

# Controladores Ghost Team Hybrid e Bullseye - Eficiência de controladores Ghost Team com Observação Parcial

João Filipe Prazeres Peixoto  
joao.peixoto@tecnico.ulisboa.pt

Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

Julho 2018

## Resumo

Nesta dissertação foi realizada uma pesquisa usando como inspiração controladores de Ghost já criados e outro videogame (Metal Gear), para desenvolver seis controladores Ghost diferentes, com diferentes estratégias para eliminar pacman e testar essas estratégias num jogo Pacman que implementa observação Parcial nos ghost e pacman. Os resultados desta pesquisa foram dois tipos de controladores de Ghost, com comunicação e sem comunicação, a que chamei Hybrid e Bullseye, para serem os mais eficientes possíveis em limitar a pontuação final de pacman num jogo Pacman com observação Parcial. Para avaliar a qualidade destes controladores, foram realizadas duas novas competições Ms. Pacman Vs Ghost Team, onde estes concorreram com outros controladores já utilizados na competição de 2017. Os resultados destas competições revelam que os controladores de Ghost, Hybrid e Bullseye são os mais eficientes, quando jogam contra a maioria dos controladores Pacman, mas existe um controladores Pacman contra o qual são pouco eficientes.

**Keywords:** Competição Ms. Pacman versus Ghost Team, Controladores com Observação Parcial, Inteligência Artificial, Video Jogos.

## 1. Introdução

Uma das razões de ser desta dissertação tem a ver com o motivo pela qual me candidatei ao Instituto Superior Técnico e à Licenciatura em Engenharia Informática e de Computadores; a minha paixão por videogames, que me trouxe até aqui.

Neste trabalho especificamente, procurei aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo destes anos de formação, na área em que futuramente gostaria de trabalhar, que seria a “Programação de Inteligência Artificial para Videogames”.

O jogo Pacman é mundialmente conhecido, sempre que o joguei fiquei com a sensação que o trabalho do “Ghost Team” em apanhar o pacman poderia ser otimizado, eram demasiado previsíveis.

Esta dissertação procura desenvolver dois tipos de controladores de “Ghost Team” com comunicação e sem comunicação, a que chamei “Ghost Team Hybrid e Ghost Team Bullseye”, que fossem o mais eficientes possível em apanhar o pacman, num contexto muito particular, que seria de “Observação Parcial”.

Para chegar a estes dois controladores, criei seis outros, com estratégias diferentes, no sentido de tentar entender quais as melhores características que poderia aproveitar para a construção do Ghost Team Hybrid e do Ghost Team Bullseye com a maior eficiência possível.

A existência de competições Ms. Pacman Vs Ghost Team, permitiu-me obter resultados fiáveis desses outros controladores de Ghosts, nos quais me inspirei para criar os meus próprios controladores. Nesta fase de testes constatei que as actuais competições eram sempre realizadas em observação parcial, daí o meu trabalho também se basear, na criação de controladores Ghosts em observação parcial.

Para avaliar a qualidade dos novos controladores, foram realizadas duas novas competições Ms. Pacman Vs Ghost Team, onde estes concorreram com outros controladores já utilizados na competição de 2017, possibilitando assim determinar o seu grau de eficiência, na limitação da pontuação final do Pacman.

## 2. Principais Contribuições

As principais contribuições deste documento são oito novos controladores Ghost Team para o simulador do jogo Ms. Pacman versus Ghost Team 2018 em que o Pacman e os Ghosts têm observação parcial e os Ghosts podem comunicar entre si através de um sistema de comunicação. Existem mais diferenças entre o simulador e o jogo original Ms. Pacman versus Ghost Team que vão ser descritas na secção 3 deste documento.

Entre os oito novos controladores Ghost Team,

seis vão ser usados para testar a eficiência de diferentes estilos de Ghosts, com tomadas de decisão de movimentos para apanhar o Pacman, e limitando a sua pontuação final no simulador do jogo de 2018. Detalhes sobre estes estilos vão ser descritos nas secções 4 a 6 deste documento.

A partir dos dados obtidos nos seis estilos de Ghosts que tentam eliminar o Pacman, com ou sem comunicação entre ghosts no simulador do jogo de 2018, vão ser desenvolvidos os restantes 2 controladores Ghost Team que constituem a base da minha dissertação.

### 3. O Jogo Pacman

Pacman é um jogo arcade que foi desenvolvido e lançado por Mamco em 1980. Trata-se de um jogo do género labirinto em que o jogador controla o Pacman, num labirinto cheio de pills e 4 Ghost que o perseguem. O objetivo de Pacman é acumular o máximo de pontos possível até ficar sem vidas por ser apanhado por Ghosts. O objetivo dos Ghosts é apanhar o Pacman até que este fique sem vidas, terminando o jogo.

#### 3.1. Os elementos do jogo Pacman

Nesta secção é apresentado todos os elementos do jogo Pacman e os seus respetivos papéis durante as partidas do jogo.

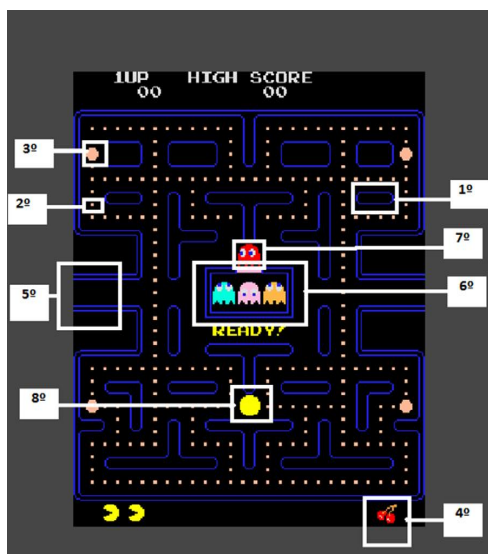


Figura 1: Os elementos do jogo Pacman

A Figura 1 apresenta os principais elementos do jogo:

- **1º - Parede:** É o elemento que define os labirintos, dependendo das posições que as paredes ocupam. Não podem ser atravessadas por Pacman/Ghosts.
- **2º - Pills:** São pequenas bolas espalhadas pelo

labirinto, que o Pacman tem de apanhar na sua totalidade para passar ao próximo nível.

- **3º - Power Pills:** São uma versão de Pills maior e dão 5 vezes mais pontos que os Pills normais (50 pontos). Há um efeito extra que permite ao Pacman comer um Ghost de cada vez.
- **4º - Frutas:** São elementos que funcionam como os Pills.
- **5º - Portal:** São partes do labirinto que dão a ilusão que o labirinto tem uma saída, mais na realidade os Pacman/Ghosts que passam um Portal vão sair noutra Portal, do lado oposto do labirinto.
- **6º - Casa dos Ghosts:** É uma área especial no centro do labirinto, onde o Pacman não tem acesso.
- **7º - Ghosts:** São os inimigos no jogo. Durante todos os níveis, o Pacman enfrenta quatro Ghosts com cores diferentes para ajudar o jogador a distinguir um Ghost dos restantes, dado que cada Ghost tem o seu estilo de perseguir o Pacman. Todos têm o mesmo objetivo de apanhar Pacman e não importa qual Ghost o apanha.
- **8º - Pacman:** É o avatar do jogador com o objetivo de conseguir a pontuação mais alta possível até ficar sem vidas. O Pacman começa o jogo com três vidas. Se conseguir chegar a ter 10000 pontos ganha uma vida extra (única vida extra). Se tocar num Ghost perde uma vida e os Pacman/Ghost voltam às suas posições iniciais.

#### 3.2. Regras do Jogo Pacman

O Pacman começa o jogo com três vidas, 0 pontos e com o objetivo de acumular a maior pontuação possível antes de ficar sem vidas. O Pacman tem 3 formas de ganhar pontos, apanhar Pills/Power Pills, Frutas e Ghosts. Para as duas primeiras formas, basta o Pacman tocar no Pills/Fruta/Power Pills para ganhar pontos do que apanhou. Para apanhar Ghosts é preciso o Pacman apanhar primeiro um Power Pill que torna cada Ghost comestível por um tempo limitado. Cada Ghost apanhado neste tempo limite duplica os pontos ganho por Ghost, mas se o Pacman apanhar outro Power Pill durante este tempo limite, o jogo faz reset ao multiplicador de pontos para 1.

O jogo está dividido em 256 níveis, onde cada nível tem um limite de pontos que o Pacman pode acumular: 240 Pills, 4 Power Pills e 2 Frutas. Para passar de nível o Pacman tem de apanhar todos os 240 Pills no atual nível.

### 3.3. Jogo Ms.Pacman

Ms. Pacman é considerado uma sequela não confirmada do jogo Pacman, que foi desenvolvido e lançado por Midway em 1981. O jogo Ms.Pacman tem os mesmos elementos e regras do jogo Pacman, com ligeiras diferenças. Em Ms. Pacman há 5 labirintos diferentes, em que cada labirinto tem o seu próprio esquema de cores, o labirinto muda em intervalos de 2-4 níveis, dependendo em que nível está Ms.Pacman.

### 3.4. Competição de Ms Pac-Man versus Ghost Team

A competição de Ms. Pac-Man vs. Ghost Team (CMPvsGT) é uma competição anual que teve início em 2007 e continua a decorrer atualmente, com o objetivo de desenvolver técnicas Inteligência Artificial (IA) para os *Non player characters* (NPCs) que jogam um jogo. Até 2010 era apenas a competição Pac-Man (CPacman), em 2011 passou a ter também a Competição Ghost Team (CGhost) que ocorre em simultâneo com CPacman.

Na CPacman cada controlador Pacman que participa nesta competição, joga um determinado número de partidas contra cada um dos controladores Ghost Team que participa na CGhost, e vice-versa para a CGhost. Na CPacman ganha o controlador Pacman que acumulou mais pontos de Pacman, durante todas as partidas que participou nesta competição e na CGhost ganha o controlador Ghost Team em que acumulou menos pontos de Pacman, durante todas as partidas que participou na CGhost [5].

Todas as partidas ocorrem no simulador Pacman da CMPvsGT, que é uma implementação simplificada do jogo original Pacman e integra as regras da CMPvsGT. Na CMPvsGT de 2016 a 2018, foi acrescentada uma nova regra que torna o simulador Pacman da CMPvsGT menos fiel ao jogo Pacman, dado que os Ghosts e Pacman precisam de ter observação parcial para poderem participar na CMPvsGT. Com observação parcial, limita consideravelmente a coordenação possível entre os Ghosts, portanto foi adicionado um sistema de mensagens para melhorar coordenação possível entre eles, para apanharem o Pacman.

### 3.5. Descrição detalhada do problema que os controladores Ghost Team têm de resolver.

Tal como no jogo Pacman, o objetivo do Ghost Team no simulador é apanhar o Pacman até ficar sem vidas e limitar ao máximo possível a pontuação do mesmo no final da partida. As regras do simulador do jogo Pacman tornam a tarefa de Ghost Team mais difícil de ser realizada com eficiência, mesmo com observação completa, pelas seguintes razões:

1. Os Ghosts andam à mesma velocidade que o Pacman, logo, apenas um Ghost não poderá

apanhar, se o Pacman fizer movimentos para afastar-se desse Ghost. Para os Ghosts apanharem o Pacman eficazmente, tem de cercá-lo por todas as direções, onde ele se pode mover e dirigirem-se para ele.

2. O Pacman não precisa de apanhar todos os Pills para passar de nível no simulador do jogo Pacman, basta ainda possuir vidas depois de passar 4000 ticks no atual nível da partida, o que acontece a seguir é o Pacman ganhar os pontos dos restantes Pills no atual nível e passar de nível.
3. A qualquer momento (tick) de uma partida no simulador do jogo Pacman, o Ghost Team faz uma Inversão Global, com uma probabilidade de 0,005, independentemente do controlador Ghost aplicado no Ghost Team. A Inversão Global pode tanto ajudar como dificultar a tarefa do Ghost Team para apanhar o Pacman, dependendo do estado do jogo.

Com a implementação de observação parcial tipo “linha de visão” e o sistema de mensagens no simulador do Jogo Pacman, o Ghost Team ganha um vantagem e uma desvantagem para realizar a sua tarefa:

- A vantagem, consiste no Pacman poder ser apanhado com apenas um Ghost, se conseguir chegar suficientemente perto dele, sem ser avistado, de modo a que o Pacman não tenha tempo para reagir ao Ghost.
- A desvantagem, consiste nos Ghosts precisarem de ver o Pacman para poder persegui-lo, sem o sistema de mensagens apenas os Ghosts que o veem o podem perseguir e com o sistema de mensagens é possível os quatro Ghosts perseguirem o Pacman caso algum o veja.

Tendo em conta as regras do simulador do jogo Pacman, a implementação de observação parcial tipo “linha de visão” e o sistema de mensagens, só existem dois casos em que um Ghost apanha o Pacman. Primeiro caso devido à incompetência do Pacman, em que Pacman não faz o movimento correto para evitar um Ghost que podia evitar. Segundo caso devido a competência do Ghost Team, no qual os Ghosts conseguem cercar o Pacman de modo a não ter fuga possível.

Se o Ghost Team não comunica entre si, a sua única hipótese de apanhar o Pacman é devido a incompetência de Pacman. Nota é possível os Ghosts cercarem o Pacman mesmo sem comunicarem entre si mas isso devesse mais a sorte do que à competência do Ghost Team. Se o Ghost Team comunica entre si, podem apanhar o Pacman tanto

por incompetência deste, como por competência do Ghost Team.

#### 4. Controladores Pacman e Ghost Team

Esta seção apresenta os controladores Pacman e Ghost Team que foram implementados no contexto desta dissertação.

##### 4.1. Controladores StartGhost-PO e StartGhost-POComm

Williams, Perez-Liebana e Lucas apresentam no artigo[6], o controlador StartGhost, que foi desenvolvido para poder competir na CMPvsGT de 2016 a 2018. Existem 2 versões deste controlador que vêm com o simulador do jogo Pacman, a StartGhost-PO (sem comunicação) e a StartGhost-POComm (com comunicação) as quais servem para apresentar a forma como está estruturado o código de um controlador Ghost e como está implementado o sistema de comunicação nos controladores Ghosts.

O controlador StartGhost-PO consiste num simples controlador Ghost que apenas se foca no Pacman e ignora os restantes Ghosts no labirinto, durante todo o jogo. Quando encontra o Pacman (descobre a posição de Pacman) tem probabilidade  $P$  de perseguir o Pacman e probabilidade  $1 - P$  de fazer um movimento aleatório. No caso de não saber a posição de Pacman faz sempre um movimento aleatório.

##### 4.2. Controlador FS-PO

Chad Birch apresenta num artigo [2], a forma como o Original Ghost Team tentava apanhar o Pacman. Cada Ghost do Original Ghost Team tem a sua própria estratégia para apanhar o Pacman, o Ghost Blue tem a estratégia mais original de todos, dado que usa não só a posição do Pacman como também a posição do Ghost Red para decidir onde virar no labirinto. Usando o estilo do Ghost Blue como inspiração, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Firsts View Partial Observation (FS-PO). Existem duas versões deste controlador, o FS-PO (sem comunicação) e FS-POComm (com comunicação).

O controlador FS-PO consiste num controlador Ghost que se foca em encontrar dois elementos do jogo, o Pacman e o Ghost. Quando processar os elementos do jogo Pacman visíveis para o agente, o agente faz um movimento conforme o seu estado e a combinação dos tipos de elementos detetados. No caso de não detetar elementos faz um movimento aleatório. No caso de o agente encontrar vários elementos idênticos, vai considerar apenas o mais próximo do agente.

##### 4.3. Controlador FRIGHT-PO

Gagne e Bates apresentam num artigo [3], um controlador Ghost que usa um sistema de regras flexíveis para tomar decisões para onde se vai mo-

ver. Usando um sistema de regras flexíveis como inspiração, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Flexible Rule-base Intelligent Ghost Team Partial Observation (FRIGHT-PO). Existem duas versões deste controlador, FRIGHT-PO (sem comunicação) e FRIGHT-POComm (com comunicação)

O controlador FRIGHT-PO consiste num controlador Ghost que processa o estado do jogo em onze condições, dando um valor para cada uma. Compara o estado do jogo com as suas regras e a primeira que aceitar completamente o estado do jogo (os valores das onze condições) é aplicado o movimento definido para essa regra. No caso de não haver regras que aceitem o estado do jogo, o agente faz um movimento aleatório.

##### 4.4. Controlador DW-PO

Svensson e Johansson apresentam num artigo [4], um controlador Ghost que usa o conceito de Influencial map-base, utilizando elementos do mapa como fontes atrativas ou repelentes. Usando os conceitos Influencial map-base e do controlador Ghost FS-PO, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Distance Weight Partial Observation (DW-PO).

Existem duas versões deste controlador, DW-PO (sem comunicação) e DW-POComm (com comunicação). O controlador DW-PO consiste num controlador que processa o valor de cada tipo de elemento do jogo Pacman visível ao agente e a decisão do seu próximo movimento depende exclusivamente do tipo de elemento com o valor mais alto. O processo para atribuir um valor para um elemento tem duas fases: (i) **identificação**: o elemento recebe um valor dependendo do tipo de elemento, do seu atual estado e do estado do agente; (ii) **valorização**: em que reduz o valor do elemento, quanto maior for a distância entre si e o agente. O controlador repete este processo para todos os elementos visíveis, foca-se no de maior valor e faz um movimento dependendo dos estados do agente e do elemento focado.

##### 4.5. Controlador Magnet-PO

Svensson e Johansson apresentam num artigo [4], um controlador Ghost que usa o conceito de Influencial map-base com elementos do mapa como fontes atrativas ou repelentes. Usando o conceito Influencial map-base, conjuntamente com o conceito dos ímãs, levaram à inspiração para desenvolver um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Magnet Partial Observation (Magnet-PO). Existem duas versões deste controlador, Magnet-PO (sem comunicação) e Magnet-POComm (com comunicação). O controlador Magnet-PO consiste num controlador que processa o valor de cada direcção em que se pode mover tendo em conta os elementos do jogo Pac-

man visíveis e escolhe a direção com maior valor. O processo para atribuir um valor a cada direção que o agente pode ir tem duas fases: (i) **identificação**: em que o agente descobre quais as direções em que pode ir na sua atual posição; (ii) **valorização**: em que é feita a soma dos valores de todos os elementos visíveis para cada direção em que o agente pode ir. Depois do controlador completar o processo, escolhe a direção com melhor valor e faz um movimento nessa direção.

#### 4.6. Controlador Patrol-PO

No Jogo Metal Gear Solid[1], os inimigos mais comuns, são os guardas espalhados pelo nível com visão limitada para detetar o Snake (jogador). Para compensar esta limitação cada guarda, patrulha uma diferente parte do nível e quando encontra o “Snake” ativa o alarma e os restantes guardas também passam a saber onde está “Snake”. Usando a estratégia dos guardas do jogo Metal Gear Solid como inspiração, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Patrol Parcial Observation (Patrol-PO). Existem duas versões deste controlador, Patrol-PO (sem comunicação) e Patrol-POComm (com comunicação).

O controlador Patrol-PO consiste num controlador Ghost que tem dois modos, a sua aplicação depende em saber ou não a posição do Pacman. No primeiro caso o agente tem um comportamento semelhante ao controlador StartGhost-PO, com a exceção de não usar “randons”, vai sempre atrás do Pacman, dirige-se para uma determinada posição (fixa) se estiver muito próximo de outros Ghosts, e quando fica no estado comestível foge do Pacman. No segundo caso, o agente patrulha a sua parte do labirinto até encontrar o Pacman. Se o agente ficar no estado comestível, vai navegar numa parte do labirinto mais pequena, afastado dos restantes Ghosts, para limitar as hipóteses de todos serem comidos até voltarem ao estado não comestível.

#### 4.7. Controlador Priority-PO

Chad Birch apresenta num artigo [2], como o Original Ghost Team tentava apanhar o Pacman. Cada Ghost do Original Ghost Team têm o seu próprio estilo de apanhar o Pacman, significa que cada Ghost é especializado numa tarefa para o fazer. Usando o conceito de Ghosts especializados como inspiração, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Priority Parcial Observation (Priority-PO). Existem duas versões deste controlador Ghost, Priority-PO (sem comunicação) e Priority-POComm (com comunicação).

O controlador Priority-PO consiste num controlador Ghost que funciona de forma semelhante ao controlador FS-PO obtendo a posição de cada tipo de elemento do jogo Pacman que esteja visível ao agente, a sua principal diferença, consiste, em vez de

depender apenas da combinação de tipos elementos visíveis, depende também da prioridade de tipos de elementos para o agente. Ao contrário dos restantes controladores Ghosts em que os quatro Ghosts são idênticos, neste caso, podem ser diferentes entre si, porque cada um pode ter prioridades diferentes dos restantes.

### 5. Método de avaliação

Para avaliar os controladores foram utilizadas duas Competições Extra Ghost Team 2018 (CEGT 2018) onde Pacman/Ghosts têm observação parcial. A principal diferença entre as CEGTs 2018 é que uma permite comunicação entre Ghosts e a outra não. Neste seção vão ser descritas as partes em comum entre CEGT 2018 (com comunicação entre os Ghosts) e CEGT 2018 (sem comunicação entre os Ghosts).

Entre todas as CMPvsGT que ocorreram até agora, foram escolhidas as regras da CMPvsGT de 2016 dado que, foi em 2016 que a CMPvsGT começou a aceitar apenas controladores Pacman/Ghost com observação parcial passando a ser também aplicadas nas CMPvsGT 2017 e CMPvsGT 2018.

O simulador do jogo Pacman que irá ser usado para as duas CEGTs 2018 é o simulador do jogo Pacman 2018, porque permite correr jogos Pacman com controladores Pacman/Ghost com observação parcial e implementa as regras da CMPvsGT de 2016 nos jogos Pacman que executa.

#### 5.1. Método de determinar o controlador Ghost vencedor nas CEGTs 2018

CEGT 2018 consiste numa competição do tipo, todos contra todos, adaptado à natureza bipartida dos controladores envolvidos (Pacman e Ghost team). Os controladores são divididos em 2 grupos, grupo Pacman com controladores Pacman e grupo Ghost com controladores Ghost team. Cada controlador do grupo Ghost vai fazer 5 sessões de jogos e os seus resultados são registados na CEGT 2018.

Cada sessão de jogos consiste no controlador Ghost team jogar 100 jogos contra cada um dos controladores no grupo Pacman. O resultado de uma sessão de jogos consiste na média da pontuação do Pacman, em todos jogos que controlador Ghost jogou nesta sessão. Quanto menor o seu valor na sessão de jogos, melhor é o seu resultado.

Depois de registar todos os resultados das sessões de jogos executados por cada elemento do grupo Ghost, cada controlador Ghost vai selecionar um resultado que obteve, entre as 5 sessões que executou, dependendo do tipo de avaliação a ser aplicado na CEGT 2018. Existem 3 tipos de avaliação:

1. **Clássico**: Em que, é automaticamente selecionado o primeiro resultado que o controlador Ghost registou.

2. **Perfeccionista:** Em que, é selecionado o melhor resultado entre os 5 resultados que o controlador Ghost registou.
3. **Total:** Em que, o resultado selecionado consiste na média dos 5 resultados que o controlador Ghost registou.

Independentemente do tipo de avaliação aplicado nos resultados de CEGT 2018, o controlador Ghost com melhor resultado vai ser o vencedor de CEGT 2018 com o tipo de avaliação que foi aplicado.

## 5.2. Métodos de testes

Nesta sessão vai ser descrita o Método de testes aplicados nesta dissertação, os seus objetivos, a sua estrutura e que controladores Ghost/Pacman vão fazer parte nela.

Os objetivos do Método de testes são:

1. Desenvolver dois controladores Ghost (com/sem comunicação), que irão ser as propostas desta dissertação.
2. Aperfeiçoar os parâmetros aplicados nos controladores Ghosts que participam nas fases de testes, incluindo os dois controladores Ghost propostos nesta dissertação.

### 5.2.1 Métodos de testes realizados na dissertação

Nesta dissertação os testes vão ser realizados duas vezes, uma para controladores Ghost sem comunicação e outra para controladores Ghost com comunicação. Ambas têm o mesmo ponto de partida, contudo o ponto de chegada (proposta) depende dos resultados obtidos durante os testes.

O método de testes está dividido em 3 fases. A primeira consiste em testar cada um dos controladores Ghosts que foram selecionados, para encontrar uma combinação de parâmetros que obtenha a melhor performance. Na segunda fase, são usados os parâmetros da primeira fase para fazer uma otimização local dos parâmetros. Em outras palavras, usando os parâmetros da primeira fase, esta fase faz pequenas alterações nos parâmetros para cada um dos controladores Ghosts com o objetivo de melhorar a sua eficiência em reduzir a pontuação final de Pacman. Na terceira fase, são combinados os dois melhores controladores Ghosts na segunda fase para criar um controlador Ghost Team e testá-lo com diversas combinações de parâmetros.

### 5.2.2 Estrutura dos métodos de testes (detalhado)

Na primeira fase, o objetivo é descobrir um conjunto de parâmetros de um controlador Ghost Team com maior potencial de reduzir a pontuação de Pacman.

Para cada combinação de parâmetros, um controlador Ghost participou em 5 sessões de testes, em que cada sessão tinha 300 jogos. Consequentemente, na maioria dos controladores Ghost foram testados diversas combinações de parâmetros. As únicas exceções foram os controladores FS e FRIGHT, pois não possuem parâmetros numéricos. No controlador FS, as primeiras 5 sessões foram testadas com um código simples de percepção, onde um Ghost utilizava apenas a informação sobre a posição do Pacman para tomar a sua próxima decisão. Nas versões subsequentes do controlador FS, o código de percepção incluiu outras informações sobre o jogo, tal como Ghosts não comestíveis e Ghosts comestíveis, para a tomada de decisão. No controlador FRIGHT, que é baseado em regras, as primeiras 5 sessões tinham um pequeno número de regras e nas versões subsequentes foram incluídas regras específicas. Nesta primeira fase, para cada controlador testado, foi selecionado o código que obteve a menor média numa sessão.

Na segunda fase, para os controladores com parâmetros numéricos, foi feita uma otimização local dos valores para tentar encontrar sessões com melhores resultados. No caso do FS e FRIGHT, foram testadas versões com pequenas alterações no código. Tal como na fase anterior, cada versão foi testado em 5 sessões de testes, em que cada sessão tinha 300 jogos.

Na Terceira fase, foi feita uma fusão entre os dois melhores controladores Ghosts na segunda fase. Além disso, foi feita uma otimização local dos valores dos parâmetros no novo controlador Ghost team. A melhor versão deste controlador Ghost Team chamou-se Hybrid no caso CC ou Bullseye no caso SC.

## 6. Resultados e Controladores Hybrid e Bullseye

Nesta seção estão os resultados de cada uma das três fases de testes, para controladores Ghost com comunicação(CC), sem comunicação (SC).

### 6.1. Fase 1 (SC)

A Figura 2 apresenta os Resultados da Fase 1 (SC)

Em termo de desempenho dos Controladores Ghost nesta fase, DW-PO, Magnet-PO, StartGhost-PO e Priority-PO tiveram dentro das iniciais expectativas. O Patrol-PO arrebitou com as suas iniciais expectativas, ao conseguir o 1.º Rank mesmo tendo em conta que os Ghosts espalhados no labirinto sem forma de coordenasse entre si quando visualizam o Pacman. FRIGHT-PO e FS-PO superaram razoavelmente as suas iniciais expectativas por conseguirem resultados quase ao nível do controlador DW-PO que tem altas expectativas.

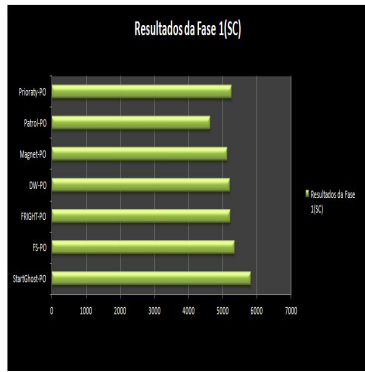


Figura 2: Resultados da Fase 1 (SC)

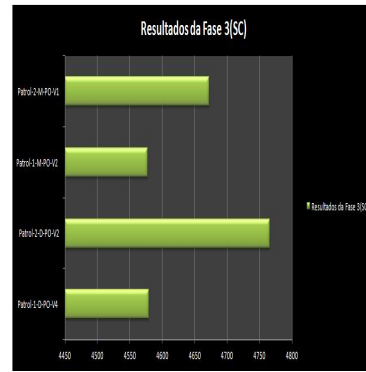


Figura 4: Resultados da Fase 3 (SC)

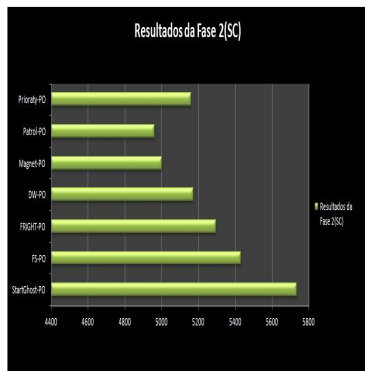


Figura 3: Resultados da Fase 2 (SC)

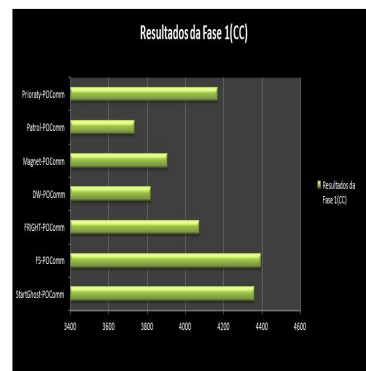


Figura 5: Os Resultados da Fase 1 (CC)

## 6.2. Fase 2 (SC)

A Figura 3 apresenta os Resultados da Fase 2 (SC)

Em termo de desempenho dos Controladores Ghost nesta fase, StartGhost -PO, Magnet-PO, DW-PO e Priority-PO conseguiram ter melhores resultados, comparado com os seus resultados da fase 1 (SC). Com os resultados destas duas fases (SC) é óbvio que os 3 melhores Controladores Ghosts são Patrol-PO, DW-PO e Magnet-PO. O ponto forte de Patrol-PO é encontrar o Pacman, o ponto forte de DW-PO e Magnet-PO é perseguir o Pacman. Na fase 3 (sem comunicação) vão ser testados controladores Patrol-PO que ao visualizar o Pacman, perseguem-no com a estratégia de DW-PO ou Magnet-PO. Entre os VCGs testados nas duas fases (SC) foi selecionado um VCG por Controladores Ghost que participou nos testes, para participar na CEGT (SC).

## 6.3. Fase 3 (SC)

A Figura 4 apresenta os Resultados da Fase 3 (SC)

Dado que Patrol-1-M-PO (V2) é melhor controlador Ghost Team nesta fase, vai ser a proposta (sem comunicação) desta tese e o seu nome oficial é “Bullseye”.

## 6.4. Fase 1 (CC)

A Figura 5 apresenta os Resultados da Fase 1 (CC)

Em termos de desempenho dos Controladores Ghost nesta fase, quase todos estiveram dentro das expectativas iniciais, exceto Patrol-POComm que conseguiu o 1.º lugar do Ranking tendo em conta que o seu ponto forte é encontrar o Pacman e não persegui-lo.

## 6.5. Fase 2 (CC)

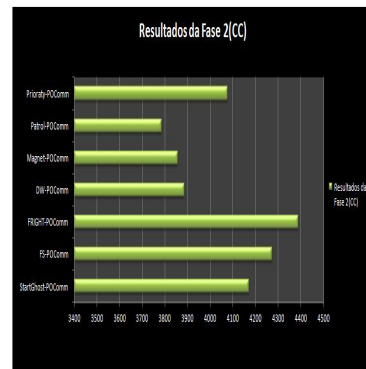


Figura 6: Resultados da Fase 2 (CC)

A Figura 6 apresenta os Resultados da Fase 2 (CC)

Em termo de desempenho dos Controladores Ghost nesta fase, StartGhostComm, FS-POComm,

Priority-POComm e Magnet-POComm conseguiram ter melhores resultados, comparado com os seus resultados da fase 1 (CC). Com os resultados destas duas fases (CC) é óbvio que os 3 melhores Controladores Ghosts são Patrol-POComm, DW-POComm e Magnet-POComm. O ponto forte de Patrol-POComm é encontrar Pacman, o ponto forte de DW-POComm e Magnet-POComm é perseguir Pacman. Na fase 3 (com comunicação) vão ser testados controladores Patrol-POComm que ao visualizar Pacman, perseguem-no com a estratégia de DW-POComm ou Magnet-POComm. Entre os VCGs testados nas duas fases (CC) foi selecionado um VCG por Controladores Ghost que participou nos testes, para participar na CEGT (CC).

### 6.6. Fase 3 (CC)

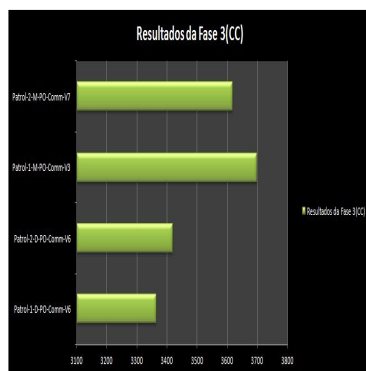


Figura 7: Resultados da Fase 3 (CC)

A Figura 7 apresenta os Resultados da Fase 3 (CC)

Dado que Patrol-1-D-PO-Comm (V6) é melhor controlador Ghost Team nesta fase, vai ser a proposta (com comunicação) desta tese e o seu nome oficial é “Hybrid”.

## 7. Conclusões

Esta tese baseia-se na criação de dois controladores de Ghost Team, com vista a dar resposta à falta de eficiência dos Ghosts no jogo Pacman original.

Para conseguir o meu propósito, comecei por uma fase de pesquisa onde através de artigos e trabalhos já realizados desenvolvi seis controladores Ghosts, cada um com a sua estratégia.

A partir daqui realizei inúmeros testes, com estes seis controladores num simulador do jogo Pacman em ambiente de observação parcial, os resultados obtidos serviram de base de partida para a criação de dois controladores Ghosts, com comunicação e sem comunicação, a que chamei “Ghost Team Hybrid” e “Ghost Team Bulseye”.

Como método de avaliação utilizei a competição Extra Ghosts Team 2018, cada sessão consistia em realizar cem jogos por cada um dos nove controla-

dores Pacman, que por sua vez entrariam em confronto com os dezasseis controladores Ghosts Team com comunicação e os catorze Ghosts Team sem comunicação, o que resultou na realização de 27000 jogos.

Foram realizadas cinco destas sessões, perfazendo no total 135000 jogos.

Esta enorme quantidade de jogos permitiu-me obter os resultados para saber se os dois controladores Ghost Team que me propus criar seriam ou não mais eficientes em comparação com outros controladores de Ghost Team já existentes.

Ambos os controladores, Ghost Team Hybrid e Ghost Team Bulseye obtiveram resultados muito semelhantes, em ambos os casos foram bem sucedidos, obtendo o 1º lugar do Ranking em todos os tipos de análise no confronto contra oito dos nove controladores “Pacman”, contudo quando confrontados com o Controlador “Pacman Tosc”, o seu lugar do ranking era afetado, assim o ?Ghost Hybrid? descia para o 3º lugar na análise Clássica, para o 4º lugar na análise Perfeccionista e para o 6º lugar na análise Total e o “Ghost Bulseye” descia para o 5ª, 7ª e 3ª lugar na análise Clássica, Perfeccionista e Total, respetivamente.

Através destes resultados sou levado a concluir que foi cumprido, quase na sua totalidade o objetivo proposto, que seria a criação de dois controladores mais eficientes que os já existentes, que não permitissem que o Pacman obtivesse resultados muito elevados na sua pontuação, apenas o controlador “Pacman Tosc” impediu que tal acontecesse.

Com base ainda nos resultados, estou convicto que com mais pesquisa, poderia desenvolver melhor estes dois controladores, de modo a aumentarem a sua eficiência quando confrontados com o controlador “Pacman Tosc”, mantendo o mesmo nível de elevada eficiência contra os restantes controladores “Pacman”.

## Agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador, Prof. Alberto Sardinha por me acompanhar neste desafio, pelos conselhos transmitidos e apoio científico que tornaram possível este resultado final.

Também queria dar uma palavra de agradecimento à assistente técnica Carla Costa, que me acompanhou ao longo de boa parte do meu curso, pela sua disponibilidade e boa ligação que estabeleceu com a docência, o que permitiu ultrapassar os vários obstáculos que fui encontrando ao longo do meu percurso no Instituto Superior Técnico.

Por fim, gostaria de agradecer à minha família, pelo apoio incondicional, ajuda na revisão dos textos e por terem acreditado sempre em mim.

## Referências

- [1] R. Benson. *Metal Gear Solid*. Orbit, 2008.



- [2] C. Birch. *IA original dos fantasmas*. <http://gameinternals.com/post/2072558330/understanding-pac-man-ghost-behavior>, Dec. 2010.
- [3] C. B. C. David J. Gagne. Fright: A flexible rule-based intelligent ghost team for ms. pac-man. In *2012 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pages 273–280, 2012.
- [4] S. J. J. Johan Svensson. Influence map-based controllers for ms. pacman and the ghosts. In *2012 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pages 253–264, 2012.
- [5] S. M. L. Philipp Rohlfshagen. Ms pac-man versus ghost team cec 2011 competition. In *Evolutionary Computation (CEC), 2011 IEEE Congress on*, pages 70–77, 2011.
- [6] S. M. L. Piers R. Williams, Diego Perez-Liebana. Ms. pac-man versus ghost team cig 2016 competition. In *2016 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pages 420 – 427, 2016.