



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



BRAITENBERG VEHICLES

Meta Final

Amanda Menezes	2017124788	uc2017124788@student.uc.pt	PL3
Inês Marçal	2019215917	uc2019215917@student.uc.pt	PL3
Noémia Gonçalves	2019219433	uc2019219433@student.uc.pt	PL3

1. Meta 1 – Sense it	2
1.1 Introdução	2
1.2 Objetivos	2
1.3 Implementação	2
1.3.1 Cenários implementados	3
2. Meta 2 – Tune it & Test it	4
2.1 Introdução	4
2.2 Objetivos	4
2.3 Funções de Ativação	4
2.3.1 Linear	4
2.3.2 Gaussiana	5
2.4 Implementação – Test it	5
2.4.1 Círculo	5
2.4.2 Infinito	7
2.4.3 Elipse	8
3. Criação de Mundos	9
3.1 Playground	9
4.2 Flor	10
3. Dificuldades e notas finais	10

1. Meta 1 - Sense it

1.1 Introdução

Os veículos de Braitenberg são capazes de simular comportamentos cognitivos complexos através de mecanismos básicos que manipulam a conexão sensorial-motora. O presente trabalho teve como principal objetivo investigar o comportamento de veículos desta natureza, com a presença de sensores de focos de luz (foto-sensores) e de sensores de proximidade com outros veículos.

1.2 Objetivos

- i. Implementar o detetor de veículos para um dos veículos presentes na cena.
- ii. Analisar a interação entre os veículos quando suportam os detetores de luz e de veículos.
- iii. Produzir cenários para a demonstração de modos de ação diferentes, nomeadamente agentes com comportamentos de medo e agressividade.

1.3 Implementação

Para a implementação do detetor de carros foi necessário recorrer ao script fornecido CarDetectorScript.cs e desenvolvê-lo de forma análoga ao caso dos foto-sensores.

Este sensor é ativado quando é detetado o veículo que se encontra mais próximo do mesmo. Para isso é preciso comparar a distância de cada veículo identificado pelo sensor com a do mais próximo. No cenário, essa comparação é feita através de duas variáveis: minDistance, que vai guardando a distância mínima e closestCar que guarda o carro associado a essa distância. Posteriormente, ao ter sido obtido o veículo mais próximo do sensor é calculado, com base neste, o output que irá colocar o carro em movimento. Este é produzido através da seguinte fórmula:

$$\text{output} = 1.0f / ((\text{transform.position} - \text{closestCar.transform.position}).\text{magnitude} + 1.0f)$$

Onde `transform.position` é a posição do próprio objeto a detetar o sinal, e o `closestCar.transform.position` é a posição do atual elemento da lista `closestCar` que se está a percorrer.

1.3.1 Cenário Implementado – Comboio

Para a construção deste cenário foram utilizados 3 veículos. O veículo da frente detetava as luzes e os dois de trás que detevam o correspondente carro da frente. Sendo que qualquer um destes apresentava a tag `CarToFollow`.

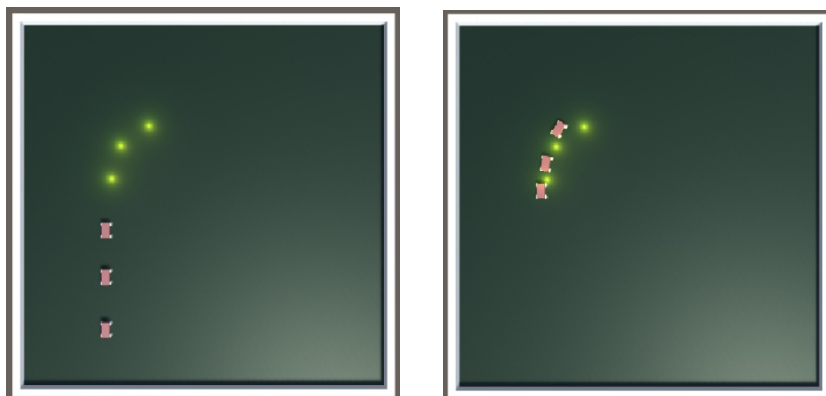


Figura 1 e 2. Representação visual do cenário do comboio.

1. Meta Final – Tune it & Test it

2.1 Introdução

Nesta meta final, com base nos cenários fornecidos verificamos qual a função de ativação mais adequada para cada um assim como escolhemos e testamos os parâmetros que permitiam aos agentes apresentar o comportamento pretendido em cada cenário. Além disso, procedemos ainda à criação de mundos que permitissem ilustrar estas propriedades dos veículos e que pusessem à prova as suas capacidades.

2.2 Objetivos

- I. Resolver os cenários fornecidos especificando a função de ativação utilizada assim como o limiar (threshold) de ativação mínimo e máximo e o limite superior e inferior para cada sensor do veículo
- II. Explicar a escolha dos parâmetros anteriores e analisar o comportamento dos veículos com os mesmos;
- III. Criação de cenários complementares com o objetivo de visualizar estas propriedades e comportamentos dos veículos.

2.3 Funções de Ativação

Com base nas características de cada cenário foi escolhido não só a função de ativação que mais se adequava ao mesmo assim como os limites e limiares. Em relação aos limiares estes verificam se o valor de x é inferior ou superior aos mesmos. Se isto se verificar é atribuído à aceleração o valor zero, caso contrário é efetuado o cálculo da função de ativação. Posteriormente, se existirem limites, é verificado se o valor da função de ativação não se encontra no intervalo definido para o eixo dos Y e caso isto ocorra a aceleração será igual ao limite superior ou inferior (dependendo do definido).

Ambas as funções de ativação recebem a energia total recebida pelo sensor. Esta energia é calculada pela expressão definida na meta1, em que o *output* representa a energia:

$$output = \frac{1}{d + 1}, \quad \text{sendo } d \text{ a distância do carro mais próximo}$$

Foi ainda implementada a inversa desta para posterior utilização no último mundo criado.

2.3.1 Linear

A função de ativação linear, implementada na meta anterior, apresenta um comportamento bastante intuitivo de compreender. Nesta, a energia calculada pelos sensores será diretamente proporcional à aceleração que permite ao veículo se deslocar no cenário, sendo esta última assim uniforme. Com base nestas propriedades, podemos concluir que esta função de ativação irá apresentar limitações em compreender relações mais complexas nos cenários.

Deste modo para o comportamento linear do output dos detetores de luz e veículos foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Linear(output) = output, \quad \text{sendo o output a energia}$$

2.3.2 Gaussiana

A função de ativação gaussiana apresenta um comportamento mais complexo que a Linear. Esta recebe como parâmetros a energia, o desvio padrão e ainda a média. Através da variação do valor de desvio padrão e da média, que por defeito são 0.12 e 0.5 respetivamente, conseguimos alterar a amplitude desta função em torno da média definida.

Deste modo para o comportamento gaussiano do output dos detetores de luz e veículos foi utilizada a seguinte fórmula de distribuição normal:

$$output = \frac{1}{stdDev\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{output-mean}{stdDev}\right)^2}$$

Sendo *stdDev* o desvio padrão, *mean* a média e o *output* a energia.

Analisando a fórmula e o gráfico característico da mesma (nos cenários fornecidos) podemos concluir que inicialmente o agente apresenta um aumento acentuado (impulso) da aceleração até atingir o pico máximo. Posteriormente, após este pico, o agente sofre um decréscimo de aceleração simétrico ao impulso inicial. Estas características são vantajosas para alguns cenários que envolvem comportamentos mais complexos por parte do agente, como exemplo a necessidade de mudanças abruptas de aceleração (curvas no cenário, em que consoante o pico é definido uma maior ou menor acentuação da mesma).

2.4 Implementação – Test it

2.4.1 Círculo



Figura 2. Percurso do círculo

Tabela 1. Valores dos casos de teste obtidos para o caso do círculo.

		Ymin	Ymax	stdDev	mean
Caso de Teste 1	Sensor à esquerda	0	0	0.3	0
	Sensor à direita	0	0	0.8	0
Caso de Teste 2	Sensor à esquerda	0	0	0.12	0.50
	Sensor à direita	0	0	0.12	0.50
Caso de Teste 3	Sensor à esquerda	0.5	1.0	--	--
	Sensor à direita	0	0	--	--

Partindo do princípio que estávamos perante um círculo, a roda que apresenta um raio de circunferência menor em relação à luz para o mesmo arco tem de percorrer uma distância menor em relação à de maior raio relativamente à luz. Deste modo, aplicando este conceito procuramos realizar testes em que o sensor da esquerda possuísse um valor do desvio padrão inferior ao da direita (no caso 1 da tabela 1 encontram-se os valores de acordo com este conceito que apresentaram melhor performance), partindo do valor de desvio padrão e média apresentados como exemplo no enunciado. Ao partir destes últimos valores (média e desvio padrão do enunciado) apercebemo-nos que também seria possível construir um círculo com eles, sendo apresentados assim no segundo caso teste. Isto acontece, uma vez que as rodas ao se encontrarem em distâncias diferentes da luz existe uma diferença de outputs (dado pela energia recebida). Por outras palavras, como estamos perante um veículo com comportamento agressivo, apesar de o sensor mais próximo da luz receber maior energia, estes ao estarem trocados, será a roda mais afastada da luz que receberá esse maior output.

Os primeiros dois casos testes apresentados que obtiverem melhor performance foram realizados com a função de ativação gaussiana (sendo que os gráficos se referem ao primeiro), enquanto que o segundo teste foi realizado com a função de ativação linear. Em relação a este último aplica-se o mesmo conceito referido anteriormente, uma vez que o Ymin irá assegurar que exista a diferença de outputs e assim de velocidade entre as duas rodas (tal como explicado acima a roda mais próxima da luz irá precisar de uma menor velocidade em relação à outra pois percorre um menor arco também).

Observando o gráfico da função gaussiana realizada para o primeiro caso podemos verificar o que foi referido acima, uma vez que a roda mais próxima da luz(esquerda) terá de efetuar uma curva mais acentuada, pelo que a mais afastada terá de apresentar uma maior aceleração (dada pelo pico da função gaussiana). Deste modo, o desvio padrão do sensor esquerdo terá que ser menor para que a roda mais afastada da fonte de luz apresente uma maior aceleração.

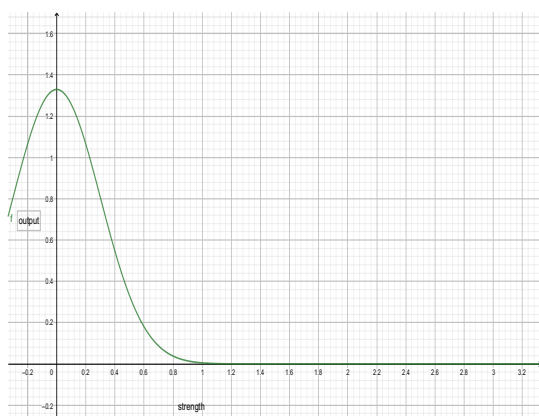


Figura 3. Representação da função gaussiana aplicada no sensor esquerdo.

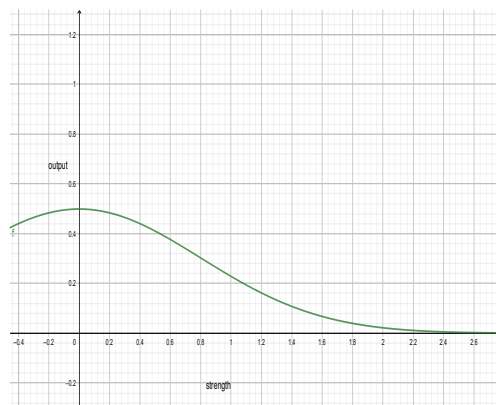


Figura 4. Representação da função gaussiana aplicada no sensor direito.

No caso dos gráficos do output, o veículo efetua um ajuste de posição inicialmente (observado pelos picos dos valores de output), no entanto estabiliza de seguida, ficando os valores constantes tal como esperado (quando já se encontra a descrever o círculo).

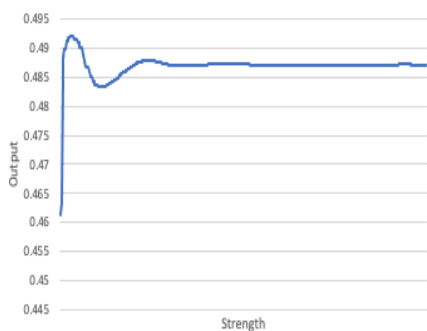


Figura 5. Representação dos outputs do sensor direito.

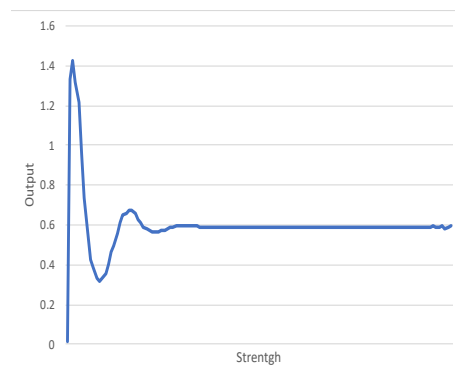


Figura 6. Representação dos outputs do sensor esquerdo.

2.4.2 Infinito

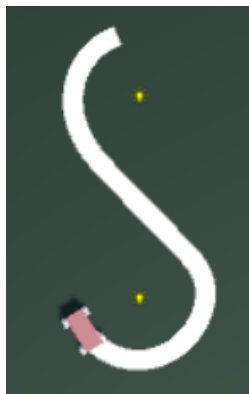


Figura 7. Percurso do infinito.

Tabela 2. Valores dos casos de teste obtidos para o caso do infinito.

	Ymin	Ymax	stdDev	mean
Sensor à esquerda	0.05	1.10	0.12	0.50
Sensor à direita	0.05	1.10	0.12	0.50

A tabela acima reúne os valores para o caso de teste que apresentou melhor performance. No entanto foram realizados alguns testes iniciais para podermos concluir que este Ymax seria o valor ideal na realização do infinito. Começou-se por utilizar um valor de Ymax = 0.5, no entanto o efeito apenas se aproximava do pretendido. Deste modo, fomos aumentando o valor deste e percebemos que Ymax = 1.1 permitia a realização do infinito desejado. Através destes testes podemos também concluir que independentemente dos valores de Ymin utilizados estes não iriam influenciar a realização do infinito.

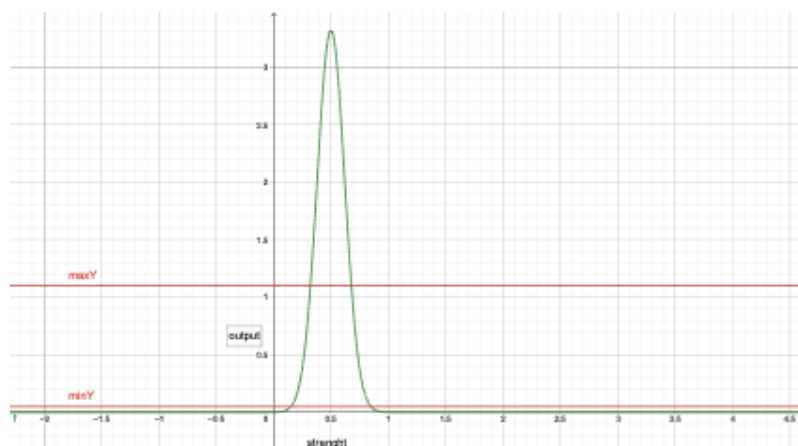


Figura 8. Função gaussiana aplicada ao desvio padrão e média determinados do caso de melhor performance para os sensores à esquerda e à direita.

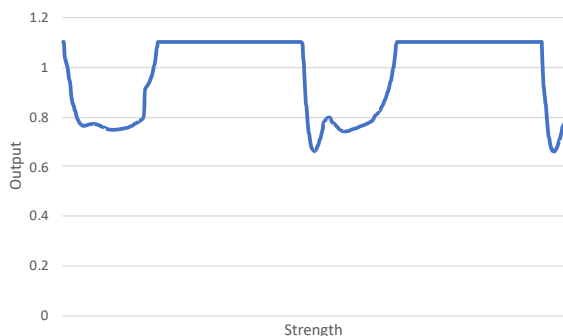


Figura 9. Representação dos outputs do sensor direito.

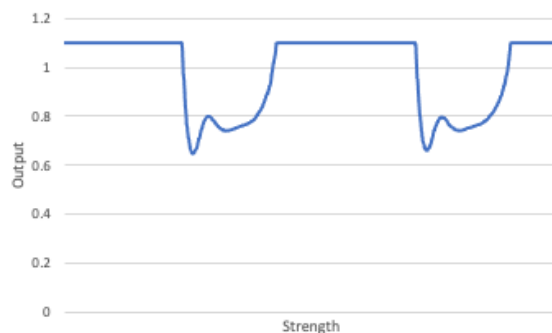


Figura 10. Representação dos outputs do sensor esquerdo.

Ambos os gráficos de output apresentados acima evidenciam o comportamento esperado, uma vez que os sensores atingem o valor máximo quando o veículo faz a curva e assim se aproxima de um foco de luz. Por outro lado, quando o veículo se encontra no ponto em que a energia recebida pelos sensores é a menor, que no caso é o ponto de cruzamento do infinito, estes atingem o valor mínimo. Por outras palavras, a energia mantém-se constante enquanto o veículo se encontra a efetuar o círculo, mas, posteriormente, ao se afastar da fonte de luz a mesma decresce, voltando a aumentar quando o veículo começa a descrever novamente o círculo.

2.4.3 Elipse



Figura 11. Percurso elíptico.

Partindo do mesmo princípio explicado no cenário do círculo, procurou-se sempre que nos casos de teste utilizados o valor do desvio padrão do sensor da esquerda fosse menor em relação ao da direita. Por outras palavras, o sensor que se encontra mais próximo da luz terá de apresentar menor desvio padrão para que a roda contrária a este apresente uma maior velocidade (dada pelo pico da função gaussiana, maior pico corresponde a um menor desvio padrão). Isto considerando que o veículo apresenta comportamento agressivo e assim os sensores encontram-se trocados. Podemos verificar este facto nos casos testes realizados, em que em ambos o desvio padrão é menor no sensor esquerdo.

Por outro lado, procurou-se definir que os valores da média e dos limiares permitissem que a roda da direita nunca apresentasse menor velocidade em relação à da esquerda, tal como podemos verificar no gráfico da função gaussiana. Inicialmente através do *print* da variável *output* (com o objetivo de se compreender a aceleração e energia) tínhamos obtido uma elipse mais oval, cujos valores se encontram na segunda parte da tabela 3, no entanto ajustou-se os limites e limiares para a mesma apresentar

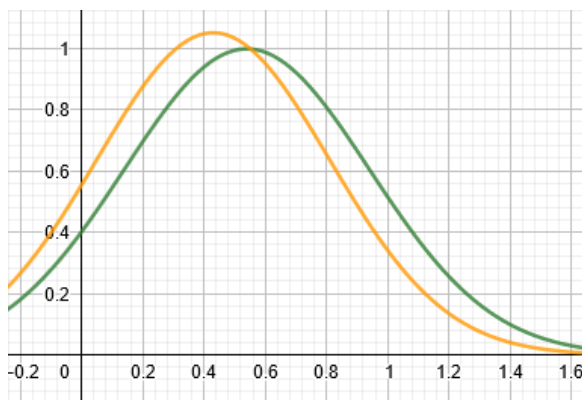


Figura 12. Representação gaussiana do sensor esquerdo a laranja e do sensor direito a verde.

uma forma mais achatada, como é apresentado na figura 16 (cujos valores utilizados se encontram na primeira parte da tabela 3).

Em relação ao cálculo do valor máximo de X e do valor máximo de Y, obtendo o primeiro por experimentação, obtivemos o segundo com base na fórmula da proporção áurea: $y = 1.618x$

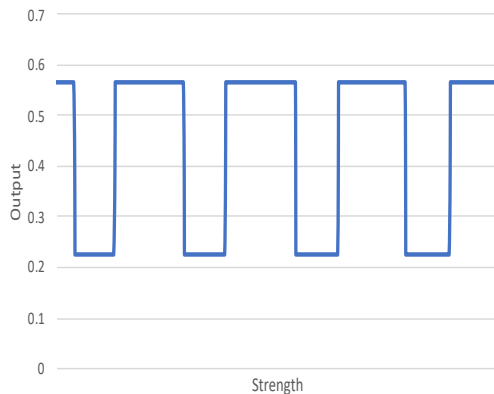


Figura 13. Representação dos outputs do sensor direito.

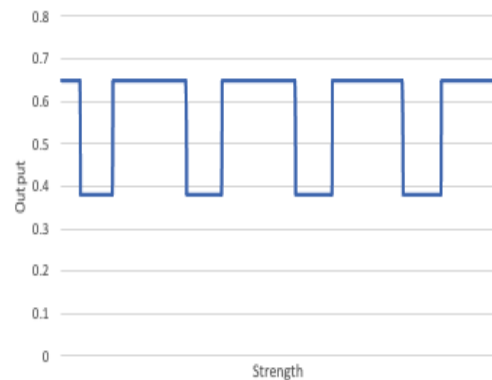


Figura 14. Representação dos outputs do sensor esquerdo.

Os gráficos acima evidenciam que os valores de output estão sempre a alternar entre o valor máximo e mínimo determinados inicialmente. Para o sensor da direita foi aplicado um intervalo de amplitude maior entre os valores de Ymax e Ymin, evidenciando assim uma distribuição mais acentuada quando comparativamente com o sensor esquerdo.

Através dos testes efetuados podemos concluir que a razão pela qual o sensor da esquerda precisava de um valor de Ymin superior era devido à sua posição inicial no percurso. Como o agente agressivo apresentava uma aceleração de acordo com a quantidade de energia que recebia, caso o valor fosse igual nos dois sensores, o agente poderia acelerar demais e acabar por desviar-se do percurso elíptico assim que se se aproximasse do primeiro foco de luz.

Tabela 3. Valores dos casos de teste obtidos para o caso da elipse.

		Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	stdDev	mean
Caso de Teste 1	Sensor à esquerda	0	0.4	0.3799	0.6472	0.38	0.43
	Sensor à direita	0	0.36	0.22499	0.5663	0.4	0.54
Caso de Teste 2 (oval)	Sensor à esquerda	0	0.25	0.2	0.75	0.38	0.42
	Sensor à direita	0	0.45	0.15	0.65	0.39	0.53

2. Criação de Mundos

No sentido de ilustrar as propriedades dos diferentes veículos procedeu-se à criação de mundos que pusessem à prova essas mesmas capacidades.

2.1 Playground

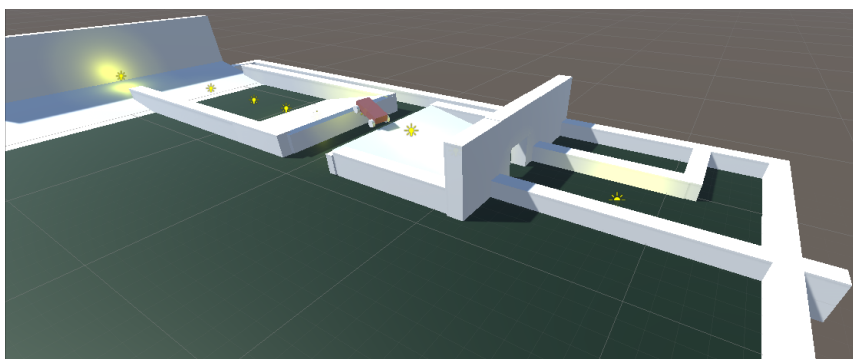


Figura 15. Playground de uma pista utilizando focos de luz.

Neste mundo foram utilizadas 8 fontes de luz e 1 veículo em que em ambos os sensores foi aplicada a função de ativação gaussiana. Cada fonte de luz apresenta a tag *Light* que permite não só o veículo ser “atraído” como também realizar assim o percurso definido pelas mesmas. Esta vantagem só é possível devido ao veículo apresentar um comportamento agressivo (sensores trocados). Por outro lado, o facto deste veículo aumentar a aceleração perante um conjunto seguido de pontos de luz permitiu que se atingisse o objetivo do cenário, mais propriamente a construção da pista.

Os testes efetuados neste mundo apresentaram algum comportamento adverso por parte do agente no momento em que este deixava de receber energia nos seus sensores ou eram acrescentadas mais fontes de iluminação. Uma razão para esta fraqueza é o facto de o playground estabelecido envolver diversos elementos físicos, como a rampa e múltiplos obstáculos. Deste modo, é preciso configurar o agente reativo com características cinemáticas para responder de forma apropriada ao ambiente. Como não foram desenvolvidas capacidades responsivas quanto à aceleração cinemática ou gravitacional, o comportamento do agente tornou-se aleatório e de difícil previsão no momento em que a interação com as luzes era alterada ou deixava de existir.

3.2 Flor

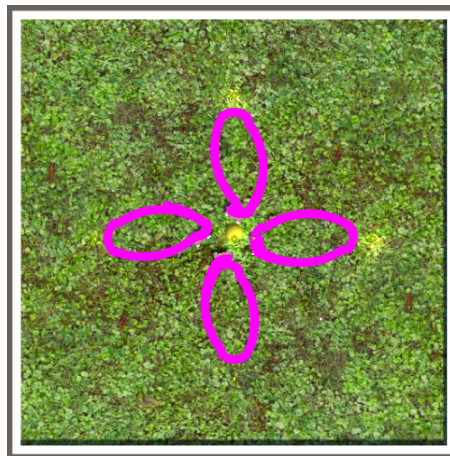


Figura 16. Playground de uma flor utilizando focos de luz e elipses.

Neste mundo foram utilizados 4 veículos com comportamento agressivo e 5 fontes de luz. Com o intuito de se realizar uma flor como a representada procedeu-se à utilização da função gaussiana em qualquer um dos sensores de cada carro e à utilização dos mesmos parâmetros determinados no cenário da elipse. Uma das dificuldades na realização deste cenário com os veículos de Braitenberg foi o posicionamento dos veículos e das luzes de modo a ser possível a utilização da elipse construída no cenário anterior para formar as pétalas da flor. Por outro lado, o facto de terem sido utilizadas mais fontes de luz fez com que a energia recebida pelos sensores dos veículos fosse maior em relação ao cenário da elipse e assim houvesse um desvio do percurso após um número limitado de voltas. Esta consequência resultou numa maior complexidade na estabilização destas mesmas elipses.

3.3 Detetar o veículo mais próximo – *Fear mode*

Para a construção deste cenário foram utilizados dois veículos, um com o comportamento de medo e que detetava carros e outro com o comportamento agressivo em relação ao foco de luz, apresentando a tag *CarToFollow*. Além disso foi utilizada a função de ativação linear em ambos os sensores dos dois carros presentes em cena. Podemos observar que quando este veículo com medo detetava a presença de outro, o sensor

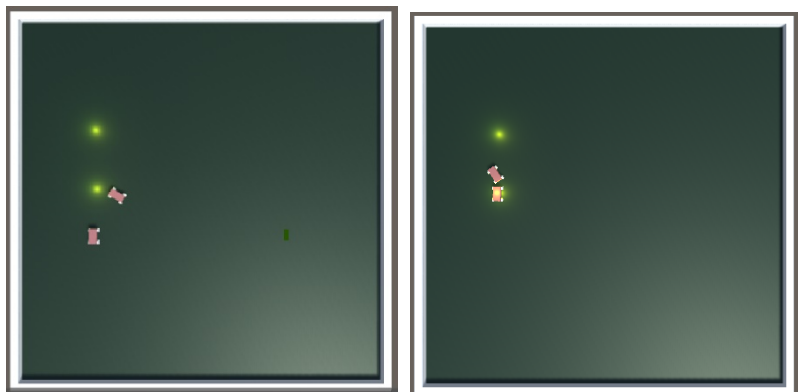


Figura 17 e 18. Playground de deteção de um veículo.

que se encontrava do lado em que este provinha provocava o aumento da aceleração por parte da respetiva roda (do mesmo lado do sensor) e assim era efetuada uma curva pelo mesmo.

Uma fraqueza verificada por parte do veículo *fear* é que este aumentava a aceleração perante a proximidade de um veículo, mas posteriormente acaba por ficar parado ao afastar-se do mesmo. Podemos assim concluir que este só adquire aceleração na presença de um outro veículo. Por outro lado, o veículo agressivo ao seguir os focos de luz pode atingir um grande aumento de aceleração, devido à proximidade das mesmas, impedindo que o veículo *fear* consiga responder a tempo.

3.4 Perseguição policial

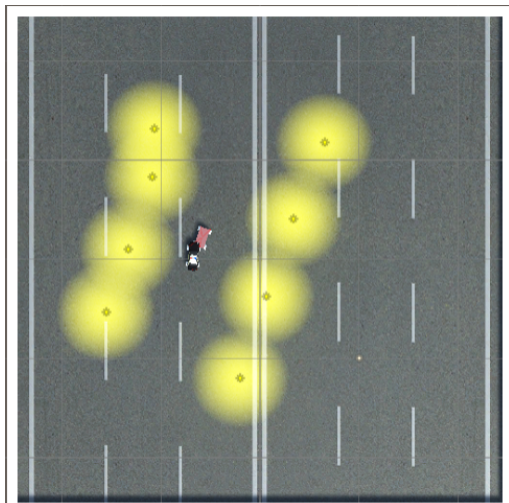


Figura 19. Playground de uma perseguição policial.

Neste cenário foram utilizados 2 veículos (em ambos os sensores foi aplicada a função de ativação linear), um com o comportamento *lover* e outro com o comportamento *discover*, e algumas fontes de luz. Este último apresentava a tag *CarToFollow* no sentido do *lover* o seguir. Através dos testes realizados podemos observar que o *lover* enquanto se aproximava do outro veículo em cena aumentava a aceleração, no entanto à medida que se aproximava do mesmo ia abrandando. No caso do *discover* verificou-se que este desacelerava ao encontrar um foco de luz, mas posteriormente ia-se afastando gradualmente, no sentido de ir procurar mais fontes luminosas. Para se obter este efeito no *lover* (em relação ao outro carro) e no *discover* (em relação à luz) foi utilizada a fórmula *inversa* implementada.

Podemos verificar que o explorador resolve o problema que o veículo com medo apresentava no cenário anterior, uma vez que quanto mais afastado se encontrava da fonte da luz maior aceleração era adquirida por parte do mesmo (não ficando assim parado). Por outro lado, enquanto foi implementado este cenário podemos verificar que se o *lover* fosse atraído por algo sem movimento ele acabava também por ter este comportamento, constituindo assim uma fraqueza para o mesmo.

3. Dificuldades e notas finais

- Nas tabelas apresentadas ao longo do relatório, os parâmetros referidos foram os mais relevantes, no ponto de vista de nos permitir aproximar dos valores da solução final apresentada nos gráficos;
- Em simultâneo com os casos testes efetuados em cada um dos cenários era feito o *print* da variável *output*, no sentido de se perceber os valores de energia e aceleração. Perante esses valores ajustou-se os parâmetros até se obter os resultados pretendidos;
- Os parâmetros obtidos podem variar de computador para computador devido não só às características do mesmo como também, por exemplo, à utilização do CPU no momento em que foram testados experiencialmente. Esta limitação provocou algumas dificuldades, uma vez que os parâmetros obtidos nalguns computadores do grupo para os cenários fornecidos poderiam não ser os mais adequados para os restantes;
- A principal dificuldade deste trabalho foi a obtenção dos parâmetros que permitissem o efeito pretendido nos cenários, devido à vasta existência de possibilidades para os mesmos.
- Em anexo ao relatório realizamos alguns vídeos que permitem visualizar os cenários em ação.