



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA



---

***Fundamentos de Inteligência Artificial***  
**2022/2023 - 2º semestre**

---

**Trabalho Prático Nº1: Braitenberg Vehicles**

Trabalho realizado por:

Bruno Sequeira nº2020235721 [brunosequeira@student.dei.uc.pt](mailto:brunosequeira@student.dei.uc.pt)

Rui Santos nº 2020225542 [rpsantos@student.dei.uc.pt](mailto:rpsantos@student.dei.uc.pt)

Tomás Dias nº 2020215701 [tomasdias@student.dei.uc.pt](mailto:tomasdias@student.dei.uc.pt)

PL1

## Introdução:

O trabalho tem como objetivos aquisição de competências de desenvolvimento de aplicações no Unity como ambiente de simulação, pretendendo-se personalizar os veículos de braitenberg, tanto a nível funcional como visual. Tal implica expandir os “prefabs” distribuídos com o projeto de forma a acrescentar novos sensores de deteção de veículos, novas funções de ativação e novas cenas.

### Sense it:

O objetivo desta meta é a partir de um cenário que contém 10 luzes pontuais e dois carros, que o carro da frente (“Vehicle2aGuide”) seguisse um comportamento de “agression” a partir dos sensores das rodas, e que o segundo veículo o perseguisse com um comportamento de lover. E noutro cenário, que contém uma luz pontual, 1 carro e 1 bloco, o carro desvia-se do bloco e vai em direção da luz.

Para isso tivemos os seguintes passos:

#### 1. Comportamento do Vehicle2aGuide ( cenário -> detectCar).

Após executarmos o cenário que nos foi disponibilizado, o comportamento do carro “Vehicle2aGuide” era o oposto que o que desejamos, pelo facto de ter um comportamento de fear em relação às luzes pontuais, enquanto que o esperado era um comportamento de “agression”, ou seja, ir em direção às luzes.

Com o intuito de resolver este problema, trocamos os scripts nos sensores do veículo, sendo associado ao sensor esquerdo o script “LightDetectorLinearRight” e no direito o script “LightDetectorLinearLeft”.

#### 2. Colocação de um veículo a seguir outro (cenário -> detectCar).

Neste passo era necessário desenvolver o script CarDetectorScript.cs, sendo que tem certas diferenças com o script da detenção de luzes. Tivemos de alterar a fórmula utilizada para calcular a energia total recebida pelo sensor, visto que os veículos não têm atributo range, não fazia sentido utilizá-lo na fórmula da detenção dos veículos. logo a fórmula foi:

$$\text{distância} = (\text{transform.position} - \text{car.transform.position}).\text{magnitude}.$$

Tal como no passo nº1 tivemos de colocar os sensores de forma a ter um comportamento de “agression”, ou seja, ir em direção ao carro perseguido.(Vehicle2aGuide). Neste caso colocamos os sensores em paralelo e a função de output retornava distância ao carro da frente.

### **3. Colocação de obstáculos. (cenário -> main)**

Neste cenário temos 1 carro, 1 bloco e uma luz pontual. Sendo que neste passo era necessário que o carro tivesse um comportamento de medo em relação ao bloco, ou seja, “fugir” dele e um comportamento de “agressão” em relação ao ponto de luz.

O objetivo era que o veículo desviasse do bloco e fosse em direção ao ponto de luz, sendo este objetivo concluído com sucesso. Adicionamos 2 sensores de blocos, tivemos de adicionar no script “CarBehaviour.cs” o RighthBD e LeftBD, para que possamos colocar nos sensores os scripts correspondentes sendo que estes ficaram em paralelo, visto que é um comportamento de medo.

Para isso tivemos de criar mais 2 scripts, “BlockDetectorScript.cs” sendo que a energia total recebida pelo sensor foi calculada com:

`distancia = (bloco.transform.position - transform.position).sqrMagnitude;`

E a “BlockDetectorScript.cs” que retornava o output:  $1/\text{distancia}+1$ .

Após calcular o valor das energias dos sensores, tivemos de alterar o código do script “CarBehaviour2a.cs”, visto que o carro detetava as energias da luz e do bloco, tivemos de comparar se o valor da energia dos sensores da luz eram maiores que os sensores do bloco, se fossem então o carro teria de ir em direção à luz, se fosse o contrário significava que ainda não tinha “ultrapassado” o bloco.

## Meta Final Tune it & Test it

Nesta meta do projeto prático foi nos pedido que criássemos veículos capazes de replicar algumas trajetórias (ex: círculo, infinito e elipse).

Para sua realização tivemos de programar os limites e limiares nos ficheiros de código para cada sensor de detecção de luzes.

Os limiares correspondem aos valores de X, definimos então que caso o valor de X fosse superior ao valor mínimo desta, o valor resultante seria Ymin. Chegamos a essa conclusão a partir do gráfico abaixo:

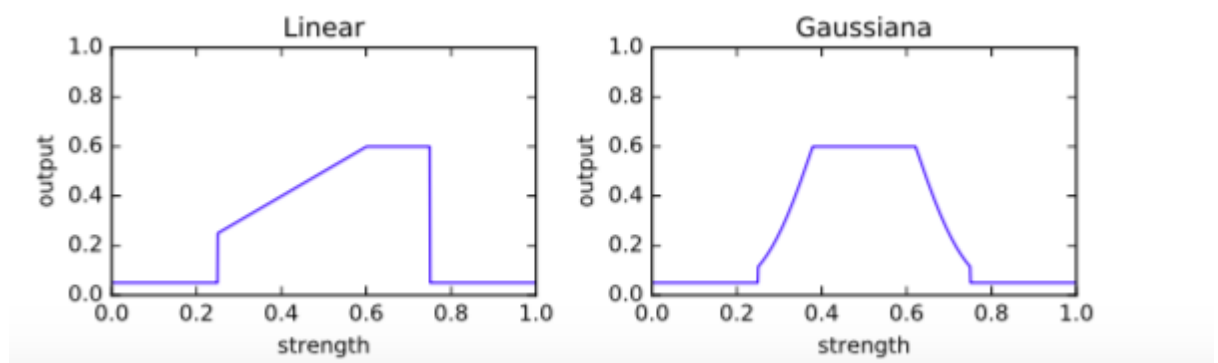


Figura 1 - Função linear e gaussiana com limiares 0.25 e limites 0.05,0.6.

Como é óbvio os valores de X mínimo e X máximo são 0.25 e 0.75, respetivamente. O que implica que os limites, correspondentes aos valores de Y mínimo e Y máximo são 0.05 e 0.6.

Tal como os limiares, aplicamos a mesma regra aos limites.

Se o valor do resultado da função de ativação seja superior ao valor do Y máximo este será igualado ao valor do Y máximo, se for inferior ao valor do Y mínimo este será igualado ao Y mínimo.

Para a função de ativação gaussiana utilizamos a seguinte fórmula:

$$g(x) = \frac{1}{\text{desvioPadrao} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x - \text{media})^2}{\text{desvioPadrao}^2}\right)$$

A fórmula do cálculo da energia recebida por um sensor é dada por:

$$\text{energia} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{\text{distancia}(p_i, \text{sensor})^2}{r_i} + 1}$$

Iremos agora apresentar os 3 cenários que referimos acima.

### **Círculo:**

Para este cenário, começamos por usar os valores de média e desvio padrão do enunciado (caso de teste 1). Não estávamos à espera de obter um círculo, no entanto foi exatamente isso que aconteceu. Isto porque apesar de os valores serem os mesmos para ambos os sensores, o que está mais próximo da luz vai ter mais energia, no entanto, como o agente tem um comportamento agressivo, os sensores estão trocados logo a roda mais afastada da luz recebe essa maior energia e isso faz com que o carro siga uma trajetória circular. Depois experimentamos mudar os valores de desvio padrão e média e chegamos à conclusão que quanto maior fosse a média, menor o raio da trajetória do carro em relação à luz, no entanto, se aumentássemos muito o carro não andava.

Depois disto, seguimos a ideia de que uma das rodas terá uma distância à luz menor que a outra, então possivelmente, se fosse aplicado um desvio padrão menor numa das rodas, iremos obter o comportamento esperado. A diferença entre aplicar o menor valor no sensor da esquerda ou no da direita está no sentido que o carro faz a trajetória (horário ou anti-horário). Efetivamente conseguimos encontrar valores que satisfazem essa nossa ideia (caso 2), no entanto o caso 1 foi o que mais nos agradou.

Tab.1 - parâmetros de testes mais relevantes para o cenário do círculo

Caso Teste	Sensor	x min	x max	y min	y max	média	desvio padrão
1	esquerda					0.5	0.12
	direita					0.5	0.12
2	esquerda					0.6	0.12
	direita					0.6	0.12
3	esquerda					0.4	0
	direita					0.6	0
4	esquerda					0.6	0
	direita					0.4	0

Caso 1: carro descreve a trajetória correta no sentido horário

Caso 2: carro descreve a trajetória correta no sentido horário mas com raio inferior ao caso1

Caso 3: carro inicialmente move-se de forma aleatória mas corrige a trajetória e realiza-a corretamente no sentido anti-horário

Caso 4: carro inicialmente move-se de forma aleatória mas corrige a trajetória e realiza-a corretamente no sentido horário

## Infinito:

Para este cenário, começamos por testar sem aplicar limiares ou limites, não tendo obtido nenhum resultado positivo. Depois começamos a aplicar limites onde já começamos a ver melhorias, principalmente quando o limite superior era 0.7.

A partir daí começamos a subir com esse limite e chegamos a um valor de 1.1 e 1.2 onde ambos correspondiam bem à trajetória esperada, no entanto com o valor de 1.2 a curva que o carro descreve em torno das luzes era mais “suave” e por isso consideramos esse o valor que encaixava melhor. Valores superiores a 1.2 começavam a deformar o nosso infinito. Para além dos testes da tabela abaixo também fizemos alguns onde aplicamos limite inferior, no entanto este tipo de limite não causou melhorias no comportamento.

Tab.2 - parâmetros de testes mais relevantes para o cenário do infinito

Caso Teste	Sensor	x min	x max	y min	y max	média	desvio padrão
1	esquerda				0.5	0.5	0.12
	direita				0.5	0.5	0.12
2	esquerda				0.7	0.5	0.12
	direita				0.7	0.5	0.12
3	esquerda				0.9	0.5	0.12
	direita				0.9	0.5	0.12
4	esquerda				1	0.5	0.12
	direita				1	0.5	0.12
5	esquerda				1.1	0.5	0.12
	direita				1.1	0.5	0.12
6	esquerda				1.2	0.5	0.12
	direita				1.2	0.5	0.12
7	esquerda				1.3	0.5	0.12
	direita				1.3	0.5	0.12

Caso 1: faz uma trajetória com muitas correções, onde no final, não fica parecido com o infinito.

Caso 2: faz o infinito mas não de forma suave, vai em direção ao centro de cada uma das luzes e faz uma correção para dar a volta à luz.

Caso 3: semelhante ao 2 mas com uma correção menor.

Caso 4: realiza o infinito mas a volta que dá nas luzes é muito brusca, fazendo com que as curvas da elipse não fiquem perfeitas

Caso 5: Realiza a trajetória corretamente, no entanto a volta às luzes podia ser mais suave.

Caso 6: Realiza a trajetória corretamente

Caso 7: Realiza o infinito mas com deformações.

### Elipse:

Uma vez mais utilizamos os valores que constam no enunciado, ou seja, os limites e limiares.(0.25 e 0.75 para os limiares) e (0.05 e 0.6 para os limites). Decidimos novamente cruzar os sensores uma vez que necessitamos que a roda mais afastada da luz ande mais rápido para o veículo curvar nas extremidades das elipses.

Tab.3 - parâmetros de testes cenário da elipse

Caso Teste	Sensor	x min	x max	y min	y max	média	desvio padrão	Velocidade Máxima
1	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	20
2	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.8	0.12	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.8	0.12	20
3	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.5	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.5	20
4	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	1	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	1	20
5	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0	1	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0	1	20
6	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.7	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.7	20
7	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.15	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.15	20
8	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.75	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	1	20
9	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.75	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	1	20
10	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.6	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.1	1	20

11	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.58	20
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.05	0.95	20
12	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.58	20.5
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.05	0.95	20.5
13	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.58	20.8
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.05	0.95	20.8
14	esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.58	30
	direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.05	0.95	30

Os resultados das experiências foram:

Caso 1: O veículo segue em direção à luz de cima e fica numa trajetória circular no à volta desta.

Caso 2: O veículo segue em frente.

Caso 3: O veículo quando ao contato com a luz afasta-se.

Caso 4: O veículo quando em contato com a luz move-se na sua direção mas continua a seguir em frente.

Caso 5: O veículo quando passa ao lado da luz direciona-se para a direita.(contrário).

Caso 6: O veículo segue em frente e ao passar pela luz, vira ligeiramente para a esquerda.

Caso 7: O veículo segue em frente e ao passar pela luz, vira mais rápido que o caso anterior, quase como o suposto, mas depois realiza a trajetória circular entre essa luz.

Caso 8 e 9: O veículo faz a trajetória circular entre as duas luzes.

Caso 10: O veículo faz uma elipse, mas depois sai da rota.

Caso 11: O veículo faz duas elipses, mas sai de rota.

Caso 12: O veículo faz duas elipses mas sai de rota

Caso 13: O veículo faz três elipses mas sai de rota.

Caso 14: O veículo faz uma elipse.

Após a testagem com vários casos usando os mesmos valores para ambos os sensores e sem obter nenhum resultado, chegamos a conclusão que para este cenário os sensores deviam ter parâmetros com valores diferentes. Isto porque necessitamos que uma roda vire mais bruscamente o veículo que a outra, descrevendo assim a trajetória das extremidades da elipse.

Tendo conseguido obter uma elipse tentamos adaptar os valores de maneira que dê o número mais elevado de elipses possíveis. Diminuindo ligeiramente o valor da média do sensor direito(roda esquerda) passamos de uma elipse para duas. Depois aumentamos ligeiramente a velocidade e o veículo direcionava-se mais para a direita tal como era necessário, passando de duas elipses para três. Tentamos adaptar com esses valores para aumentar o nº de elipses e não conseguimos.



### Mundo:

Para explorar algumas das capacidades dos veículos de Braitenberg, criamos um pequeno circuito com dois veículos. O circuito tem como finalidade verificar a capacidade do primeiro veículo percorrer o circuito usando as fontes de luz e o segundo apenas seguindo o primeiro veículo.

O primeiro veículo possui 4 sensores (2 sensores de luz ligados de forma cruzada as rodas e 2 sensores de objetos ligados diretamente à roda do seu respectivo lado) tendo esta capacidade para detectar tanto obstáculos como também objetos. Os sensores utilizados usam uma função de ativação linear, com limite inferior 1 e superior 10.

O segundo veículo apenas possui 2 sensores para detectar carros, sendo estes ligados diretamente às rodas do respectivo lado, e acompanhará o primeiro carro ao longo do circuito. Tal como no primeiro veículo os sensores utilizam uma função de ativação linear mas desta vez sem limiares ou limites aplicados/definidos.

O circuito apresenta locais onde o carro é colocado em situações onde é obrigado a contornar obstáculos, para isso foi necessário colocar fontes de luz em posições específicas e com diferentes tipos de range e intensidades.

As dificuldades encontradas foram definir o range das luzes de modo a que este contorna-se os obstáculos e a sua trajetória não afetasse o resto do percurso. Por outro lado, a escolha da intensidade foi determinante para realizar o trajeto, e depois de várias experiências realizadas verificou se que em espaços com em que o carro se encontra a maior distância dos obstáculos a intensidade pode ser maior mas em espaço mais curtos é necessário a fonte de luz não pode ter uma intensidade elevada, caso contrário a trajetória seria descontrolada. Com base no conhecimento adquirido foi possível então colocar os veículos a percorrer o circuito fazendo com que fontes de luz perto de curvas tivesse menos intensidade e como consequência o veículo deslocava-se com menor velocidade e a sua trajetória descrita com maior precisão, e nos locais com obstáculos mais distância uma velocidade maior.

Com este mundo é possível verificar algumas forças e fraquezas destes veículos, sendo uma das suas fraquezas percorrer caminhos mais estreitos embora em espaço menos obstruídos se comporte como pretendido.



Figura 2 - Novo mundo

**Notas finais:** Cada caso de teste está identificado com as cores vermelho, amarelo e verde que corresponde, respetivamente, a testes que não funcionam, testes incertos (ou funcionam mal ou umas vezes funcionam e outras não) e os testes onde se obtiveram os melhores resultados. É também importante referir que cada teste foi realizado no mínimo 3 vezes. No que toca às tabelas, se ambos os valores correspondentes aos limites ou aos limiares estiverem vazios, quer dizer que estavam desativados.

Para estes testes foram usadas sempre funções de ativação gaussianas, isto porque a linear, como retorna diretamente o output, pensamos que não iria ser muito útil para estes cenários.

A dificuldade deste projeto deve-se maioritariamente à obtenção de bons parâmetros para cada cenário, dada a quantidade imensa de possibilidades possíveis para testar.

Para finalizar, queremos dizer que este projeto deu-nos a possibilidade de adquirir mais conhecimento sobre os veículos de Braitenberg, os sensores e a sua manipulação, a importância da disposição dos objetos nos cenários e as funções de ativação. Para além disso, tivemos a oportunidade de aprofundar os conhecimentos sobre o Unity, uma vez que nenhum de nós tinha utilizado esta ferramenta antes desta cadeira.