

# Braitenberg Vehicles: Revisão e Aplicações

Klaus Raizer

**Resumo**—Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma série de veículos robóticos cujas trajetórias e comportamentos são definidas por relações simples de conexão entre detecção de estímulo e aparelho motor. Esses veículos foram inicialmente propostos por Valentino Braitenberg em seu livro *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology* em 1984 e desde então têm sido utilizados não só para o estudo da emergência de comportamentos complexos a partir de estruturas simples como também para a solução de determinados problemas de robótica. Os modelos básicos de veículos serão apresentados e simulados em ambiente virtual. Algumas aplicações reais serão apresentadas e os resultados serão comparados aos das simulações desenvolvidas.

**Index Terms**—Braitenberg, AI, vehicle control, autonomous agents

## 1 INTRODUÇÃO

VALENTINO Braitenberg é um cybernetista e neuroanatomista. Entre suas obras está uma essay de título; “Taxis, Kinesis and Decussation” de 1965. Táxis se refere ao movimento reflexo de um organismo em relação a uma fonte de estímulo; kinesis é um movimento que não possui orientação mas depende da intensidade do estímulo; e decussation é um feixe de fibras neurais que conectam um lado do corpo ao lado oposto do cérebro. Nesse trabalho ele sugeriu que o fenômeno de *decussation* observado em vertebrados existe pois é um método simples e eficaz de se obter comportamentos que garantam o movimento orientado de um animal com relação a uma fonte de estímulo. Esse trabalho deu origem ao livro de 1983 intitulado; “Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology” no qual ele descreve de maneira detalhada os comportamentos diversos que os veículos projetados com esse conceito podem apresentar.

- UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- E-mail: klaus@fem.unicamp.br

Gostaria de agradecer ao Professor Doutor Ricardo R. Gudwin pela orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho e também ao Departamento de Mecânica Computacional da faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp pela disponibilização dos recursos para o projeto.

## 1.1 Veículos de Braitenberg

Os Veículos de Braitenberg são uma série de experimentos mentais nos quais veículos cada vez mais complexos são construídos a partir de versões mais simples. Suas estruturas são relativamente simples, mas dão origem a comportamentos complexos que podem ser identificados como reações de **medo**, **valores**, **agressividade** e etc.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Ambiente de Simulação

Para as simulações do presente trabalho foi utilizado um ambiente de simulação em Matlab 7.1 (figura 1) devido à facilidade de implementação.

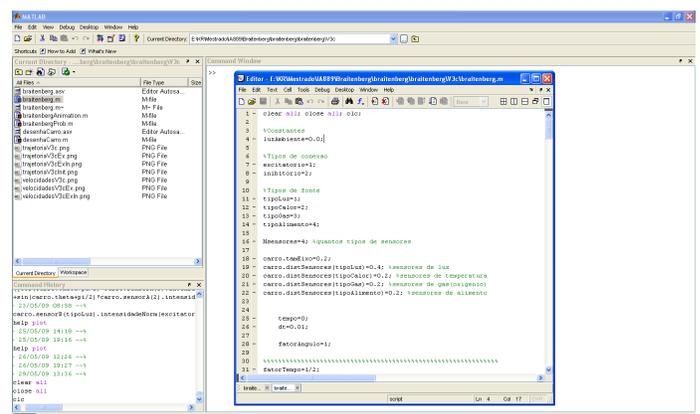


Figura 1. Ambiente de simulação: Matlab 7.1

Foi criado um sistema de referência - como pode ser visto na figura 2 - para representar o veículo em seu ambiente simulado e permitir a sua interação com as fontes de estímulo.

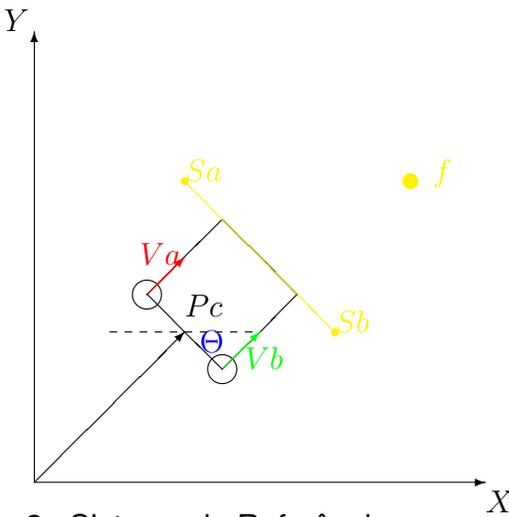


Figura 2. Sistema de Referência

### 2.1.1 Algoritmo simplificado

- 1) Cálculo da posições de cada componente do carro e das fontes de luz
- 2) Desenho do ambiente
- 3) Cálculo das intensidades medidas pelos sensores
- 4) Excitação/Inibição dos motores (cálculo das velocidades)
- 5) Cálculo da cinemática do sistema (novas posições e ângulos)
- 6) Retorno ao passo 1

## 2.2 Veículos e Simulações

### 2.2.1 Veículos tipo 1

O veículo 1 possui um sensor ligado a um motor, como na figura 3. Quanto maior for a intensidade medida pelo sensor, maior será a velocidade do motor que o sensor alimenta. Se o sensor for sensível a calor e houver uma fonte de calor por perto, o carro irá se movimentar tão rápido quanto mais perto o sensor estiver da fonte. Ele irá desacelerar quando estiver longe da fonte de calor, como pode ser visto na figura 4.

No mundo real, no entanto, há um número considerável de forças agindo sobre o veículo de maneiras diversas. O resultado é que seu



Figura 3. Estrutura do veículo tipo 1

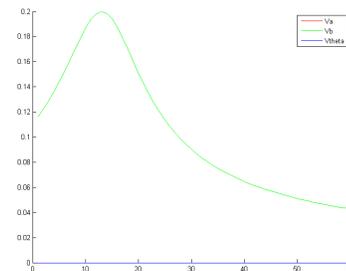
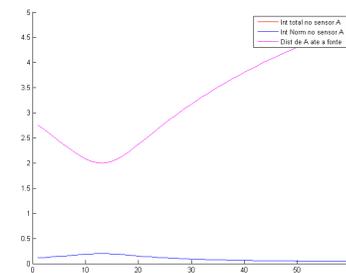
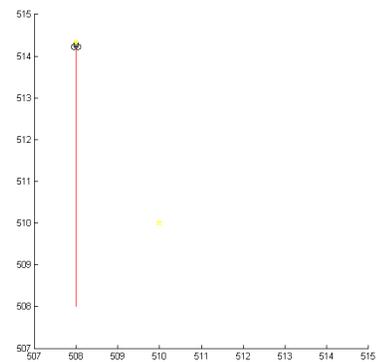


Figura 4. (a) Trajetória do veículo 1 para um caso ideal, (b) relação entre a distância da fonte e a intensidade medida, (c) velocidades.

movimento, ao invés de linear, passa a ser ligeiramente aleatório, tal qual um movimento-browniano, o que lhe permite alcançar regiões

diferentes das esperadas. Em um caso real a trajetória do veículo se aproximaria mais do visto na figura 5.

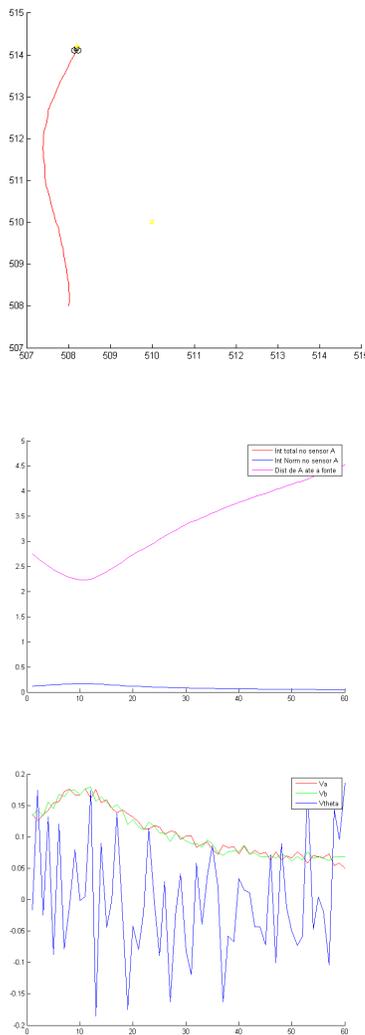


Figura 5. (a) Trajetória do veículo 1 para um caso mais próximo do real, (b) relação entre a distância da fonte e a intensidade medida, (c) velocidades.

Para um observador que não sabe do funcionamento interno desse veículo, o comportamento apresentado passa a idéia de que se trata de uma criatura **viva**, que não gosta de regiões muito quentes.

### 2.2.2 Veículos tipo 2

Os veículos do tipo dois possuem dois sensores e dois motores. Considerando o lado esquerdo do veículo como sendo o lado A e o direito

como sendo o B, é possível ligar o sensor B no motor B e o sensor A no motor A (V2a - ligação direta) ou o sensor B no motor A e o sensor A no motor B (V2b - ligação cruzada). É possível também ligar o sensor A nos motores A e B e o sensor B nos motores A e B, o que produziria o mesmo efeito de um veículo do tipo 1.

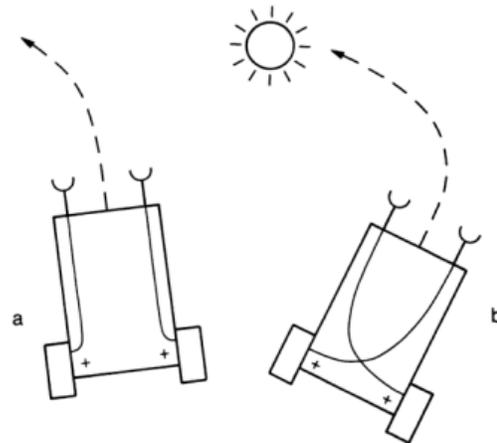


Figura 6. Veículos do tipo 2.

O efeito de V2a é que o veículo tende a acelerar sempre que se encontra perto de algo que ative seus sensores. Se existe uma diferença nas intensidades medidas, como no caso de o veículo estar inclinado mais para um lado, o motor do lado cujo sensor está mais próximo da fonte tende a acelerar mais que o do lado oposto. O resultado é que o veículo tende a se afastar da fonte. O resultado da simulação para o veículo v2a pode ser visto na figura 7. O funcionamento do veículo depende diretamente da diferença entre as intensidades medidas pelos dois sensores posicionados nas laterais do mesmo. Assim, é possível verificar que uma alteração da distância entre os sensores acaba produzindo uma alteração no comportamento do veículo. Para o caso v2a da figura 7 nota-se que há um aumento da sensibilidade do veículo quando se aumenta a distância entre os sensores.

Já o veículo V2b tem as suas ligações cruzadas. O sensor A alimenta o motor B e o sensor B alimenta o motor A. O resultado é que, no caso de o sensor A estar mais próximo da fonte que o sensor B, ocorre que o motor B trabalha mais que o A, fazendo com que o veículo se dirija

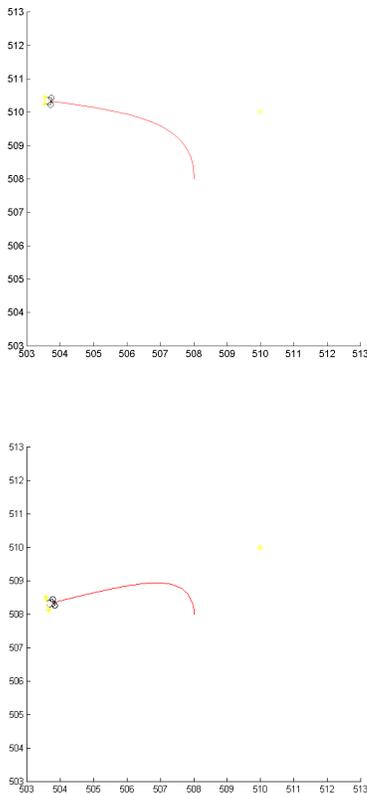


Figura 7. Distâncias entre sensores de 20 cm (a) e 40 cm (b) para v2a

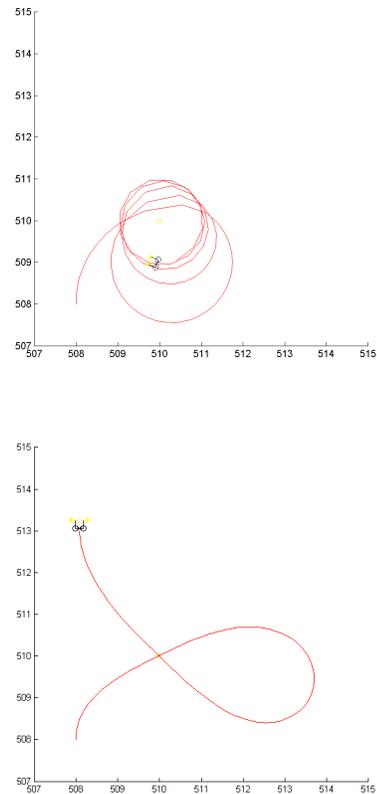


Figura 8. Distâncias entre sensores de 20 cm (a) e 40 cm (b) para v2b

em direção à fonte com velocidade cada vez maior, como pode ser visto na figura 8. Notar que a mudança na distância entre os sensores teve um impacto profundo no comportamento do veículo.

Caso a fonte em questão emitisse uma determinada intensidade luminosa, poder-se-ia dizer que ambos os veículos **não gostam de fontes** de luz, sendo que o v2a é do tipo **covarde** que foge das fontes, enquanto que o v2b é **agressivo**, e tenta destruir as fontes de luz com violência.

### 2.2.3 Veículos tipo 3

Uma solução para o temperamento ruim dos veículos V2 seria introduzir uma relação de **inibição** entre os sensores e os motores, como na figura 9.

$$V \equiv K_v \bullet (1 - I)$$

Assim, quando os sensores fossem excitados haveria uma redução da velocidade dos moto-

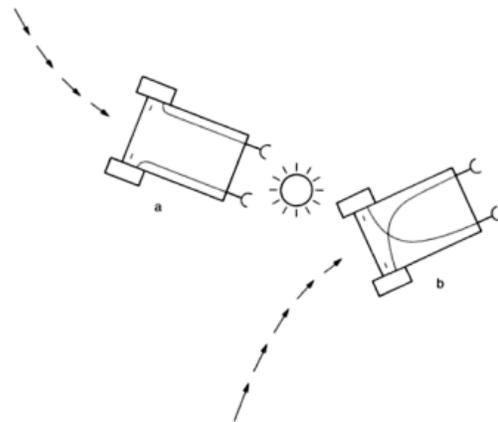


Figura 9. Veículos do tipo 3.

res. Neste cenário, os veículos terão a tendência de se manterem perto das fontes.

Outro fenômeno importante é que há uma inversão nos comportamentos dos dois tipos possíveis de veículos. Neste caso, o de ligações diretas se aproxima da fonte de luz e lá perma-

nece para sempre, como se o mesmo estivesse **apaixonado** pela fonte, como se verifica na figura 10. Enquanto que o de ligações cruzadas tende a se manter um tempo perto da fonte mas eventualmente se afasta da mesma, o que caracteriza um comportamento **exploratório** como o observado na figura 11.

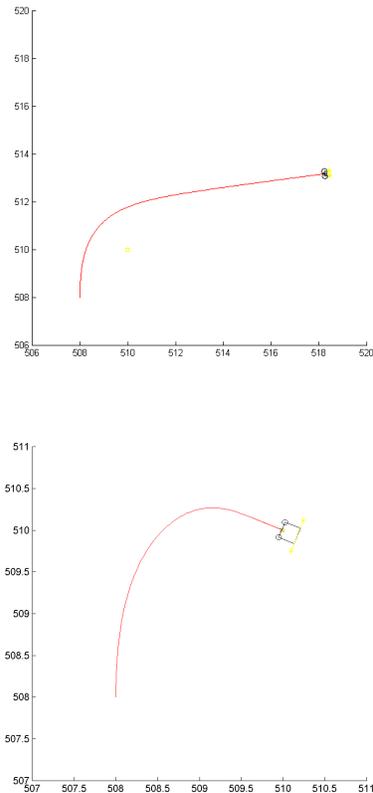


Figura 10. Distâncias entre sensores de 20 cm (a) e 40 cm (b) para v3a

#### 2.2.4 Veículos tipo 3c

O veículo do tipo 3 c é mais complexo do que os anteriores pois possui muitas de suas características combinadas.

Ao invés de apenas um tipo de sensor ele tem quatro; um par para cada tipo de fonte a ser detectada. Em sua obra, Braitenberg sugere um sensor de luz outro de fonte de calor, um para material orgânico (ou fonte de alimento) e um último para detectar a concentração de um gás, como o oxigênio, no ambiente.

A ligação pode ser vista na figura 12. O resultado é um veículo que não gosta de temperaturas muito altas ou fontes de luz, mas gosta

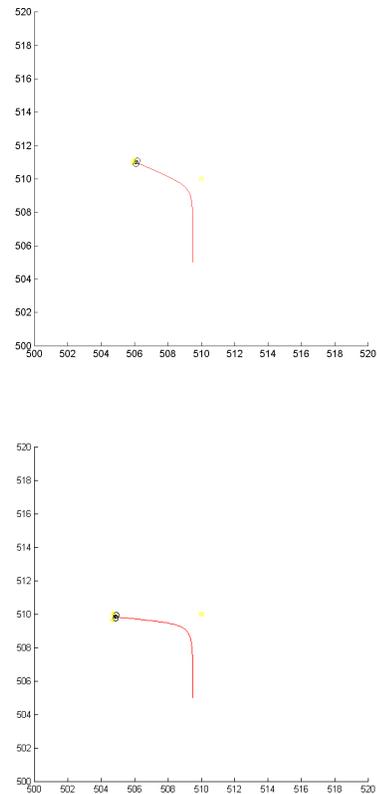


Figura 11. Distâncias entre sensores de 20 cm (a) e 40 cm (b) para v3b

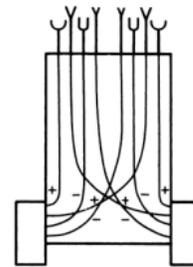


Figura 12. Veículos v3c

de locais com alta concentração de oxigênio e quantidade de alimento.

Essa série de comportamentos distintos com relação a diferentes fontes de estímulos é interpretada por Braitenberg como uma demonstração de **valores** por parte da criatura. O resultado da simulação com esse tipo de veículo pode ser verificado na figura 13, simulação na qual o comportamento da criatura/veículo se assemelha ao descrito anterior-

mente.

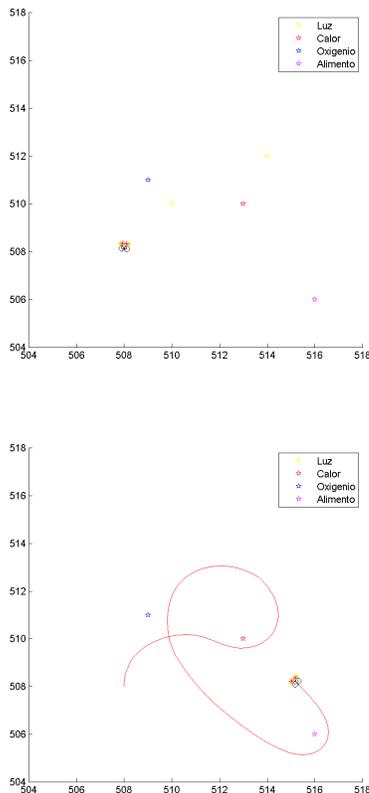


Figura 13. (a) Ambiente inicial para o veículo 3c e (b) a trajetória percorrida pelo mesmo

### 3 APLICAÇÕES

Além de servir como base para uma melhor compreensão da estrutura neurológica dos vertebrados, há várias aplicações para os veículos de Braitenberg que podem ser encontradas na literatura. Um trabalho interessante na área de robótica educacional foi feito por David W. Hogg, em seu artigo: *Braitenberg Creatures*, de 1991. Nesse trabalho, Hogg descreve a implementação de 12 criaturas autônomas (na realidade variações dos três primeiros tipos de veículos descritos no livro de Braitenberg) construídas com Electronic Bricks da LEGO. Outro trabalho interessante pode ser visto no artigo *Reaching beyond the midline: why are human brains cross wired?* [6] de Vulliemoz. Neste trabalho realiza-se estudos de emergência de comportamentos complexos a partir de estruturas simples. Uma aplicação direta interessante

do princípio de funcionamento dos veículos de Braitenberg pode ser vista no trabalho *Experimental Analysis of Gas-Sensitive Braitenberg Vehicles* [5] por Lilienthal, que utiliza robôs capazes de detectar concentrações de um determinado gás e localizar a sua fonte.

#### 3.1 Gas-Sensitive Braitenberg Vehicles

O trabalho de Lilienthal fornece um exemplo interessante da aplicação direta dos princípios de funcionamento dos veículos de Braitenberg para a solução de um problema real específico. Em seu artigo, o problema de se localizar uma fonte estática de gás é solucionado utilizando-se um robô detector como o ilustrado pela figura 14.

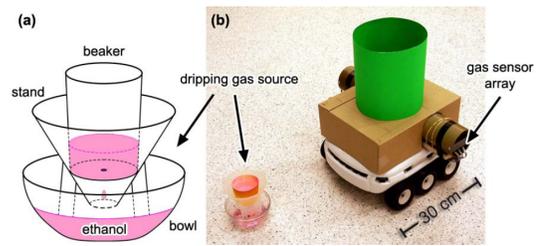


Figura 14. Robô detector de gás e fonte de gás.

O ambiente de estudo é uma sala, com a fonte de gás posicionada em seu centro, como pode ser visto na figura 15. Uma dificuldade particular deste tipo de problema é o fato de que a distribuição do gás não varia de maneira uniforme ao longo da sala a partir da fonte. Isso ocorre devido ao fato de que o mecanismo principal de transporte das moléculas de gás é muito mais influenciado por turbulência e convecção do que pela difusão do gás. A posição do robô é adquirida a partir de um sistema de visão computacional alimentado por quatro câmeras posicionadas nos quatro cantos superiores da sala.

Para solucionar o problema de detecção da fonte de gás foi utilizado o veículo do tipo 3a, que é capaz de se direcionar para a área na qual há maior intensidade de estímulo e permanecer por lá. Também é possível aplicar uma estratégia de localização indireta fazendo uso do veículo tipo 3b. Assim, é possível certificar-se que de fato não há uma fonte de concentração

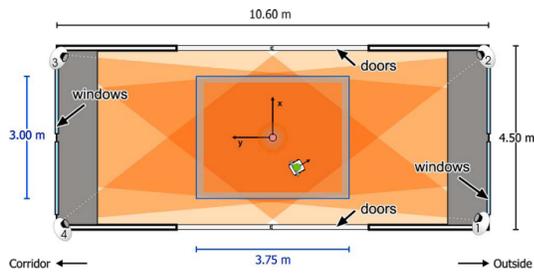


Figura 15. Ambiente de trabalho do robô detector de gás. A fonte de gás está localizada no centro da sala.

de gás maior do que a encontrada em algum local do ambiente.

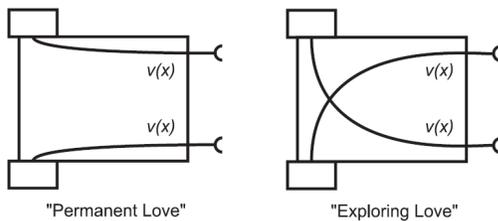


Figura 16. Modelos utilizados para solucionar o problema de detecção de gás.

A parte superior esquerda da figura 17 mostra os resultados obtidos por Lilienthal na tarefa de localizar a fonte de gás de maneira direta. A parte superior direita mostra um mapa da concentração do gás no ambiente de estudo. A parte inferior mostra o resultado obtido com a simulação feita com o programa desenvolvido no presente trabalho. Verificar que os resultados são bastante similares.

A figura 18 mostra a aplicação do veículo tipo 3b, notar como o termo *explorador* se aplica bem ao comportamento do veículo pois ele acaba realizando um mapeamento das concentrações em diversos pontos do ambiente. A parte inferior da figura mostra a simulação feita no presente trabalho e seu resultado foi coerente com o relatado pelo artigo.

## 4 CONCLUSÕES

Embora as estruturas internas dos veículos de Braitenberg sejam extremamente simples, são capazes de gerar comportamentos complexos

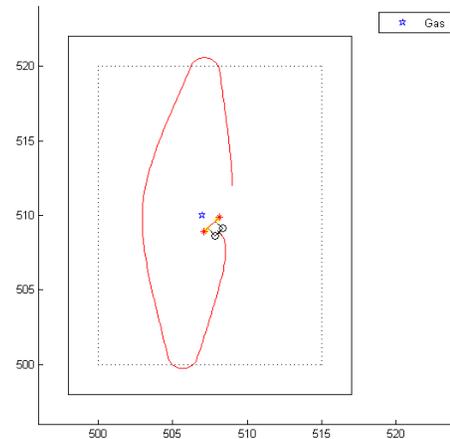
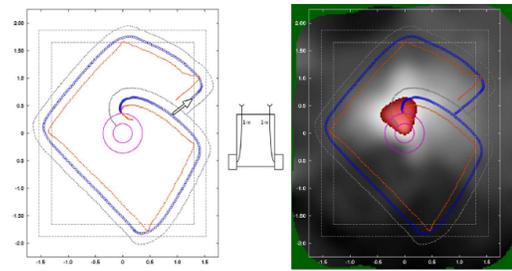


Figura 17. (a) Alguns resultados obtidos no trabalho de Lilienthal e (b) uma simulação com o presente trabalho para a detecção da fonte de gás.

que podem ser utilizados para a solução de problemas no mundo real.

Como visto nas simulações, a implementação desses veículos em um ambiente virtual não apresenta maiores dificuldades, o que gera a possibilidade de se utilizar tal ambiente como um laboratório para o desenvolvimento de veículos ainda mais complexos. Visando aplicações futuras, seria relevante desenvolver uma interface gráfica que facilite a interação do usuário com o programa. Outro projeto interessante seria implementar os outros veículos além do terceiro visto neste trabalho. Coisa que, considerando o atual conhecimento que se tem sobre a produção nessa área, ainda não foi feita.

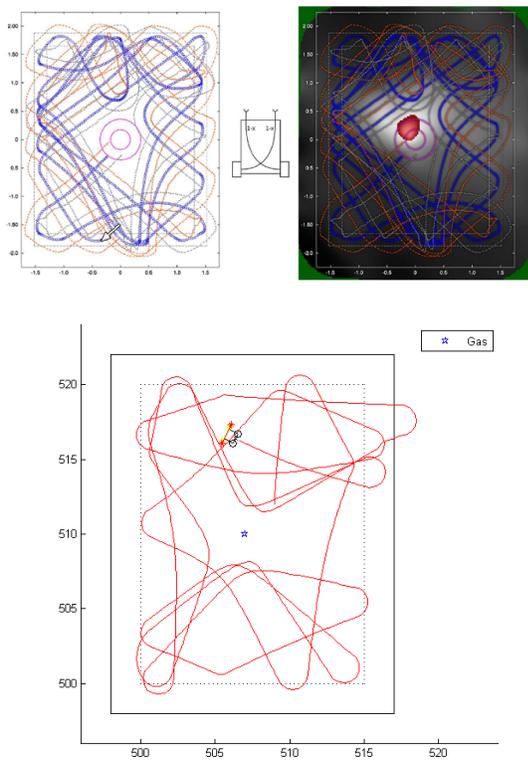


Figura 18. (a) Alguns resultados obtidos no trabalho de Lilienthal e (b) uma simulação com o presente trabalho para mapeamento do ambiente.

## REFERÊNCIAS

- [1] Lambrinos, D.; Scheier, C.; *Extended Braitenberg Architectures*, AILab Technical Report No. 95-10, University of Zurich, Switzerland. F. Fogelman-Soulié, J-L. Rault, P. Galinari and G. Dreyfus (Eds.) Paris: EC2 and Cie.1995
- [2] French, R.L.B.; Canamero, L.; *Introducing Neuromodulation to a Braitenberg Vehicle*, Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on , vol., no., pp. 4188-4193, 18-22 April 2005
- [3] Hogg, D.W.; Martin, F.; Mitchel Resnick, M.; *Braitenberg creatures* Technical memo, MIT Media Laboratory, Cambridge, Massachusetts, 1991.
- [4] Braitenberg, V.; *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology* The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1984.
- [5] Lilienthal, A.; Duckett, T.; *Experimental Analysis of Gas-Sensitive Braitenberg Vehicles*, RSJ Journal of Advanced Robotics, in press. 2004
- [6] Vulliemoz, S.; Raineteau, O.; Jabaudon, D.; *Reaching beyond the midline: why are human brains cross wired?*, The Lancet Neurology, New Jersey, 2005