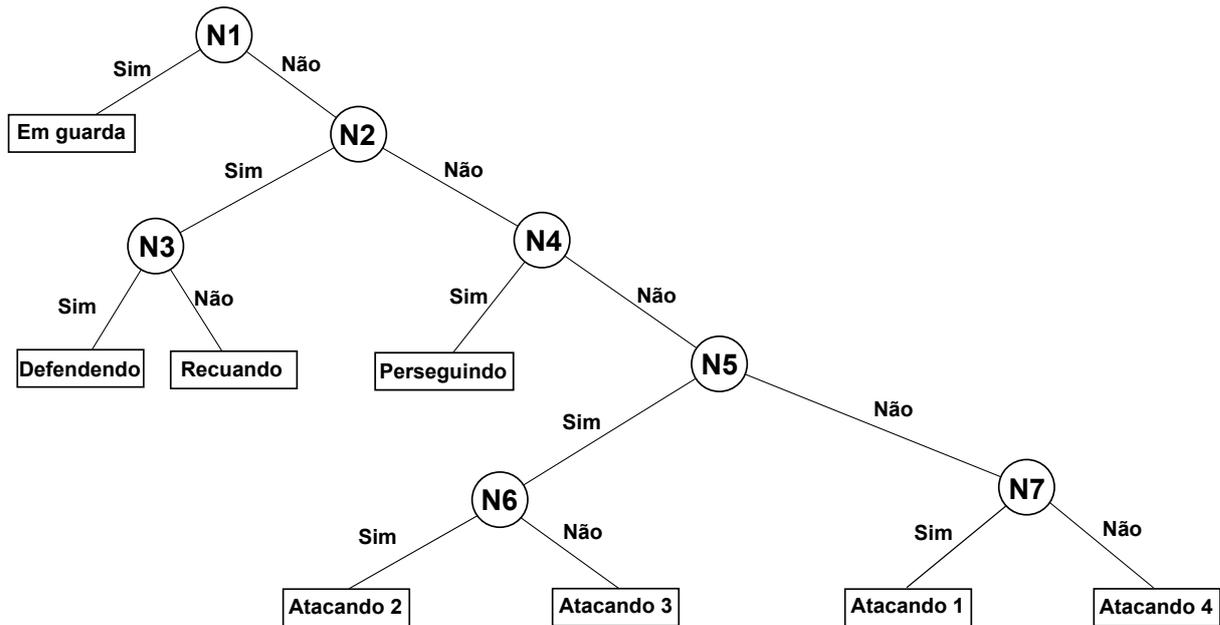


Figura 6 – Árvore de decisão de P2.

Nó	Pergunta para transição
N1	P1 está muito longe de PJ?
N2	P1 está correndo perigo?
N3	P1 está prestes a ser atingido?
N4	P1 consegue ver, mas não consegue atacar PJ?
N5	P1 está longe de PJ?
N6	P1 está com a saúde baixa?
N7	P1 está com a saúde baixa?

Tabela 8 – Descrição das perguntas dos nós apresentados pela Figura 6.

Tanto a Figura 5 juntamente com a Tabela 7 quanto a Figura 6 juntamente com a Tabela 8 demonstram como é representado todos os possíveis comportamentos dos personagens inimigos utilizando a técnica árvore de decisão. Cada vez que o motor do jogo realiza uma repetição, é feito todo o processo de tomada de decisão utilizando essa árvore. Perguntas são realizadas aos personagens, e elas são respondidas utilizando as informações passadas por parâmetros, dessa forma este processo termina quando o caminho percorrido na árvore chegar em uma folha, ou seja, em um estado.

#### 4.2.2 Máquina de Estados

A implementação desta técnica é mais difícil que a árvore de decisão. Pode-se observar isso analisando a quantidade de transições da ME e a quantidade de nós da AD. E também deve-se levar em consideração o fato de que a AD não depende do parâmetro de entrada estado atual.

O comportamento dos inimigos estão vinculados à um estado. No diagrama de transição, os estados estão interligados um ao outro através de possíveis transições. Se o ambiente determina que sejam cumpridas as condições de uma transição, então ocorre a mudança do estado atual para o estado alvo da transição.

Os parâmetros de entrada para a função que calcula o próximo estado que os inimigos devem ficar são:

1. O estado atual do personagem.
2. As coordenadas  $x$  e  $y$  referentes ao personagem.
3. A largura e altura do personagem.

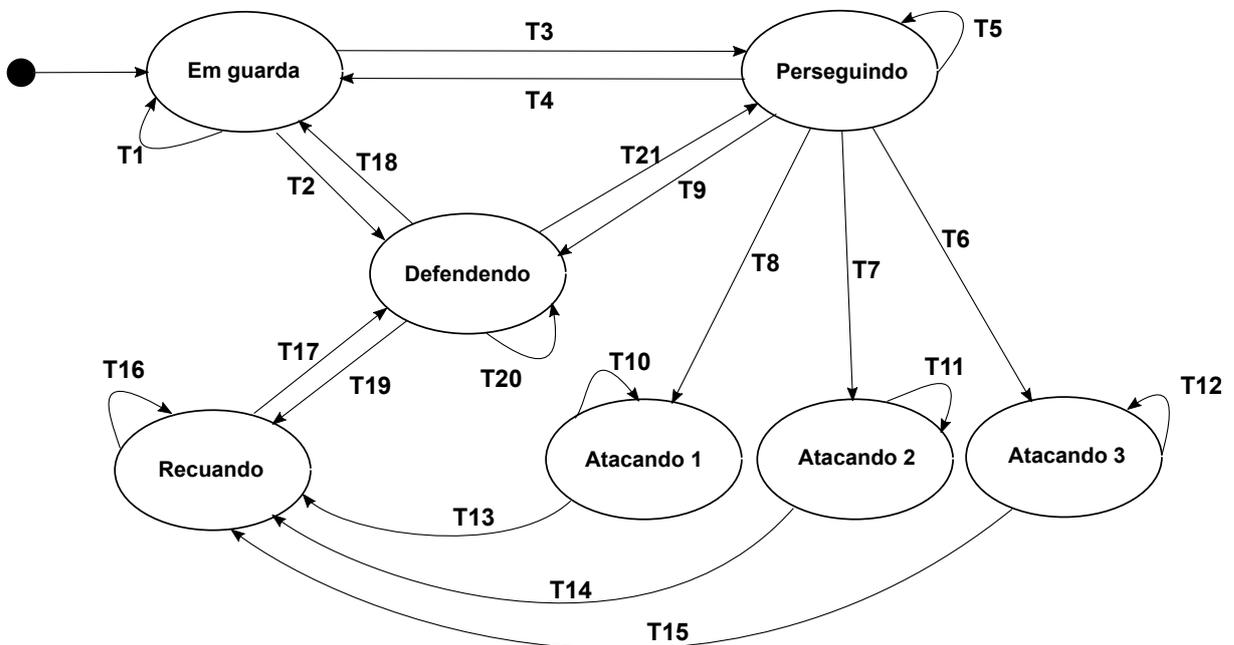


Figura 7 – Diagrama de transição de P1.

As transições mostradas na Figura 7 são descritas na Tabela 9. Todas elas respeitam os tempos de permanência mostrados na Tabela 4. Uma observação importante é que, caso duas transições sejam acionadas ao mesmo tempo, a transição que leva para o estado Defendendo tem prioridade. E caso nenhuma das duas transições acionadas levar ao estado Defendendo, é realizado um sorteio para decidir qual será o próximo estado.

Transição	Condição de Transição
T1	P1 não consegue ver PJ
T2	P1 está prestes a ser atingido
T3	P1 consegue ver PJ, mas está longe para atacar
T4	P1 não consegue ver PJ
T5	P1 consegue ver PJ, mas está longe para atacar
T6	P1 não está prestes a ser atingido e PJ está dentro do alcance do Ataque 3
T7	P1 não está prestes a ser atingido e PJ está dentro do alcance do Ataque 2
T8	P1 não está prestes a ser atingido e PJ está dentro do alcance do Ataque 1
T9	P1 está prestes a ser atingido
T10	PJ está dentro do alcance do Ataque 1
T11	PJ está dentro do alcance do Ataque 2
T12	PJ está dentro do alcance do Ataque 3
T13	PJ não está dentro do alcance do Ataque 1
T14	PJ não está dentro do alcance do Ataque 2
T15	PJ não está dentro do alcance do Ataque 3
T16	P1 está muito perto de PJ
T17	P1 está prestes a ser atingido
T18	P1 não consegue ver PJ
T19	P1 está muito perto de PJ
T20	P1 está prestes a ser atingido
T21	P1 consegue ver PJ, mas está longe para atacar

Tabela 9 – Descrição das transições de P1 apresentado pela Figura 7.

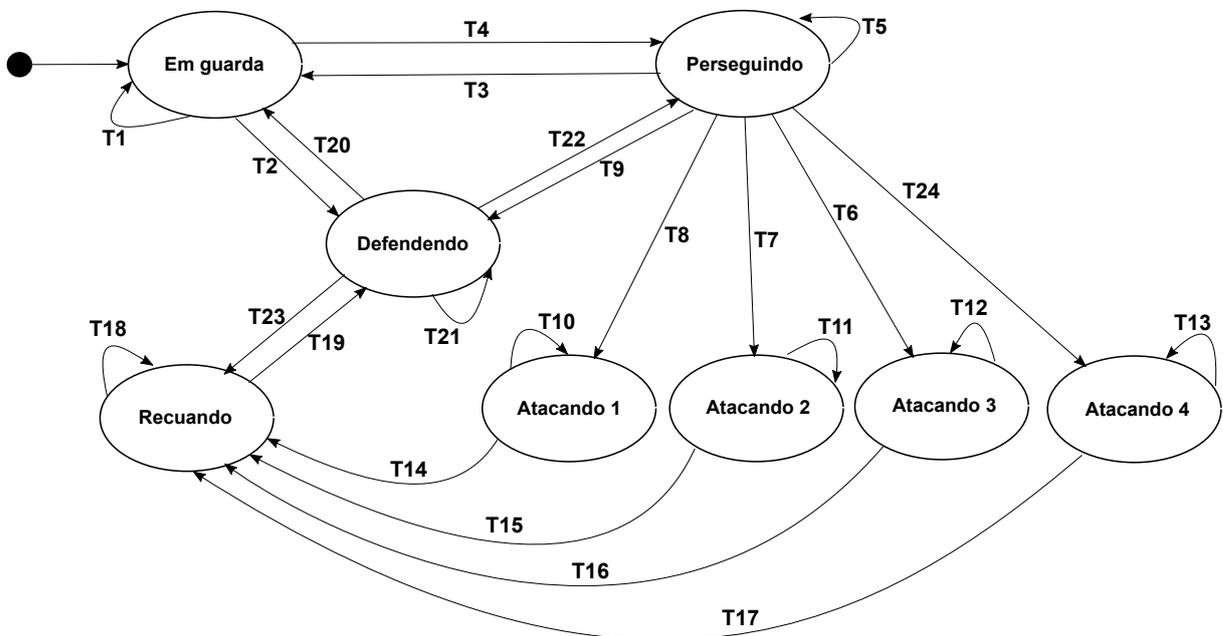


Figura 8 – Diagrama de transição de P2.

As transições mostradas na 8 são descritas na Tabela 10. Todas elas respeitam o tempo de permanência mostrado na Tabela 5. Caso duas transições sejam acionadas ao mesmo tempo, a transição que leva para o estado Defendendo tem prioridade. E se nenhuma

das duas levar ao estado Defendendo, é realizado um sorteio.

Transição	Condição de Transição
T1	P2 não consegue ver PJ
T2	P2 está prestes a ser atingido
T3	P2 consegue ver PJ, mas está longe para atacar
T4	P2 não consegue ver PJ
T5	P2 consegue ver PJ, mas está longe para atacar
T6	P2 não está prestes a ser atingido e PJ está dentro do alcance do Ataque 3
T7	P2 não está prestes a ser atingido e PJ está dentro do alcance do Ataque 2
T8	P2 não está prestes a ser atingido e PJ está dentro do alcance do Ataque 1
T9	P2 está prestes a ser atingido
T10	PJ está dentro do alcance do Ataque 1
T11	PJ está dentro do alcance do Ataque 2
T12	PJ está dentro do alcance do Ataque 3
T13	PJ está dentro do alcance do Ataque 4
T14	PJ não está dentro do alcance do Ataque 1
T15	PJ não está dentro do alcance do Ataque 2
T16	PJ não está dentro do alcance do Ataque 3
T17	PJ não está dentro do alcance do Ataque 4
T18	P2 está muito perto de PJ
T19	P2 está prestes a ser atingido
T20	P2 não consegue ver PJ
T21	P2 está prestes a ser atingido
T22	P2 consegue ver PJ, mas está longe para atacar
T23	P2 está muito perto de PJ
T24	P2 não está prestes a ser atingido e PJ está dentro do alcance do Ataque 4

Tabela 10 – Descrição das transições de P2 apresentado pela Figura 8.

#### 4.2.3 Cadeia de Markov

A cadeia de Markov foi a técnica que exigiu mais tempo para implementação e modelagem, pois foram criadas três matrizes de transição para cada personagem. O processo de criação dessas matrizes foi demorado, pois foi necessário testar e analisar as probabilidades.

Para aplicar a cadeia de Markov nos personagens, foram criadas três matrizes de transição para cada um. Cada matriz representa um nível de dificuldade que aumenta de acordo com alguns parâmetros de entrada. Para considerar um nível fácil ou difícil, é considerado as probabilidades de transição para os estados DEFENDENDO e os estados ATACANDO, em que quanto maior a probabilidade de se alcançar o estado DEFENDENDO, maior será a dificuldade do inimigo. O mesmo pode ser considerado para os estados do tipo ATACANDO, em que quanto maior a probabilidade de o inimigo utilizar o ataque mais forte, maior fica o nível de dificuldade do mesmo.

A matriz de transição obedece o diagrama de transição dos personagens mostrados nas Figuras 7 e 8. Os estados que não estão interligados possuem probabilidade de transição 0. Essas matrizes servem para indicar a probabilidade de a cadeia assumir um estado  $E_j$  estando em  $E_i$ .

Estados	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$
$E_1$	0,850	0,100	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000
$E_2$	0,075	0,800	0,035	0,035	0,005	0,050	0,000
$E_3$	0,000	0,000	0,900	0,000	0,000	0,000	0,100
$E_4$	0,000	0,000	0,000	0,900	0,000	0,000	0,100
$E_5$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,900	0,000	0,100
$E_6$	0,850	0,050	0,000	0,000	0,000	0,050	0,050
$E_7$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,950

Tabela 11 – Matriz de transição de P1 no nível fácil.

Estados	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$
$E_1$	0,750	0,100	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000
$E_2$	0,075	0,700	0,035	0,035	0,005	0,150	0,000
$E_3$	0,000	0,000	0,900	0,000	0,000	0,000	0,100
$E_4$	0,000	0,000	0,000	0,900	0,000	0,000	0,100
$E_5$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,900	0,000	0,100
$E_6$	0,800	0,075	0,000	0,000	0,000	0,150	0,075
$E_7$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,850

Tabela 12 – Matriz de transição de P1 no nível médio.

Estados	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$
$E_1$	0,600	0,100	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000
$E_2$	0,075	0,550	0,035	0,035	0,005	0,300	0,000
$E_3$	0,000	0,000	0,900	0,000	0,000	0,000	0,100
$E_4$	0,000	0,000	0,000	0,900	0,000	0,000	0,100
$E_5$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,900	0,000	0,100
$E_6$	0,500	0,100	0,000	0,000	0,000	0,300	0,100
$E_7$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300	0,700

Tabela 13 – Matriz de transição de P1 no nível difícil.

Estados	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$
$E_1$	0,895	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000
$E_2$	0,075	0,850	0,030	0,015	0,015	0,010	0,005	0,000
$E_3$	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035
$E_4$	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,000	0,035
$E_5$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,035
$E_6$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,035
$E_7$	0,795	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,100
$E_8$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,995

Tabela 14 – Matriz de transição de P2 no nível fácil.

Estados	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$
$E_1$	0,750	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000
$E_2$	0,075	0,665	0,040	0,025	0,025	0,020	0,150	0,000
$E_3$	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035
$E_4$	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,000	0,035
$E_5$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,035
$E_6$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,035
$E_7$	0,650	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,100
$E_8$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150	0,850

Tabela 15 – Matriz de transição de P2 no nível médio.

Estados	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$
$E_1$	0,500	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,400	0,000
$E_2$	0,075	0,415	0,040	0,025	0,025	0,020	0,400	0,000
$E_3$	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035
$E_4$	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,000	0,035
$E_5$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,000	0,035
$E_6$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,965	0,000	0,035
$E_7$	0,500	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,400	0,100
$E_8$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,400	0,600

Tabela 16 – Matriz de transição de P2 no nível difícil.

As Tabelas 11, 12, 13, 14, 15 e 16 foram construídas para representar a matriz de probabilidade dos dois personagens (P1 e P2). As linhas são os estados atuais e as colunas são os próximos estados.

Existem dois parâmetros de entrada para que sejam alternadas as matrizes de probabilidade dos personagens. Eles são o estado atual e a saúde do personagem em questão (P1 ou P2).

Para a criação dessas tabelas de probabilidade, foram utilizados os diagramas de transições dos personagens P1 (Figura 7) e P2 (Figura 8), obedecendo as possíveis transições entre os estados.

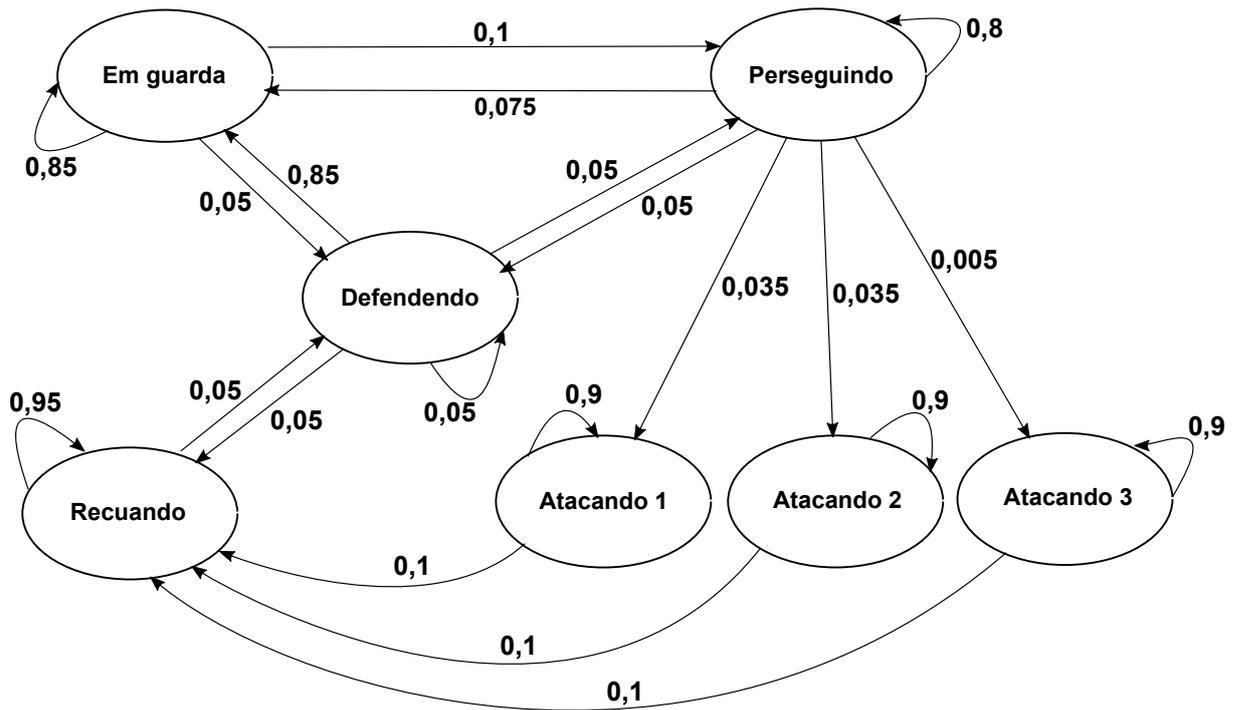


Figura 9 – Cadeia de Markov de P1.

A Figura 9 representa a cadeia de Markov de nível fácil para o personagem P1. O mesmo pode ser feito para os níveis médio e difícil, alterando somente as probabilidades de transição entre os estados.

O processo de decisão da cadeia de Markov é simples. Quando o personagem se encontra em um estado  $E_i$ , sorteia-se um número  $r$  aleatório de 0 a 1, que define de acordo com a matriz de transição, o próximo estado que o personagem vai assumir.

Paralelamente ao processo citado acima, também é controlado o nível de dificuldade do personagem. Se a saúde do personagem está acima de 80%, é usada a matriz de nível fácil. Para a saúde entre 50% e 80% é usada a matriz de nível médio. E, para a saúde menor que 50% é usada a matriz de nível difícil, mostrando que quanto mais fraco o personagem inimigo vai ficando, mais difícil será de derrotá-lo. Esses dois processos são feitos da mesma forma para os dois personagens inimigos.

## 5 O Ambiente de Simulação

A fim de comparar e analisar quais as técnicas e qual o personagem inimigo teria um melhor desempenho nas categorias de diversão, dificuldade e tempo levado para ser derrotado, foi utilizado, com as devidas adaptações, um ambiente de jogo de plataforma-tiro em duas dimensões. O objetivo desse ambiente é coletar dados para que seja realizado o teste de hipótese que investigará o comportamento dos avatares.

Nesse ambiente, o personagem jogador terá que enfrentar, em um teste cego, todos os avatares criados com uma combinação entre os personagens inimigos e as técnicas utilizadas. O jogador não sabe a combinação enfrentada de personagem e técnica. Os avatares são representados por retângulos preenchidos com cores e a ordem de apresentação durante cada combate é aleatória.

Para a realização dos experimentos, esse ambiente foi disponibilizado online visando obter um maior número de dados para análise. Não houve um alvo definido, de modo que qualquer pessoa de qualquer idade pôde acessar o ambiente e realizar os experimentos.

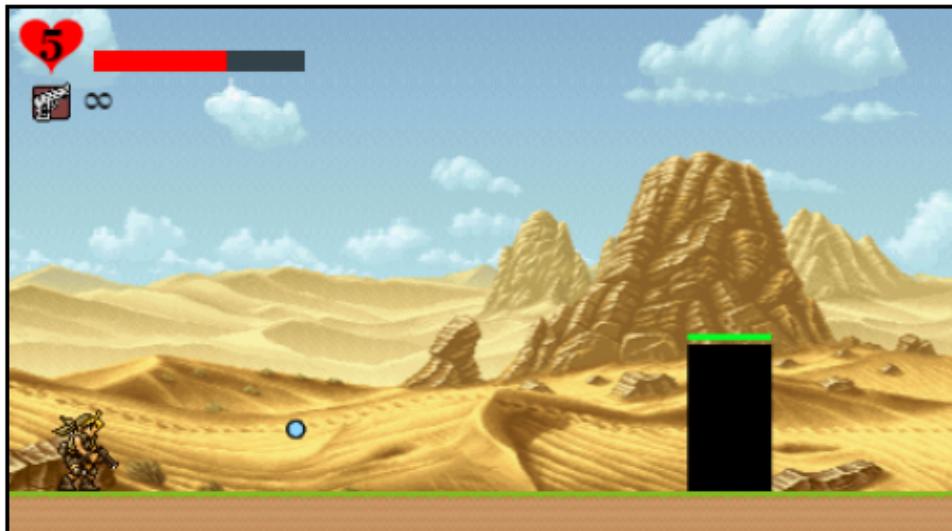


Figura 10 – Ambiente de simulação.

Existem quatro tipos de ataque para o personagem jogador, citados na Seção 4.1. Nesse ambiente, alguns desses ataques são limitados por uma quantidade de munição, exceto o revólver que tem munição infinita. A metralhadora tem 200 tiros, a escopeta tem 20 tiros e 5 unidades de granada. Essas quantidades são repostas cada vez que um avatar é derrotado. O personagem jogador tem cinco vidas e uma vida tem 100 pontos de saúde. Todos esses dados são mostrados na interface do ambiente ilustrada pela Figura 10. Além disso, todos os inimigos possuem somente uma vida com 100 pontos de saúde.

Após derrotar cada avatar, duas perguntas são feitas ao jogador. Ele é questionado

quanto à diversão que teve ao duelar com o avatar e quanto à dificuldade do mesmo. Além desses questionamentos, internamente é calculado quanto tempo o jogador levou para derrotar o avatar. Esse ciclo é realizado para cada avatar. A Figura 11 ilustra a apresentação de um desses questionários.



Figura 11 – Questionário utilizado no ambiente de simulação.

As barras de dificuldade e diversão mostradas na Figura 11 representam um valor entre 0 e 1, em que quanto mais perto de fácil ou chato, menor é esse valor, e vice-versa. Já o tempo levado para derrotar o inimigo é obtido em segundos.

Todos os dados referentes ao questionário são coletados e armazenados em um banco de dados juntamente com o tempo levado para derrotar o inimigo, que é calculado internamente. As respostas são gravadas para que possam ser manipuladas e analisadas futuramente.

## 6 Resultados

O ambiente citado no Capítulo 5 foi disponibilizado online durante dois meses. Para coletar as amostras, foram convidados a jogar uma única vez (para não influenciar os dados) alunos do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, campus Timóteo, e usuários de redes sociais relacionadas a jogos digitais e desenvolvimento de software.

Após passado o tempo do experimento no ambiente de simulação, foram coletados 142 registros e gerada uma tabela para cada questão. Essas tabelas tem dimensões  $142 \times 6$ , em que 142 é o número de blocos e 6 é o número de tratamentos, ou avatares. Para garantir a confiabilidade dos registros, foi realizado um filtro nas tabelas das questões 1 e 2. Esse filtro eliminou os blocos que tinham três resultados iguais para tratamentos distintos. Com isso, foi considerado para a questão 1 (dificuldade) somente 69 blocos. Para a questão 2 (diversão) foram considerados 71 blocos. Não foi necessário realizar o filtro para a questão 3, pois esse dado foi retirado internamente do ambiente. Assim, foi possível realizar o teste de Quade para obter resultados sobre os avatares que mostram qual é o mais fácil ou difícil de ser derrotado, qual proporciona mais ou menos diversão para o jogador e qual leva mais ou menos tempo para ser derrotado.

Para cada hipótese, o teste não paramétrico de Quade foi aplicado com significância de  $\alpha = 0,05$ . Assim, foi gerado um gráfico com o ranking ponderado de cada avatar apresentando o intervalo crítico que define a existência de diferença significativa, caso não haja interseção.

Os diagramas de caixa para todos os dados recolhidos são apresentados nas Figuras 12, 14 e 16. É possível observar a dispersão dos dados para a dificuldade, diversão e tempo gasto para derrotar os avatares. As saídas de teste Quade para os três testes de hipóteses são apresentados nas Figuras 13, 15 e 17. Para cada avatar, é mostrado o ranking ponderado com seu respectivo intervalo crítico. Intervalos sem interseção apresentaram diferenças significativas de acordo com a Equação 3.1. Caso contrário, não há uma evidência de diferença estatística.

As próximas seções apresentam os resultados obtidos com o experimento executado para cada uma das questões. Os dados coletados são apresentados no Apêndice A por meio das Tabelas 17, 18 e 19. Já os resultados serão mostrados nas Seções 6.1, 6.2 e 6.3.

### 6.1 Dificuldade

Para comparar os avatares em relação à dificuldade para serem derrotados, foram utilizadas as seguintes hipóteses, sendo  $H_0$  a hipótese nula.

$H_0$  Todos os avatares possuem a mesma dificuldade de ser derrotado.

$H_1$  Pelo menos algum dos avatares difere na dificuldade de ser derrotado.

Com isso, o teste de Quade foi realizado sobre os dados da Tabela 17 referente à dificuldade. O valor-P obtido foi  $4,0988 \times 10^{-06}$ . E o valor crítico obtido foi  $1,6631 \times 10^{03}$ . Constatou-se que  $\text{valor-P} < \alpha$ . Assim, pode-se dizer que pelo menos algum dos avatares difere na dificuldade proporcionada.

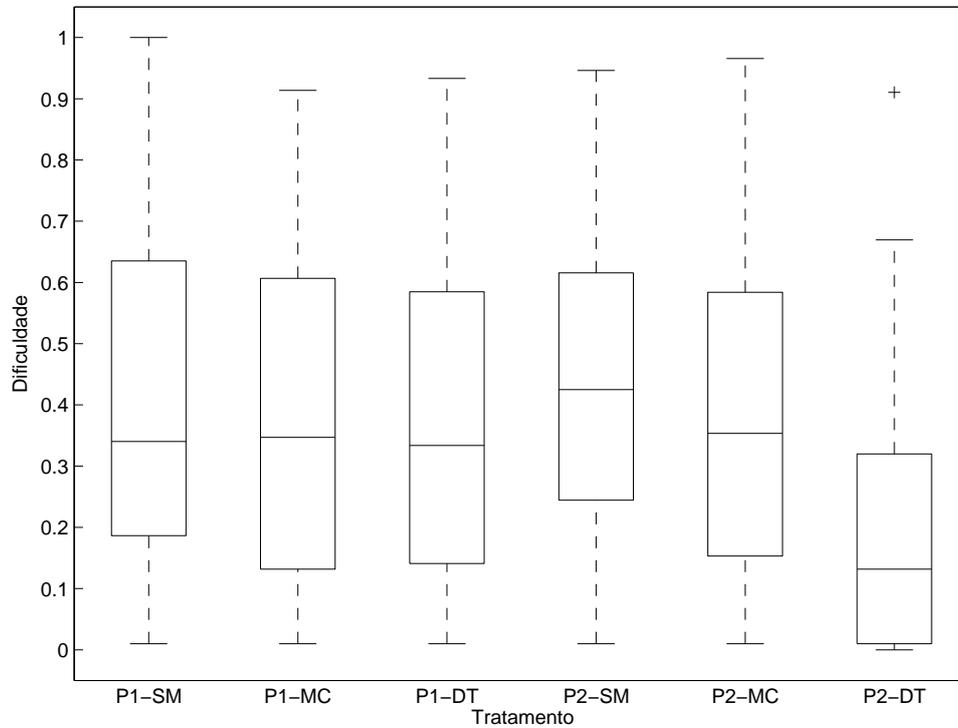


Figura 12 – Diagrama de caixa para dificuldade.

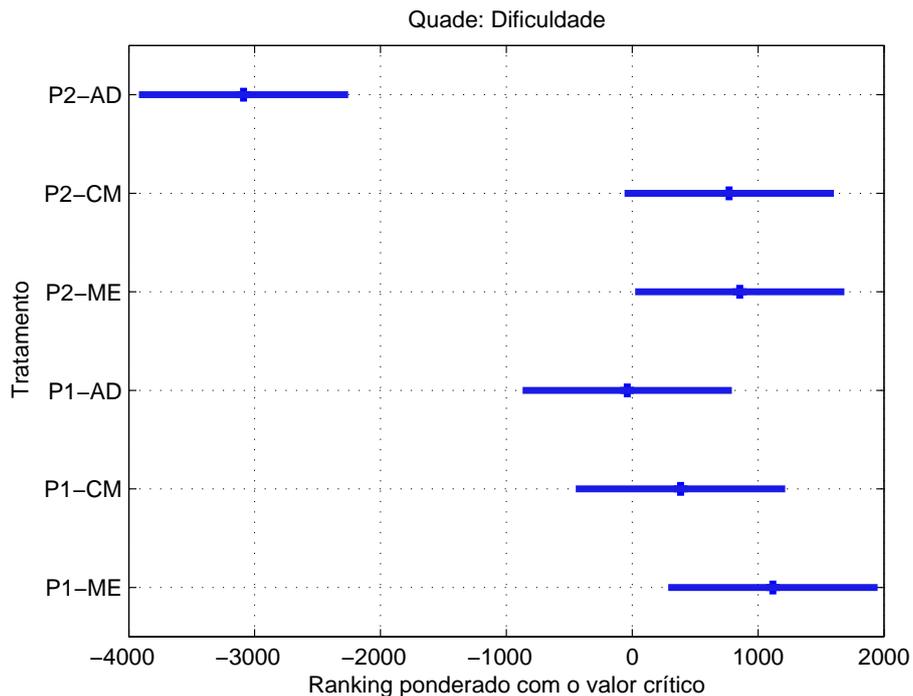


Figura 13 – Resultados do teste de Quade para a dificuldade.

Em relação à dificuldade, excluindo o avatar P2-AD, os outros foram competitivos e não apresentaram diferença estatística. Embora P1-AD não apresentou diferença, pode-se observar que o mesmo está localizado mais à esquerda na Figura 13. Esta é uma indicação de que a tomada de decisão baseada na AD pode ser mais fácil do que outros. Também pode ser notado que P1-ME, P2-ME e P2-CM possuem grandes e semelhantes rankings ponderados, indicando uma elevada semelhança na dificuldade. Um designer deve considerar para inserir um destes mais para o final do jogo por serem avaliados mais difíceis.

## 6.2 Diversão

Para comparar os avatares em relação ao nível de diversão proporcionado ao enfrentá-los, foram utilizadas as seguintes hipóteses, sendo  $H_0$  a hipótese nula.

$H_0$  Todos os avatares geram o mesmo nível de diversão.

$H_1$  Pelo menos algum dos avatares diferem no nível de diversão.

Com isso, o teste de Quade foi realizado em cima da Tabela 18 referente à diversão. O valor-P obtido foi  $5,1563 \times 10^{-04}$ . E o valor crítico obtido foi  $1,7669 \times 10^{03}$ . Constatou-se que  $\text{valor-P} < \alpha$ . Assim, pode-se dizer que pelo menos algum dos avatares difere na diversão proporcionada.

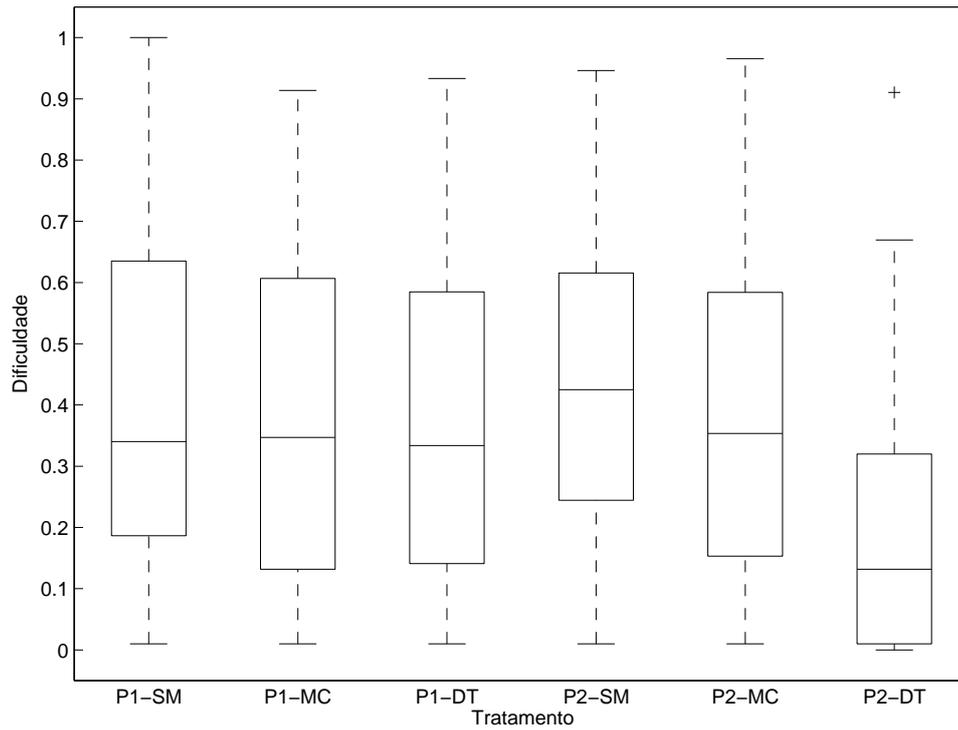


Figura 14 – Diagrama de caixa para diversão.

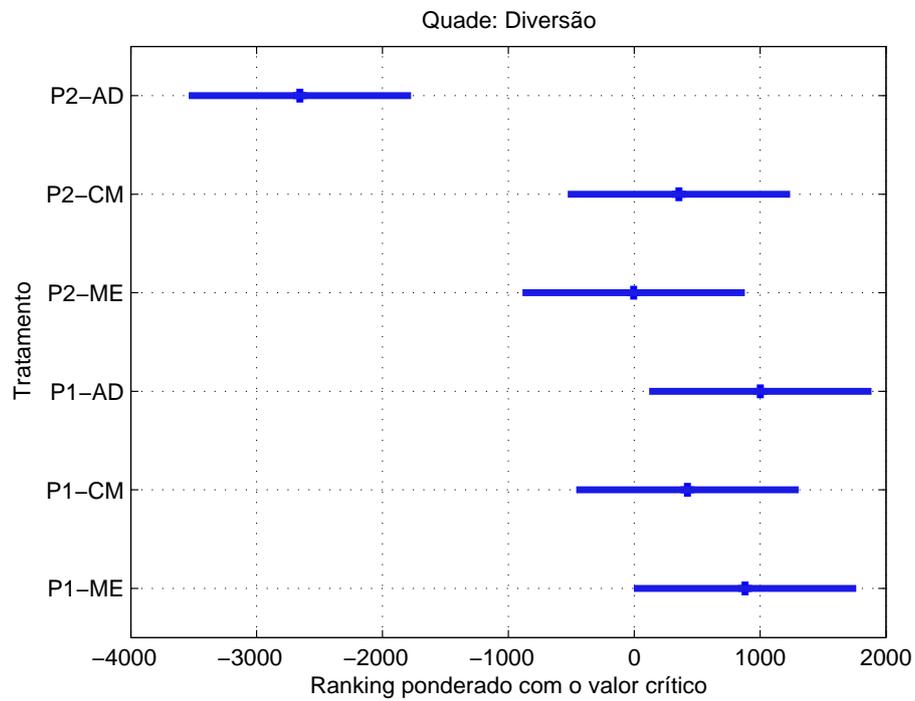


Figura 15 – Resultados do teste de Quade para a diversão.

Analisando a Figura 15, é fácil perceber que o avatar P2-AD (Personagem 2 com a técnica árvore de decisão) fez com que a hipótese nula fosse rejeitada.

### 6.3 Tempo

Para comparar os avatares em relação tempo que o jogador levou para derrotá-los, foram utilizadas as seguintes hipóteses, sendo  $H_0$  a hipótese nula.

$H_0$  Todos os avatares demandam o mesmo tempo para serem derrotados.

$H_1$  Pelo menos algum dos avatares difere no tempo gasto para ser derrotado.

Com isso, o teste de Quade foi realizado em cima da Tabela 19 referente à diversão. O valor-P obtido foi  $1,0600 \times 10^{-06}$ . E o valor crítico obtido foi  $4,9831 \times 10^{03}$ . Constatou-se que  $\text{valor-P} < \alpha$ . Assim, pode-se dizer que pelo menos algum dos avatares leva mais ou menos tempo para ser derrotado.

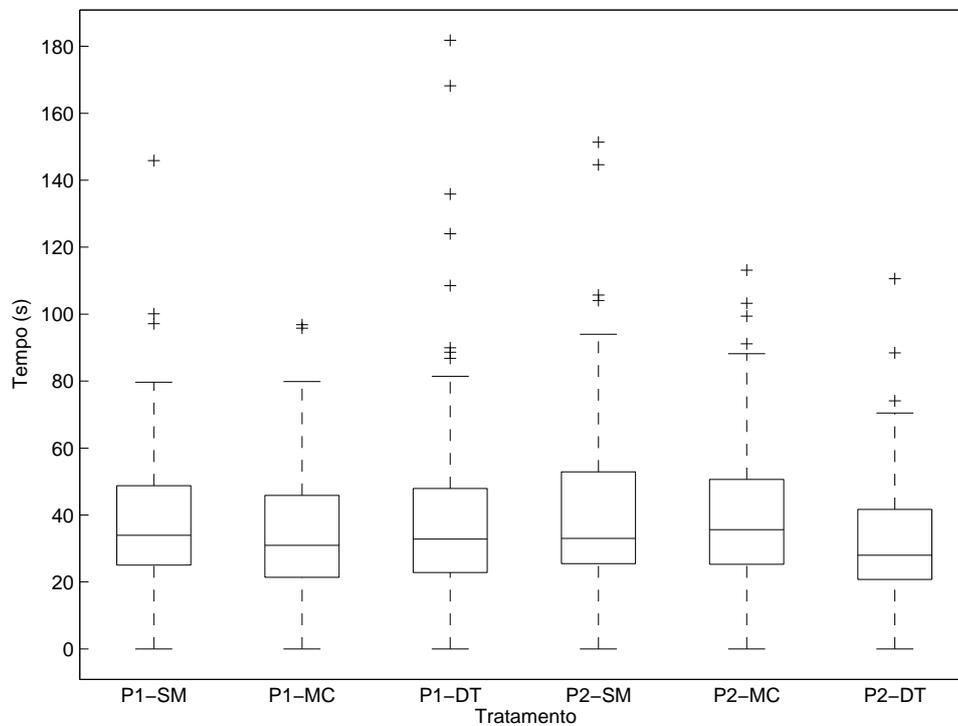


Figura 16 – Diagrama de caixa para o tempo para derrotar o inimigo.

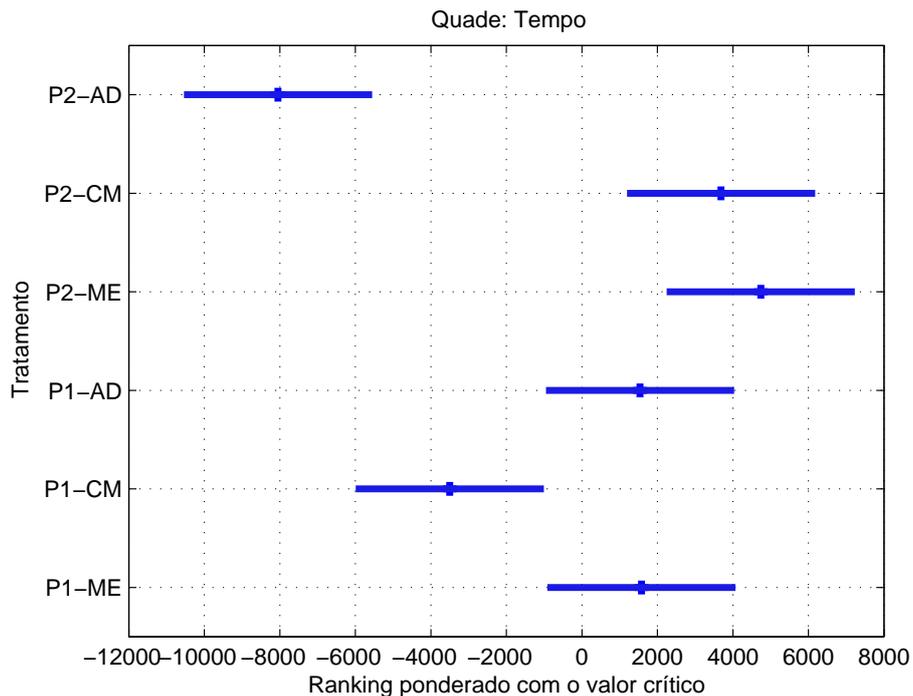


Figura 17 – Resultados do teste de Quade para o tempo.

Analisando a Figura 17, pelo menos algum dos avatares difere no tempo levado para ser derrotado. É possível confirmar esse resultado comparando o valor-P com o nível de significância, constatando que  $\text{valor-P} < \alpha$ . Graficamente, é fácil perceber que os avatares P2-AD e P1-CM fizeram com que a hipótese nula seja rejeitada. Eles levaram menos tempo para serem derrotados do que os demais.

Em relação à dificuldade, diversão e tempo gasto para derrotar um inimigo, o teste de Quade retornou, respectivamente, os valores-P  $4,0988 \times 10^{-06}$ ,  $5,1563 \times 10^{-04}$  e  $1,0600 \times 10^{-06}$ . Isto indica que, pelo menos, um avatar difere de outro em todas as características analisadas. Por isso, em primeiro lugar, pode concluir-se que uma combinação adequada de um personagem modelo e uma técnica de tomada de decisão é importante no design do jogo para selecionar ou descartar avatares em um projeto de acordo com alguns critérios de qualidade.

Um avatar atraente é P1-ME, que apresentou uma boa dificuldade, um elevado nível de diversão e um tempo intermédio gasto para ser derrotado. Por estes fatos, este personagem é uma boa indicação para um chefe.

Em geral, as Figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17 indicam claramente que a combinação de P2 com AD foi o avatar mais fácil e menos divertido com o menor tempo para derrotá-lo. Devido a estes baixos níveis de qualidades, este modelo é um a ser descartado.

## 7 Conclusões

Este trabalho apresentou uma metodologia de comparação de avatares através de um ambiente de simulação de um jogo 2D. Criou-se aqui um personagem jogador e dois personagens inimigos, aos quais foram aplicadas três técnicas de decisão distintas. Cada avatar foi uma combinação de um modelo de personagem e uma das três técnicas de modelo de decisão, que são árvore de decisão, máquina de estado e de cadeia de Markov. O personagem jogador é controlado utilizando o teclado e mouse, podendo se movimentar e efetuar ataques aos avatares.

As técnicas, implementadas especificamente para cada personagem, tornam eles mais inteligentes e dinâmicos. A implementação do ambiente do jogo foi realizada utilizando a tecnologia HTML5 com a linguagem JavaScript para manipular os objetos da aplicação no elemento canvas. Com isso, um questionário foi criado para cada avatar visando coletar informações sobre os mesmos.

O ambiente foi organizado e disponibilizado online para qualquer pessoa jogar e enfrentar os avatares. Depois de vencer cada inimigo, cada jogador respondeu a um questionário em relação ao dificuldade e diversão. Também foi calculado o tempo de duelo. Após dias destinados à coleta dessas informações, foram geradas tabelas para cada questão, o que tornou possível analisar cada quesito por meio de estatística. Para isso, foi utilizado o teste de Quade, que é um teste estatístico não paramétrico que permitiu fazer uma investigação no comportamento dos avatares.

Após a realização de todos os processos e analisar os resultados, foi possível alcançar a meta proposta deste trabalho, que foi comparar combinações de personagens e técnicas de tomada de decisão de acordo com as questões levantadas. Concluiu-se que uma combinação de modelo de personagem e técnica de decisão pode diferenciar estatisticamente em alguns critérios de qualidade de acordo com os jogadores. Também pode ser observado que avatar é mais adequado durante a evolução de um jogo, de acordo com a sua dificuldade, diversão e tempo gasto para derrotá-lo.

A técnica que mais levou tempo para ser modelada e aplicada nos personagens foi a cadeia de Markov, principalmente pela complexidade das matrizes de transição e pelo fato de que cada personagem possui três delas. Porém, essa complexidade não fez com que ela tivesse resultados muito diferenciados. Isso é justificado pela aleatoriedade das transições presentes nela.

Já a técnica árvore de decisão, que foi a que levou menos tempo para ser modelada e aplicada nos personagens, obteve resultados um pouco piores do que a cadeia de Markov. Os piores resultados de todos os quesitos analisados foram dados ao avatar P2-AD.

Pode-se usar a técnica árvore de decisão para tornar o personagem mais fraco e fácil de ser derrotado, mas também mais chato de se enfrentar. Já a técnica máquina de estados,

pode ser usada para se obter um personagem mais difícil e que leve menos tempo para ser derrotado.

Com isso, a técnica de decisão máquina de estados, que se destacou positivamente nos quesitos dificuldade e tempo. Esta metodologia é uma interessante ação a ser aplicada a partir do fase de desenvolvimento de jogos de alfa para beta. Uma vez que é possível medir e analisar estatisticamente quaisquer critérios de qualidade de avatares. O produto final tende a ser mais organizado em termos de jogabilidade e imersão. Pode também ser notado que a metodologia aqui apresentada é facilmente estendida para analisar avatares com diferentes técnicas.

Para trabalhos futuros, deseja-se analisar a técnica cadeia de Markov mais profundamente. Almeja-se também utilizar o mesmo ambiente eliminando os avatares que usam as outras técnicas. Com isso, foi possível expandir os personagens, fazendo com que o ambiente possua seis avatares, mas todos eles usando essa técnica. A diferença seria nas matrizes de transição, em que cada um dos avatares usaria diferentes matrizes, uma utilizada para o nível fácil, outra para o médio e uma para o difícil. A mesma metodologia pode ser usada para realizar a análise e comparação deles.

# A Dados Experimentais

Este apêndice apresenta tabelas que contém os dados coletados no ambiente de simulação. Cada uma delas está preenchida com os valores referentes à um dos quesitos mencionados na Seção 5. Todas possuem 142 linhas (blocos) e 6 colunas (tratamentos), em que cada uma das colunas se referem à um avatar. Para garantir a confiabilidade dos registros, foi realizado um filtro nas Tabelas 17 e 18. Esse filtro eliminou os blocos que tinham três resultados iguais para tratamentos distintos. Com isso, foi considerado para a questão 1 (dificuldade) somente 69 blocos. Para a questão 2 (diversão) foram considerados 71 blocos.

A Tabela 17 apresenta os dados obtidos referente ao quesito dificuldade. Os registros que tem valor próximos a 1 indicam que o avatar foi difícil de ser derrotado. E os que tiveram valor próximos a 0 indicam que o avatar foi fácil de ser derrotado.

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
0,4805	0,7997	0,2720	0,2264	0,0100	0,0212
0,2199	0,2199	0,4186	0,1384	0,1450	0,0100
0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0179	0,0100
0,0100	0,1395	0,0157	0,0255	0,0255	0,1395
0,0218	0,2694	0,0100	0,2792	0,1130	0,1228
0,5000	0,7801	0,6531	0,6107	0,5912	0,3013
0,0100	0,0440	0,2557	0,0765	0,3730	0,0100
0,3111	0,3762	0,2883	0,6107	0,5000	0,5000
0,9235	0,0570	0,1384	0,1482	0,0635	0,0863
0,5000	0,5684	0,5000	0,2231	0,5000	0,6173
0,0100	0,5098	0,0100	0,7052	0,5000	0,1059
0,3371	0,0100	0,0733	0,1124	0,0375	0,0100
0,3143	0,1352	0,1352	0,7834	0,2785	0,1938
0,3274	0,4967	0,6694	0,2231	0,7704	0,0100
0,4417	0,2332	0,0508	0,5915	0,3863	0,4059
0,4186	0,2231	0,3339	0,6238	0,6531	0,5391
0,0212	0,6010	0,2850	0,2980	0,3404	0,3046
0,5000	0,5000	0,7638	0,5000	0,5000	0,6433
0,6726	0,7964	0,6661	0,3274	0,6857	0,2199
0,5228	0,5782	0,5000	0,2915	0,3665	0,5000
0,6564	0,5521	0,5847	0,9463	0,7606	0,2980
0,1645	0,1287	0,1417	0,5000	0,0961	0,4381
0,2003	0,1417	0,3078	0,3078	0,4446	0,6205
0,5000	0,7345	0,0100	0,7410	0,5000	0,6531
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000

Continua na página seguinte

**Tabela 17 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,9919	0,5000
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,9919	0,5000
0,5423	0,0100	0,0100	0,0212	0,0100	0,0100
0,0277	0,7085	0,0100	0,0100	0,5000	0,1221
0,6303	0,5489	0,0863	0,6954	0,1091	0,2231
0,5000	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
0,1743	0,1482	0,6824	0,1091	0,2329	0,0961
0,5000	0,4967	0,3339	0,4186	0,2231	0,1678
0,1026	0,0100	0,0603	0,2394	0,1547	0,0100
0,1221	0,6433	0,0100	0,0961	0,0100	0,0100
0,2199	0,1319	0,1612	0,6010	0,4153	0,0179
0,2980	0,5489	0,3664	0,3502	0,5000	0,3990
0,0100	0,3306	0,9951	0,0100	0,0100	0,0100
1,0000	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
0,3534	0,1743	0,1091	0,5000	0,5814	0,0100
0,5000	0,3599	0,2850	0,5000	0,5000	0,2655
0,6498	0,6010	0,3436	0,3404	0,3990	0,3078
0,3306	0,1743	0,5000	0,0100	0,1091	0,0100
0,0440	0,6238	0,2101	0,0100	0,2720	0,0100
0,0733	0,0114	0,5847	0,0342	0,1612	0,3306
0,1065	0,8101	0,2173	0,8557	0,6440	0,5000
0,2590	0,5000	0,5000	0,3534	0,6205	0,4674
0,7508	0,0961	0,3632	0,2818	0,0961	0,3632
0,2329	0,2687	0,5749	0,0100	0,1287	0,1026
0,0896	0,0603	0,7182	0,7606	0,1645	0,0100
0,0831	0,5000	0,0100	0,0179	0,0993	0,0179
0,5000	0,3306	0,5000	0,6303	0,5228	0,0765
0,6726	0,0100	0,1482	0,1906	0,1026	0,0100
0,5684	0,5684	0,5684	0,6987	0,3893	0,8160
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000
0,3404	0,5000	0,5000	0,5782	0,6336	0,0000
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,4381	0,5000
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
0,8518	0,6824	0,3469	0,2459	0,5000	0,0100
0,5000	0,5000	0,7150	0,5000	0,5000	0,5000
0,7117	0,2036	0,0100	0,6107	0,7215	0,0100
0,4283	0,6433	0,0100	0,3274	0,1482	0,2655
0,0100	0,5000	0,5000	0,5000	0,0505	0,6173

Continua na página seguinte

**Tabela 17 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
0,0100	0,2687	0,1352	0,0100	0,0100	0,0100
0,2329	0,0896	0,1612	0,2883	0,8029	0,0603
0,0100	0,8388	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
0,5000	0,7964	0,5000	0,5000	0,7313	0,3469
1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9528	1,0000
0,0537	0,5000	0,5000	0,7150	0,2459	0,5000
0,5000	0,0375	0,5554	0,2622	0,0100	0,0100
0,9528	0,7899	0,9104	0,8062	0,5782	0,6661
0,5261	0,2785	0,0635	0,6824	0,2785	0,3274
0,0100	0,6466	0,0100	0,5000	0,0147	0,0100
0,1906	0,5000	0,0100	0,0765	0,7182	0,5000
0,6661	0,2524	0,0863	0,4772	0,1450	0,0212
0,0831	0,0896	0,7410	0,0100	0,2362	0,2557
0,0100	0,6238	0,0100	0,0100	0,1319	0,6726
0,0100	0,0277	0,0277	0,0863	0,3665	0,0100
0,0342	0,0342	0,2296	0,2296	0,0342	0,2296
0,5000	0,0100	0,0100	0,1645	0,1743	0,0100
0,0100	0,8257	0,6694	0,4967	0,2818	0,0100
0,7736	0,7638	0,2655	0,2883	0,1221	0,0100
0,3371	0,3208	0,2590	0,2752	0,3469	0,2622
0,1710	0,6792	0,0100	0,6140	0,1873	0,3078
0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
0,0100	0,5000	0,0277	0,5000	0,0100	0,0100
0,7248	0,3469	0,5000	0,1971	0,5000	0,1710
0,0251	0,0218	0,0609	0,0870	0,0218	0,0218
0,0100	0,0100	0,6205	0,0100	0,0100	0,0100
0,5651	0,0100	0,0100	0,5195	0,3241	0,0100
0,6987	0,3371	0,2980	0,8485	0,7834	0,6042
0,6498	0,5000	0,6498	0,7866	0,4935	0,6629
0,7150	0,7150	0,3176	0,7150	0,7150	0,7150
0,4153	0,6466	0,2655	0,6205	0,8062	0,2785
0,5977	0,0100	0,1612	0,0100	0,0277	0,0100
0,1906	0,0100	0,0635	0,0100	0,2980	0,2199
0,5000	0,4870	0,4772	0,5717	0,5000	0,3762
0,4544	0,2166	0,4055	0,2524	0,3404	0,3111
0,3241	0,0100	0,4511	0,2915	0,1059	0,0100
0,0896	0,0309	0,0100	0,0100	0,5000	0,0100
0,1515	0,1319	0,6596	0,6694	0,6824	0,0100
0,9528	0,2329	0,9332	0,6368	0,9658	0,0100

Continua na página seguinte

**Tabela 17 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
0,5000	0,3469	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,0100	0,1580	0,1612	0,0100	0,0100	0,1352
0,9169	0,0100	0,7932	0,0100	0,0100	0,0100
0,4153	0,4153	0,3534	0,3567	0,4153	0,0100
1,0000	0,0100	0,7410	0,4381	0,5000	0,6694
0,0147	0,3404	0,0570	0,0147	0,0798	0,0100
0,1026	0,0100	0,7313	0,5554	0,3534	0,0100
0,7248	0,3111	0,7345	0,5879	0,5000	0,5879
0,6107	0,9560	0,8909	0,6107	0,6107	0,5000
0,0472	0,0100	0,0244	0,7085	0,0244	0,0100
0,1254	0,1254	0,1678	0,1254	0,0798	0,0100
0,2785	0,4023	0,5423	0,2915	0,2883	0,7052
0,4283	0,4316	0,6987	0,6661	0,0928	0,0896
1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3893	0,5749	0,5651	0,4251	0,5293	0,1319
0,5000	0,3990	0,5326	0,5000	0,5000	0,2785
0,0100	0,0100	0,0100	0,2883	0,6759	0,7378
0,2720	0,5000	0,5000	0,5000	0,3958	0,8811
0,5521	0,1287	0,7248	0,5000	0,7085	0,9104
0,0100	0,0100	1,0000	0,5000	0,2199	0,5000
0,5814	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,5000	0,6336	0,5000	0,5521	0,5000	0,2329
0,1938	0,5000	0,0375	0,2329	0,0375	0,0100
0,2948	0,9137	0,7606	0,6270	0,2362	0,3176
0,1580	0,7182	0,4479	0,5000	0,0114	0,1808
0,6987	0,1743	0,7769	0,2655	0,4186	0,0100
0,8518	0,4088	0,3371	0,3371	0,6401	0,0277
0,4186	0,0100	0,0100	0,2948	0,2557	0,0100
0,5000	0,0100	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,1971	0,3697	0,2785	0,8029	0,0100	0,0100
0,8160	0,6922	0,1384	0,5000	0,0668	0,0100
0,0309	0,0505	0,0505	0,0375	0,4805	0,0100
0,7638	0,5000	0,5000	0,2492	0,5000	0,5000
0,0342	0,0100	0,0100	0,2036	0,0147	0,0114
0,1384	0,5033	0,0100	0,4316	0,0700	0,0147
0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
0,6792	0,2590	0,2003	0,6792	0,3306	0,0100
0,3827	0,7280	0,6694	0,7085	0,1645	0,1124
1,0000	0,0100	0,0100	0,5000	0,7085	0,6629

Continua na página seguinte

**Tabela 17 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Tabela 17 – Tabela de dados referente à dificuldade.

A Tabela 18 apresenta os dados obtidos referente ao quesito diversão. Os registros que tem valor próximos a 1 indicam que o avatar proporcionou mais diversão ao jogador. E os que tiveram valor próximos a 0 indicam que o avatar proporcionou pouca diversão ao jogador.

A Tabela 18 apresenta os dados obtidos referente ao quesito diversão (questão 2).

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
0,4251	0,5847	0,5000	0,3534	0,1938	0,0100
0,7117	0,5000	0,7997	0,6987	0,7085	0,8485
0,8062	0,7801	0,7899	0,7215	0,8616	0,7736
0,8301	0,9083	0,7845	0,8692	0,8040	0,8464
0,0100	0,8134	0,0100	0,2564	0,2433	0,4420
0,5000	0,6922	0,5000	0,6922	0,6107	0,7964
0,5651	0,1384	0,5423	0,3241	0,7052	0,1156
0,3306	0,5945	0,5000	0,5945	0,5945	0,5945
0,9267	0,9625	0,9463	0,8746	0,9886	0,9430
0,0375	0,4511	0,2231	0,0928	0,3078	0,1775
0,3111	0,2785	0,6564	0,4316	0,6889	0,6824
0,9039	0,1873	0,7378	0,7638	0,6564	0,3990
1,0000	0,5000	0,7834	0,3241	0,8225	0,6564
0,9821	0,9821	0,8713	1,0000	0,9821	0,9593
0,8977	0,6371	0,1876	0,6632	0,7967	0,5883
0,3665	0,5782	0,5684	0,6075	0,6335	0,6303
0,7964	0,7866	0,7964	0,6954	0,8876	0,7345
0,5000	0,5000	0,0100	0,5000	0,5000	0,3339
0,7866	0,9007	0,7866	0,3436	0,8713	0,5000
0,3013	0,5912	0,6889	0,4772	0,8355	0,3925
0,5000	0,5326	0,6140	0,5163	0,7215	0,5000
0,1254	0,2524	0,1971	0,5000	0,0100	0,5000
0,6531	0,6531	0,6531	0,6531	0,5749	0,5000
0,5000	0,6433	0,9169	0,7638	0,5000	0,5000
0,7476	0,8485	0,7834	0,0100	0,5000	0,8485
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,9853	0,5000
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,9853	0,5000
0,0147	0,0668	0,0668	0,0147	0,0668	0,0668
1,0000	0,4870	0,7508	1,0000	0,2948	1,0000

Continua na página seguinte

**Tabela 18 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
0,6824	0,6824	0,2524	0,3274	0,5977	0,5912
0,5000	0,9332	0,6694	1,0000	0,6173	0,9332
0,3241	0,3176	0,4739	0,2980	0,3241	0,0100
0,5000	0,6857	0,5000	0,5000	0,4446	0,5000
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,2818	0,5000	0,5000	0,6205	0,5000	0,1612
0,3925	0,6987	0,5521	0,3502	0,6401	0,6857
0,5130	0,6303	0,6173	0,4902	0,5000	0,5391
0,3730	0,0440	0,0100	0,3762	1,0000	0,6303
0,0100	1,0000	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
0,6857	0,6857	0,6857	0,5000	0,6303	0,6857
0,4967	0,3958	0,1221	0,1515	0,4739	0,2394
0,4023	0,6531	0,5554	0,6564	0,5945	0,4121
0,1482	0,3046	0,2524	0,1743	0,0179	0,0668
0,5000	0,1482	0,5000	0,5000	0,0277	0,5000
0,3241	0,4218	0,7899	0,1840	0,5000	0,3371
0,6831	0,6472	0,8818	0,8590	0,7026	0,1065
0,9267	0,4707	0,2720	0,2720	0,1808	0,9267
0,3078	0,6531	0,7866	0,4967	0,6531	0,1743
0,3469	0,5749	0,7638	0,6824	0,6596	0,6987
0,9104	0,6889	0,8225	0,7117	0,6075	0,4349
0,7117	0,5586	0,5586	0,9886	0,7182	1,0000
0,5879	0,5847	0,6694	0,6205	0,6238	0,6335
0,5749	0,6792	0,7117	0,7508	0,7182	0,6303
1,0000	1,0000	0,8257	0,6954	0,8322	0,6336
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1808
0,2622	0,2199	0,2003	0,1287	0,1906	0,0000
0,5000	0,5000	0,6010	0,5000	0,4805	0,5000
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,6303	0,5000
0,0179	0,0100	0,0100	0,0100	0,1873	0,0100
0,6889	0,5033	0,4739	0,6335	0,2720	0,0100
0,5000	0,8648	1,0000	0,2296	0,0407	0,9691
0,6107	0,3469	0,7866	0,5749	0,3860	0,3860
0,2785	0,3567	0,1678	0,1873	0,2948	0,4251
0,6531	0,5000	0,5000	0,5489	0,5000	0,1450
0,0147	0,0100	0,0928	0,1482	0,0100	0,1352
0,5000	0,5000	0,7182	0,5358	0,7508	0,5000
0,0100	0,1580	0,1580	0,0100	0,0100	0,0100
0,6401	0,7606	0,5000	0,6824	0,9202	0,7736

Continua na página seguinte

**Tabela 18 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
0,9593	1,0000	1,0000	1,0000	0,8094	1,0000
0,5130	0,5000	0,5000	0,4902	0,5195	0,5000
0,5945	0,6303	0,5000	0,3762	0,0100	0,2883
0,7769	0,7508	0,7671	0,6759	0,5619	0,7573
0,1775	0,1808	0,3371	0,2655	0,2036	0,2427
0,1254	0,6042	0,4446	0,4088	0,7573	0,0309
0,3762	0,5000	0,5000	0,5000	0,4251	0,5000
0,3241	0,2003	0,5033	0,5000	0,2329	0,3469
0,5000	0,5000	1,0000	0,5619	0,6824	0,8583
0,7671	0,8257	0,6661	0,3176	0,4283	0,8127
0,8616	0,5000	0,8616	0,5000	0,5000	0,5000
0,2427	0,1059	0,3567	0,2590	0,5000	0,2394
0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,6238	0,5000
0,5000	0,4772	0,5000	0,4837	0,5000	0,5000
0,3730	0,7704	0,6238	0,7638	0,6075	0,1971
0,4902	0,5098	0,5000	0,5000	0,5326	0,5195
0,9560	0,2915	0,1189	0,8713	0,9788	0,9495
0,0100	0,0100	0,0100	0,0277	0,0100	0,0100
0,0100	0,0100	0,6075	0,5000	0,5847	0,0114
0,4153	0,5684	0,4055	0,7899	0,6173	0,5000
0,0218	0,0446	0,0870	0,2303	0,2987	0,2987
0,0179	0,1873	0,5000	0,4935	0,5000	0,5000
0,5651	0,6433	0,0100	0,6336	0,2394	0,0100
0,6042	0,7476	0,7117	0,7443	0,7638	0,6922
0,3827	0,5065	0,5000	0,2362	0,5000	0,5000
0,7215	0,7215	0,5456	0,7215	0,7215	0,7215
0,5977	0,4479	0,2296	0,2980	0,2980	0,2296
0,7476	0,5261	0,5000	0,5000	0,7313	0,6661
0,9495	0,9039	0,8355	0,8974	0,8583	0,9495
0,4935	0,4121	0,4870	0,5098	0,5000	0,4642
0,7215	0,3697	0,8062	0,5456	0,5977	0,2915
0,3990	0,0700	0,5000	0,2915	0,0700	0,0100
0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,5000	0,0212
0,7150	0,0733	0,8583	0,8583	0,8583	0,1515
0,8388	0,7704	1,0000	0,8388	1,0000	0,3893
0,1808	0,3730	0,6792	0,1808	0,7964	0,3632
0,2850	0,2264	0,2329	0,4837	0,1515	0,3078
0,9463	0,3111	0,7541	0,5000	0,5000	0,5000
0,6824	0,4414	0,2785	0,3339	0,4414	0,0100

Continua na página seguinte

**Tabela 18 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
1,0000	0,0277	0,8550	0,8453	0,5000	0,0440
0,2948	0,3306	0,0505	0,1938	0,1515	0,0114
0,5000	0,1547	0,5782	0,5945	0,5326	0,0100
0,6922	0,4414	0,5945	0,6140	0,5000	0,5000
0,0472	0,0100	0,6075	0,2557	0,3436	0,1678
0,7117	0,6889	0,6954	0,5619	0,6107	0,2199
0,4935	0,1287	0,2687	0,0896	0,0212	0,0179
0,6498	0,6596	0,6726	0,5489	0,4967	0,5977
0,4055	0,4674	0,4218	0,2948	0,4739	0,4707
0,0100	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,5684	0,5000	0,8029	0,6401	0,5684	0,5717
0,6596	0,6205	0,6042	0,7573	0,5000	0,6629
0,0100	0,1189	0,1840	0,0993	0,5065	0,0100
0,6564	0,5456	0,7638	0,6629	0,2231	0,0375
0,7606	0,8257	0,7573	0,3990	0,5000	0,1808
0,7443	0,5000	0,3208	0,5000	0,3208	0,5000
1,0000	1,0000	0,9951	0,9267	1,0000	1,0000
0,5000	0,3860	0,5000	0,6205	0,5000	0,2199
0,0700	0,0100	0,0100	0,0100	0,0147	0,0100
0,5000	0,7182	0,3925	0,5456	0,6922	0,1547
0,1124	0,1938	0,3469	0,2394	0,1026	0,1873
0,7052	0,6140	0,9853	0,3469	0,2980	0,0179
0,4055	0,4218	0,2003	0,4381	0,6694	0,0147
0,5000	0,5000	0,5033	0,5847	0,6987	0,6205
0,5000	0,0635	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
0,5000	0,5000	0,5000	0,1938	0,3958	0,7020
0,7280	0,5717	0,2557	0,7834	0,5879	0,0100
1,0000	0,9593	0,7476	1,0000	0,6075	0,0100
0,4870	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,4772
0,5000	0,5000	0,4446	0,6075	0,5000	0,4446
0,0100	0,0961	0,0100	0,0100	0,0100	0,0114
0,0967	0,3508	0,0935	0,0100	0,3997	0,2368
0,4707	0,1971	0,2720	0,2524	0,3436	0,0100
0,3241	0,0733	0,0798	0,0147	0,0570	0,1189
0,8876	1,0000	0,8485	0,5000	0,1808	0,3176

Tabela 18 – Tabela de dados referente à diversão.

A Tabela 19 apresenta os dados obtidos referente ao quesito tempo. O tempo está

representado em segundos.

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
54,2480	42,6380	40,7270	54,9470	65,4910	74,1100
58,2460	51,6970	62,8230	56,8670	50,5650	62,8520
29,3020	22,6220	20,8710	27,8360	23,0710	21,3050
20,5540	14,0210	13,2580	19,9190	24,5710	18,8770
28,1680	46,0470	42,7420	35,2200	35,6040	88,4130
20,1940	50,8890	17,9560	31,9290	65,1650	16,0020
15,6080	18,2800	29,8710	20,1720	36,0580	22,4980
21,5810	40,6740	23,1240	19,0610	35,7820	32,7060
67,3870	33,3730	70,4730	58,3460	55,3740	27,9630
29,1130	29,2160	36,9100	30,9600	25,1450	27,6770
33,4500	56,7930	29,3180	71,5500	74,9440	66,8630
26,0810	22,4900	30,0240	21,3620	30,8930	19,0840
61,0960	51,4330	64,2010	90,4500	57,4500	45,9960
20,5640	20,3890	36,4240	31,0440	32,5440	24,3200
19,9080	32,9600	20,3640	43,7910	29,0180	44,5640
26,7810	20,8230	23,6600	35,0390	32,3880	41,6610
23,1720	78,3500	22,2200	33,0080	34,7890	36,1080
28,0530	40,9350	59,5210	28,2100	48,1040	48,6540
58,0890	61,4260	29,4930	22,1280	46,1790	16,0350
79,6790	29,8020	22,8280	26,5830	16,9340	56,5660
23,4370	32,2800	47,6140	66,4640	39,3190	33,8520
47,0320	32,1420	35,2130	56,7170	85,4310	24,4780
29,4700	32,9870	22,1990	30,4050	19,8110	23,6630
63,5000	51,3070	50,6720	51,7910	65,4700	42,7240
16,9490	24,4840	33,4920	55,5060	31,3040	21,2910
36,7800	30,0050	21,7740	21,3630	75,5270	18,0700
36,7800	30,0050	21,7740	21,3630	75,5270	18,0700
75,2840	14,0280	18,8930	40,8210	23,3580	17,0570
17,4940	45,3340	60,7840	38,4060	25,2090	31,6990
60,4620	21,7220	32,2530	25,1700	23,8020	20,7870
37,0790	15,9930	39,6440	27,9810	27,0810	19,9150
48,6320	37,5770	81,4530	31,5880	40,5710	31,4040
28,7860	26,7320	27,5440	22,8240	29,0670	32,5570
16,0600	20,6380	22,8050	24,6190	18,6380	23,5390
33,9620	27,7860	28,7870	54,1150	27,1390	31,1720
29,1750	36,4140	24,0040	62,0980	53,1700	34,6340
38,3530	29,2920	51,4170	43,0850	21,0450	30,7900
19,8690	22,4500	47,3410	22,0280	24,4540	27,6540
55,8470	26,4340	19,5580	28,3290	48,3200	20,2850

Continua na página seguinte

**Tabela 19 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
37,4170	25,5790	35,6100	74,3410	23,3770	30,9340
40,4270	34,7330	19,8640	28,0850	39,6780	21,8330
25,7290	27,1300	31,5580	24,4740	26,4890	19,0590
26,2890	34,5830	22,3890	37,5640	42,4510	18,7760
42,1370	56,1220	108,4990	47,2970	44,2750	55,8430
32,2390	42,8680	23,0930	31,0340	48,3350	41,7080
25,5940	21,1050	20,4200	22,6730	69,0450	64,1190
38,2340	15,5310	45,7320	45,1550	38,4950	26,8830
48,8360	43,9400	168,2230	65,3760	40,8180	63,8950
23,3420	15,3020	49,0300	35,8320	16,0880	19,0380
39,7200	64,2270	181,7760	83,9680	43,7320	23,1250
34,9790	41,6740	39,6230	50,2240	45,3910	23,5820
100,1150	39,8000	71,9810	105,7170	55,8510	55,6690
54,8580	32,5570	39,4450	66,6970	73,6430	54,9880
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	36,6540
37,7930	52,1790	42,6840	58,9000	88,1570	0,0000
13,8370	14,3800	88,6480	19,7900	103,2480	15,4280
54,7340	49,1910	24,5560	53,2510	38,8320	31,0600
20,3550	30,3170	71,7000	24,2910	19,0580	28,0090
71,2870	56,9580	35,2370	29,7130	40,8040	36,4950
62,7050	53,1060	44,0560	64,9980	78,6880	47,4060
58,5140	51,5960	25,2140	33,4620	33,5750	26,1270
38,3550	61,0200	33,2400	57,7760	35,0920	110,5730
37,3210	59,3550	51,4680	87,2890	35,3210	42,9730
48,5740	51,0860	86,8180	37,3790	33,4610	22,9400
30,6990	18,5700	35,2800	29,4710	56,1080	16,9040
15,7990	30,6170	42,4930	144,6160	19,4350	21,3390
41,5150	41,2230	27,8950	32,4050	42,7330	21,0740
35,6840	30,9110	28,2990	49,3060	44,6890	44,7660
34,3800	18,1060	19,5150	20,0440	30,0470	47,9790
32,0460	31,5700	34,9680	31,0650	29,7310	22,1100
74,7670	76,6530	62,8630	39,8470	85,7100	55,4870
38,8330	12,6610	16,0460	23,4510	19,0150	47,2530
27,2670	95,8330	37,8810	36,9440	25,1280	20,7500
52,9640	10,1890	18,5690	18,0710	48,6410	14,5090
74,2430	41,8520	135,8740	56,7610	49,9590	31,9770
28,4260	17,7420	33,9220	30,4080	31,0940	35,1760
15,8600	50,0330	17,7880	18,8210	29,3060	44,5610
12,8140	13,5920	11,6840	20,7850	26,7220	18,7520
Continua na página seguinte					

**Tabela 19 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
16,9630	10,3840	31,4980	26,6010	16,0630	19,3240
64,4060	54,9670	38,2550	30,1270	28,7320	39,5770
56,9820	96,8610	79,8500	94,0100	68,1340	50,8900
115,7810	22,0140	40,0700	34,9580	3304,9800	20,9640
78,2410	53,2890	47,2120	54,7190	99,3830	44,1450
36,2850	32,5930	18,8700	37,7330	27,0360	20,9250
26,2460	16,2360	18,2020	40,2580	73,0750	17,3990
21,3250	22,3560	17,1500	13,7370	19,9380	15,1300
70,6210	31,9940	89,9360	53,7090	66,7700	61,7070
35,9550	49,3110	33,5620	37,2840	113,1330	17,3400
22,6660	12,4660	44,1640	62,3460	25,8930	15,9490
31,7000	20,4340	20,5660	21,2750	20,6490	17,6400
33,7080	47,3180	53,8860	151,3560	66,8440	24,6600
56,5610	33,1590	35,6970	70,3540	38,3450	41,8080
28,6210	39,9130	36,3000	18,7430	25,4330	14,4690
45,8130	61,2170	22,1540	30,6220	29,8690	21,1680
58,8720	31,4040	53,7190	44,1820	54,8940	38,9350
36,4500	25,0750	48,8120	35,2390	53,6000	47,5580
39,3350	73,1930	44,9600	23,9190	16,9110	18,9640
50,7360	30,9370	29,4150	31,1930	44,1840	23,2040
42,2040	17,0170	37,1340	28,3880	24,8250	28,5920
18,9080	20,3080	15,0710	27,4050	59,7110	19,6980
43,9230	18,0090	27,7990	24,9160	25,5810	24,4940
95,4370	19,7790	18,0850	20,8790	229,2870	19,9030
44,5690	65,4110	31,4730	53,9520	52,7230	46,6640
24,0760	23,7410	18,8130	22,0010	40,1940	41,2700
25,6940	16,7600	26,9570	29,9090	36,5900	29,3750
31,5710	22,2680	54,6460	33,8450	37,1230	27,0210
42,1410	30,3420	17,9230	40,8620	41,4520	31,6420
37,2700	33,6340	19,8760	18,4480	47,8060	27,8470
24,8320	21,2620	25,3510	26,3880	35,6380	29,7990
37,2000	16,8630	20,4820	21,9030	22,5800	18,1470
21,0480	59,1870	53,2600	28,1860	24,2130	29,3170
49,2710	34,3800	18,8700	53,7230	33,9940	33,5440
31,8960	47,6140	39,5980	28,8720	33,2220	42,0300
36,4120	29,1870	124,0280	44,2980	70,6920	57,2610
41,4570	37,9180	66,1690	71,5390	20,8540	17,4690
97,1230	24,9550	26,7920	41,1250	63,8720	15,1480
29,8150	49,1350	78,2940	77,2660	59,8100	30,6500
Continua na página seguinte					

**Tabela 19 – continuação da página anterior**

<b>P1-ME</b>	<b>P1-CM</b>	<b>P1-AD</b>	<b>P2-ME</b>	<b>P2-CM</b>	<b>P2-AD</b>
19,3880	19,6850	43,0340	33,7590	36,8900	23,3560
21,5340	34,5890	22,9730	39,0120	36,7780	70,4500
26,1360	37,8790	32,0240	20,6740	26,5460	53,0910
30,3300	24,1640	32,8190	28,6620	37,0080	38,2580
64,1310	23,2780	52,7270	22,2110	33,1720	13,7340
14,8940	16,4230	29,5360	13,7080	28,2150	15,7970
15,7030	16,8530	19,4260	34,1270	18,2520	23,7820
31,9970	24,9960	31,5600	29,3730	28,0860	39,2560
32,6720	43,2150	53,1180	65,0790	29,8190	35,7120
30,0870	29,6320	35,2240	29,8040	31,5510	40,3890
20,5980	27,0430	21,2380	22,5800	16,5030	24,4460
145,8360	79,8500	46,9700	49,4750	91,1280	52,8300
25,9390	18,5090	48,0310	34,1770	19,8890	35,6220
62,7940	25,4950	77,0560	32,8530	50,6380	22,0970
72,4750	70,8130	72,4110	104,0600	58,1490	46,2400
24,0940	23,6050	28,2140	31,3720	17,8700	33,4470
24,7830	15,3450	11,5520	39,2460	60,7450	28,7000
65,2370	17,0080	29,5560	26,3280	13,8030	36,6650
21,9910	22,5770	15,9780	13,5800	19,7440	18,7150
31,2570	33,4900	28,2970	61,2160	24,4900	26,0120
21,2980	29,9800	32,2420	24,5340	21,1450	20,2820
42,3640	37,5960	27,3280	34,9070	39,3940	21,5860
64,1780	52,8960	66,5310	44,3080	26,2000	20,7790
25,8730	18,6430	25,5480	29,8150	19,9640	23,5850

Tabela 19 – Tabela de dados referente ao tempo em segundos.

# Referências

- DERRAC, J. et al. A practical tutorial on the use of nonparametric statistical tests as a methodology for comparing evolutionary and swarm intelligence algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, v. 1, n. 1, p. 3 – 18, 2011. ISSN 2210-6502. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210650211000034>>. Citado nas páginas 12 e 20.
- GABRIEL, K. R.; NEUMANN, J. A markov chain model for daily rainfall occurrence at tel aviv. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, John Wiley Sons, Ltd, v. 88, n. 375, p. 90–95, 1962. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/qj.49708837511>>. Citado na página 14.
- GARCÍA, S. et al. Advanced nonparametric tests for multiple comparisons in the design of experiments in computational intelligence and data mining: Experimental analysis of power. *Information Sciences*, v. 180, n. 10, p. 2044 – 2064, 2010. ISSN 0020-0255. Special Issue on Intelligent Distributed Information Systems. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025509005404>>. Citado nas páginas 12 e 20.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução à Pesquisa Operacional*. 8 edição. ed. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 19.
- HOPCROFT, J. E. *Introduction to automata theory, languages, and computation*. [S.l.]: Addison Wesley, 2000. Citado na página 18.
- KARLSSON, B. F. F. *Um Middleware de Inteligência Artificial para Jogos Digitais*. 2005. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005. Citado na página 18.
- MALFATTI, S. M.; FRAGA, L. M. *Utilizando Behaviors Para o Gerenciamento da Máquina de Estados em Jogos Desenvolvidos com Java 3D*. 2006. Citado nas páginas 14 e 15.
- MILLINGTON, I. *Artificial Intelligence for Games*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2006. Citado nas páginas 12, 16, 17 e 18.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2010. Citado na página 20.
- MULLER, A. A.; BITTENCOURT, J. R. Ud3 - unity decision tree integrator: Uma extensão de Árvores de decisão para unity. In: SBGAMES, S. P. of the (Ed.). *Computing Track - Short Papers*. [S.l.: s.n.], 2014. Citado nas páginas 14 e 15.
- RABIN, S. *Introdução ao Desenvolvimento de Games*. [S.l.]: Cengage Learning, 2011. v. 1. Citado na página 12.
- ROWELL, E. *HTML5 Canvas Cookbook*. [S.l.]: Packt Publishing, 2011. Citado na página 22.
- SNK Playmore. Metal Slug X, 1999. Disponível em: <<https://www.snkplaymore.co.jp>>. Citado na página 12.
- VIEIRA, F. J. R.; SANTOS, C. L. Uma abordagem usando algoritmos genéticos em agentes inteligentes para jogos. In: SBGAMES, S. P. of the (Ed.). *Computing Track - Technical Posters*. [S.l.: s.n.], 2008. Citado nas páginas 14 e 15.

---

WHITTAKER, J. A.; THOMASON, M. G. A markov chain model for statistical software testing. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 20, n. 10, p. 812–824, Oct 1994. ISSN 0098-5589. Citado na página 14.