

# CONTROLE DE ROBÔS MÓVEIS PARA NAVEGAÇÃO EM FORMAÇÃO LINEAR USANDO UM SENSOR DE VARREDURA LASER

A. S. BRANDÃO\*, J. L. TORRES†, M. SARCIANELLI FILHO\*, R. CARELLI†, T. F. BASTOS FILHO\*

\*UFES - Universidade Federal do Espírito Santo  
DEL - Departamento de Engenharia Elétrica  
Vitória, Espírito Santo, Brasil

†UNSJ - Universidad Nacional de San Juan  
INAUT - Instituto de Automática  
San Juan, Argentina

Emails: [abrandao@ele.ufes.br](mailto:abrandao@ele.ufes.br), [jtorres@inaut.unsj.edu.ar](mailto:jtorres@inaut.unsj.edu.ar), [mario.sarcinelli@ele.ufes.br](mailto:mario.sarcinelli@ele.ufes.br),  
[rcarelli@inaut.unsj.edu.ar](mailto:rcarelli@inaut.unsj.edu.ar), [tfbastos@ele.ufes.br](mailto:tfbastos@ele.ufes.br)

**Abstract**— This work presents an alternative for using a laser scanner to perform tasks like the relative positioning of two mobile robots, allowing obtaining a final formation. It is presented a strategy for the localization of the leader of the formation through the information got by the laser scanner, which is mounted in the follower robot. The paper includes an analysis of the stability of the decentralized control system proposed to establish the desired formation, as well as experimental results that show the good performance of the system and the asymptotic convergence of the formation variables to the desired values.

**Keywords**— Mobile robots, Laser scanner, Cooperation.

**Resumo**— Este trabalho apresenta uma alternativa de utilização de um sensor de varredura laser para realizar tarefas de posicionamento entre dois robôs móveis possibilitando uma formação final. É apresentada uma estratégia de localização do robô mestre da formação usando as medidas obtidas do sensor laser montado no robô seguidor. Este trabalho inclui a análise de estabilidade do sistema de controle descentralizado proposto e resultados de experimentos que demonstram o bom desempenho do sistema, bem como a convergência assintótica das variáveis da formação para os valores desejados.

**Palavras-chave**— Robôs móveis, Sensor de varredura laser, Cooperação

## 1 Introdução

Determinadas tarefas realizadas por robôs são, às vezes, impossíveis de serem executadas por um único robô, ou mesmo a realização desta por um robô especialista se torna inviável devido ao custo de aquisição. Situações como estas motivam a busca por alternativas de controle coordenado de um grupo de robôs, visando a execução de uma tarefa de modo mais simples, mais eficiente e mais viável economicamente (Gava *et al.*, 2006). Exemplos de tarefas realizadas por cooperação de robôs são a operação de busca e resgate, transporte de cargas, mapeamento de áreas, etc.

As estratégias de controle de um grupo de robôs podem ser classificadas como centralizadas ou descentralizadas (Carelli *et al.*, 2006). Na situação de um controle centralizado, todas as informações da formação são supervisionadas por uma unidade de processamento central, que determina as ações de controle de todos os robôs que constituem o grupo. Em um controle descentralizado, não existe uma unidade que centralize toda a informação durante a navegação. Cada robô tem seus próprios sensores destinados a informar sobre o espaço de trabalho, e, mediante estas informações, deve computar as ações de controle necessárias para levá-lo à posição desejada, relativa aos outros robôs da formação. Os enfoques de controle de formação já apresentados na literatura envol-

vem seguimento de um mestre (líder), métodos de comportamento e técnicas de estruturas virtuais (Lawton *et al.*, 2003).

Em (Gava *et al.*, 2006) e (de la Cruz *et al.*, 2006), é proposta uma estratégia de cooperação centralizada baseada em um sistema de visão omnidirecional, onde o líder é responsável pela navegação e coordenação das tarefas. Em (Desai *et al.*, 1998), é formulado e simulado um problema de controle descentralizado para coordenação de um grupo de robôs em formação com planejamento de movimento do robô líder. Os demais robôs, conhecendo as posições relativas atuais na formação computam as ações de controle requeridas, através de seus próprios controladores. Em (Carelli *et al.*, 2005), a tarefa de seguimento de líder é realizada por meio de um sistema de visão artificial com uma câmera perspectiva, com a qual o robô seguidor obtém as informações de posição e orientação do robô líder. Em (Rekleitis *et al.*, 2002), um sensor de varredura laser montado em um robô que permanece parado é utilizado para estimar a posição relativa de um robô em movimento, a fim de compensar a deficiência da odometria deste último, durante a navegação.

Este trabalho tem como objetivo lograr o estacionamento de um robô seguidor em relação a um robô mestre, utilizando um sensor de varredura laser. Para isto se propõe uma estratégia de

sensoriamento e uma lei de controle apropriada. O robô seguidor determina a postura relativa do robô mestre utilizando um padrão montado neste último. Ambos os robôs são do tipo uniciclo de tração diferencial, cujo modelo cinemático é representado por

$$\{\dot{x} = \nu \cos \varphi, \quad \dot{y} = \nu \sin \varphi, \quad \dot{\varphi} = \omega\}, \quad (1)$$

onde  $x$  e  $y$  são as coordenadas do ponto localizado no centro do eixo que une as rodas do robô e  $\varphi$  é a orientação do veículo em relação à coordenada  $x$ . Por sua vez,  $\nu$  e  $\omega$  são, respectivamente, as velocidades linear e angular do robô, e representam as ações de controle.

## 2 Estratégia de Sensoriamento

A Fig. 1 apresenta o esquema contendo as variáveis de formação  $[\rho \ \beta \ \theta]^T$  entre o robô mestre e o seguidor, as quais devem ser obtidas através das medições do sensor de varredura laser.

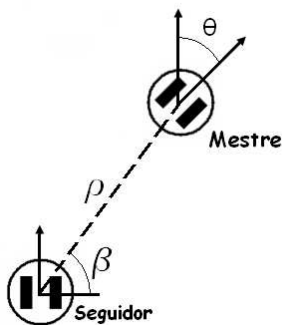


Figura 1: Variáveis de formação.

O padrão eleito para colocar sobre o robô mestre e, portanto, para sua identificação, foi um semicilindro de diâmetro igual a 220mm (Fig. 2). O objetivo é obter uma relação entre as medidas do sensor e a postura do robô mestre. As Fig. 2,3 e 4 ilustram algumas das situações nas quais o padrão pode se encontrar, em relação ao robô seguidor, o qual é provido do sensor laser. Os referenciais do robô mestre e do seguidor são representados na Fig. 2 por  $\langle M \rangle$  e  $\langle S \rangle$ , respectivamente.

Na Fig. 3 são apresentadas as variáveis  $\theta$  e  $\gamma_2$ , que são, respectivamente, o erro de orientação entre o seguidor e o mestre e o ângulo de rotação aparente do padrão, medido em relação ao referencial do seguidor. O valor de  $\gamma_2$  pode ser obtido segundo

$$\tan \gamma_2 = \frac{\rho_1 \sin \beta_1 - \rho_2 \sin \beta_2}{\rho_1 \cos \beta_1 - \rho_2 \cos \beta_2} \quad (2)$$

Na Fig. 4 se define o padrão virtual que tem um comprimento menor ou igual ao do padrão real que está sobre o mestre, o qual é caracterizado por

$$p_v^2 = \rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2 \cos \beta_*, \quad (3)$$

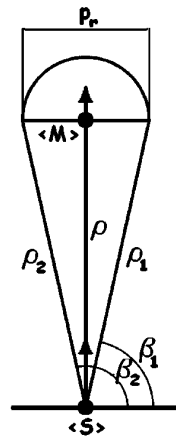


Figura 2: Padrão do mestre.

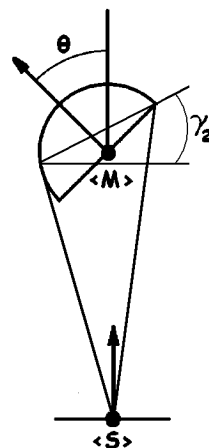


Figura 3: Definição do padrão virtual e sua relação com o padrão real.

onde  $\beta_* = \beta_2 - \beta_1$ . Tendo conhecimento de que  $p_r$  é a dimensão do padrão real e  $p_v$  é a dimensão do padrão virtual, a relação que há entre estas dimensões é dada por

$$\cos \gamma_1 = \frac{p_v}{p_r} \quad (4)$$

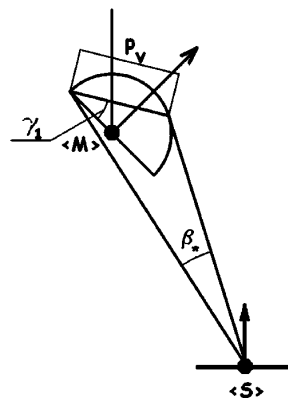


Figura 4: Padrão do mestre rotacionado e definição do erro de orientação.

Agora, conhecendo  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$ , é possível obter o erro de orientação entre os robôs, que é

$$\theta = \text{sgn}(\gamma_2)(\gamma_1 + |\gamma_2|). \quad (5)$$

O ângulo entre o plano de referência do robô seguidor  $\langle S \rangle$  e o mestre é definido por  $\beta$ , o qual pode ser obtido segundo a Fig. 5, sendo, portanto,

$$\beta = 90^\circ + \alpha_s, \quad (6)$$

onde  $\alpha_s = \theta_s - \varphi_s$ , com  $\varphi_s$  sendo a orientação do seguidor em relação ao referencial inercial  $\langle g \rangle$  e  $\theta_s$  a orientação entre este referencial e o vetor distância  $\rho$  que une ambos os robôs.

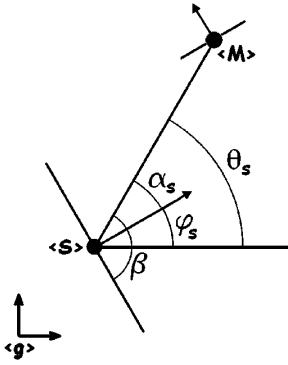


Figura 5: Busca do valor de  $\beta$

Uma vez obtidas as duas primeiras variáveis de formação, é possível obter  $\rho$ , através de

$$\rho^2 = \begin{cases} \rho_2^2 + \frac{p_r^2}{4}, & \text{se } \beta_1 < 90^\circ, \beta_2 \leq 90^\circ \text{ e } |\theta| < 90^\circ - \beta \\ \rho_1^2 + \frac{p_r^2}{4}, & \text{se } \beta_1 < 90^\circ, \beta_2 \leq 90^\circ \text{ e } |\theta| \geq 90^\circ - \beta \\ \rho_1^2 + \frac{p_r^2}{4}, & \text{se } \beta_1 \geq 90^\circ, \beta_2 > 90^\circ \text{ e } |\theta| < 90^\circ - \beta \\ \rho_2^2 + \frac{p_r^2}{4}, & \text{se } \beta_1 \geq 90^\circ, \beta_2 > 90^\circ \text{ e } |\theta| \geq 90^\circ - \beta \\ \rho_1 \cos \beta_1 - \frac{p_r}{2}^2 + \rho_1^2 \sin^2 \beta_1, & \text{se } \beta_1 < 90^\circ, \beta_2 > 90^\circ \text{ e } \theta = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Por outro lado, para conhecer  $\beta$  e  $\theta$ , é essencial conhecer os valores de  $\varphi_s$  e  $\theta_s$ , que são provenientes da odometria do robô seguidor, e esta não é confiável devido à acumulação de erros que ocorre enquanto o robô navega. Portanto, se propõe um modelo mais simples para determinação de  $\beta$ , dado por

$$\beta \approx \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}. \quad (8)$$

Um eventual erro nas medidas do sensor laser pode comprometer o cálculo do padrão virtual, pois há uma grande diferença entre seu comprimento e a distância entre os robôs, e, além disso,

as medidas do sensor não são feitas de forma contínua. Então, se considera a seguinte aproximação

$$\theta \approx \gamma_2. \quad (9)$$

Com os valores de  $\theta$  e  $\beta$ , é possível obter  $\rho$  por meio da Eq. 7.

### 3 Controle Descentralizado de Formação

Nesta seção se propõe as equações de estado que envolvem as variáveis de formação obtidas segundo o desenvolvimento apresentado na Seção 2. A Fig. 6 ilustra novamente estas variáveis, e dela se observa imediatamente que

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \beta \\ y &= \rho \sin \beta \end{aligned} \quad (10)$$

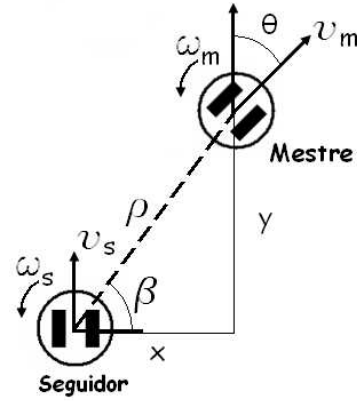


Figura 6: Variáveis de controle de formação.

Observando a Fig. 6, pode-se obter a relação entre as variáveis de formação e as velocidades linear e angular dos robôs, tomando como base o eixo de referência do seguidor, ou seja,

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -v_m \sin \theta + \rho \omega_s \sin \beta \\ \dot{y} &= v_m \cos \theta - v_s - \rho \omega_s \cos \beta \end{aligned} \quad (11)$$

Por meio da Eq. 10, tem-se que

$$\rho^2 = x^2 + y^2. \quad (12)$$

Tomando a derivada temporal da Eq. 12 e substituindo as relações apresentadas nas Eq. 10 e 11, tem-se

$$\begin{aligned} \rho \dot{\rho} &= x \dot{x} + y \dot{y} \\ \dot{\rho} &= \cos \beta (-v_m \sin \theta + \rho \omega_s \sin \beta) + \\ &\quad + \sin \beta (v_m \cos \theta - v_s - \rho \omega_s \cos \beta) \\ \dot{\rho} &= v_m \sin (\beta - \theta) - v_s \sin (\beta). \end{aligned} \quad (13)$$

Agora, baseado na Fig. 6 e na Eq. 10, obtém-se

$$\tan \beta = \frac{y}{x}, \quad (14)$$

e a derivada temporal, substituindo a Eq. 11, é

$$\begin{aligned}\dot{\beta} &= \frac{\dot{y}x - y\dot{x}}{x^2 \sec^2 \beta} \\ \dot{\beta} &= \frac{1}{\rho} [\nu_m \cos \beta \cos \theta + \nu_m \sin \beta \sin \theta - \nu_s \cos \beta] + \\ &\quad -\omega_s \\ \dot{\beta} &= \frac{1}{\rho} [\nu_m \cos(\beta - \theta) - \nu_s \cos \beta] - \omega_s.\end{aligned}\quad (15)$$

Como a variação de  $\theta$  depende somente da diferença entre as velocidades angulares dos dois robôs da formação, tem-se que

$$\dot{\theta} = \omega_m - \omega_s. \quad (16)$$

O sistema de equações do robô seguidor em função das variáveis de formação é representado por

$$\begin{cases} \dot{\rho} = \nu_m \sin(\beta - \theta) - \nu_s \sin \beta \\ \dot{\beta} = \frac{1}{\rho} [\nu_m \cos(\beta - \theta) - \nu_s \cos \beta] - \omega_s \\ \dot{\theta} = \omega_m - \omega_s. \end{cases} \quad (17)$$

Para o controle de formação deve-se garantir que  $\rho \rightarrow \rho_d$  e  $\beta \rightarrow \beta_d$ , para  $t \rightarrow \infty$ , e, além disso, que  $\theta$  seja limitado.

#### 4 Projeto de Controlador por Cinemática Inversa

Antes de desenvolver o problema de controle, são definidas as variáveis de estado do sistema, que são

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \rho \\ \beta \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Fazendo agora uma proposta de controle baseada na cinemática inversa para o problema de controle de formação apresentado, deve-se colocar as equações de estado segundo a forma

$$\dot{\mathbf{x}} = g(\mathbf{x})\mathbf{u} + h(\mathbf{x}) \quad (19)$$

que usando a Eq. 17, resulta em

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{\rho} \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\sin \beta & 0 \\ -\frac{\cos \beta}{\rho} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nu_s \\ \omega_s \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} \nu_m \sin(\beta - \theta) \\ \frac{\nu_m \cos(\beta - \theta)}{\rho} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (20)$$

Observando 20, pode-se verificar que  $g(\mathbf{x})$  possui inversa caso a condição  $\sin \beta \neq 0$  seja satisfeita. Este é, portanto, um ponto singular deste controlador. Por outro lado, caso esta condição seja satisfeita, torna-se possível propor a seguinte lei de controle

$$\mathbf{u} = g^{-1}(\mathbf{x})(\dot{\mathbf{x}}_d + \mathbf{K}f(\tilde{\mathbf{x}}) - h(\mathbf{x})), \quad (21)$$

onde  $\mathbf{K}$  é uma matriz de ganhos.

Portanto, em malha fechada tem-se

$$g^{-1}(\mathbf{x})(\dot{\mathbf{x}}_d + \mathbf{K}f(\tilde{\mathbf{x}}) - h(\mathbf{x})) = g^{-1}(\mathbf{x})(\dot{\mathbf{x}} - h(\mathbf{x})), \quad (22)$$

e, finalmente, que

$$\dot{\tilde{\mathbf{x}}} + \mathbf{K}f(\tilde{\mathbf{x}}) = 0. \quad (23)$$

Para provar a estabilidade do sistema se propõe uma função candidata de Lyapunov dada por

$$V(\tilde{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2} \tilde{\mathbf{x}}^T \tilde{\mathbf{x}}, \quad (24)$$

cujas derivada temporal, substituindo Eq. 23, é dada por

$$\begin{aligned} \dot{V}(\tilde{\mathbf{x}}) &= \tilde{\mathbf{x}}^T \dot{\tilde{\mathbf{x}}} \\ &= -\tilde{\mathbf{x}}^T \mathbf{K}f(\tilde{\mathbf{x}}). \end{aligned} \quad (25)$$

Assumindo que

$$f(\tilde{\mathbf{x}}) = \begin{bmatrix} \tanh \tilde{\rho} \\ \tanh \tilde{\beta} \end{bmatrix} \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_2 \end{bmatrix}, \quad (26)$$

onde  $k_i > 0$ , pode-se garantir que

$$\dot{V}(\tilde{\mathbf{x}}) = -\tilde{\mathbf{x}}^T \mathbf{K}f(\tilde{\mathbf{x}}) < 0, \quad (27)$$

ou seja,  $\dot{V} < 0$  ( $\dot{V}$  é definida negativa), e, portanto,  $\tilde{\mathbf{x}} \in L_\infty^n$ , limitado, e é possível provar também que  $\tilde{\mathbf{x}} \in L_2^n$ . Por fim, tem-se que  $\tilde{\mathbf{x}} \rightarrow 0$  para  $t \rightarrow \infty$ .

A ação de controle  $\mathbf{u}$  tomada para este sistema é dada por

$$\begin{aligned} \nu_s &= \frac{1}{\sin \beta} [\nu_m \sin(\beta - \theta) - k_1 \tanh \tilde{\rho}] \\ \omega_s &= \frac{\cos \beta}{\rho \sin \beta} [k_1 \tanh \tilde{\rho} - \nu_m \sin(\beta - \theta)] + \\ &\quad + \frac{\nu_m \cos(\beta - \theta)}{\rho} - k_2 \tanh \tilde{\beta}. \end{aligned} \quad (28)$$

#### Notas:

1. Há uma condição singular no controlador proposto em  $\beta = n\pi$ , para  $n \in \mathbb{N}$ . Em situação experimental, isto equivale a dizer que o robô seguidor não pode se encontrar exatamente ao lado do robô mestre. Podendo indiretamente ser considerada uma condição necessária para a localização do padrão, afinal, para definir as variáveis de formação,  $\beta_1, \beta_2 \in (0, \pi)$ , deve-se garantir que o padrão esteja dentro do alcance das medidas do sensor laser.
2. Para que ocorra uma mudança na variável  $\theta$ , um dos robôs da formação deve girar (observar Fig. 1). Ao girar o robô seguidor, irá ocorrer uma modificação na variável  $\beta$ . Porém, sabe-se que em estado estacionário

$\beta \rightarrow \beta_d$ . Portanto,  $\theta$  não modificará por meio desta variável de formação, pois isto significaria retirar a formação da condição de equilíbrio. Por sua vez, uma rotação do mestre poderia provocar uma variação de  $\theta$ . Porém, não é o que ocorre neste trabalho, pois o mestre de encontra estático. Logo, pode-se garantir que  $\theta$  será limitado no equilíbrio, ou seja,  $\theta \in L_\infty^n$ .

3. As ações de controle propostas em 28 podem ser utilizadas para realização de tarefas de seguimento. Neste caso a velocidade linear do mestre deveria ser estimada. Neste trabalho se considera o problema de posicionamento, no qual  $v_m = 0$ .

## 5 Experimentos e Discussões

O experimento descrito nesta seção foi realizado com dois robôs móveis tipo uniclo, um Pioneer 2DX e um Pioneer 3DX (seguidor). O objetivo é que o robô seguidor busque uma dada postura para compor a formação conforme ilustrado nas Figs. 7 e 8. O robô mestre que tem o padrão montado sobre si (Fig. 7), neste trabalho se mantém estático em relação ao referencial global. O robô seguidor tem montado sobre si o sensor laser.



Figura 7: Experimentos: posicionamento do robô seguidor em relação ao mestre.

Na Fig. 8 é possível verificar a trajetória do robô seguidor para lograr a postura desejada, que é  $\rho = 600\text{mm}$  e  $\beta = 90^\circ$ . No experimento, o robô mestre está situado na posição  $(0\text{mm}, 0\text{mm})$ , com uma orientação de  $-35^\circ$  em relação ao eixo  $x$ , como se observa na Fig. 8. Por sua vez, o robô seguidor está localizado nas coordenadas  $(-1500\text{mm}, 1200\text{mm})$ , com uma orientação nula em relação ao eixo  $x$ . O robô é plotado a cada intervalo de 5 segundos e, como é possível verificar, o sistema é estável para situações nas quais o robô mestre se encontra em repouso, pois o robô seguidor também permanece em repouso mantendo a formação. Observando agora a Fig. 9, constata-se que após transcorridos 25 segundos os robôs

já apresentavam a formação desejada e, conforme previsto, as variáveis  $\rho$  e  $\beta$  tenderam assintoticamente aos valores desejados, segundo o projeto por cinemática inversa, baseado na estabilidade assintótica de Lyapunov do sistema de controle descentralizado de formação. Observa-se, também, que a variável  $\theta$  convergiu assintoticamente a um valor constante para  $t \rightarrow \infty$ .

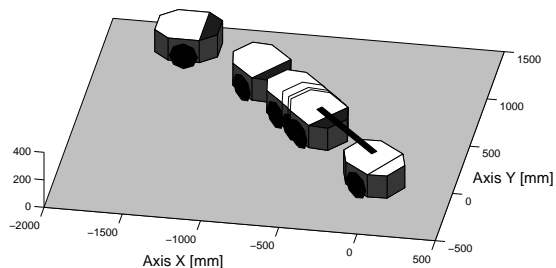


Figura 8: Caminho percorrido pelo robô móvel para obter a postura definida pela formação.

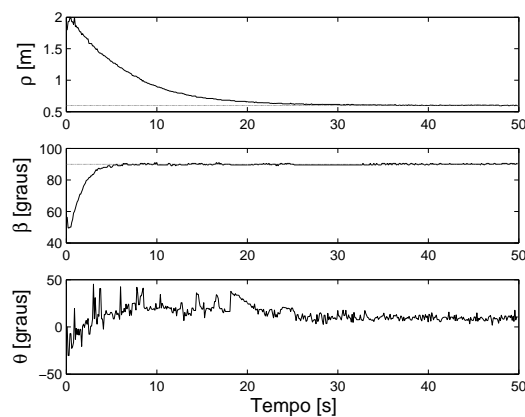


Figura 9: Evolução das variáveis de estado.

As ações de controle do robô seguidor são geradas através da Eq. 28, a partir das variáveis de formação, descritas na Seção 2 e calculadas pelas Eq. 7, 8 e 9. Estas ações durante a tarefa de posicionamento estão ilustradas na Fig. 10.

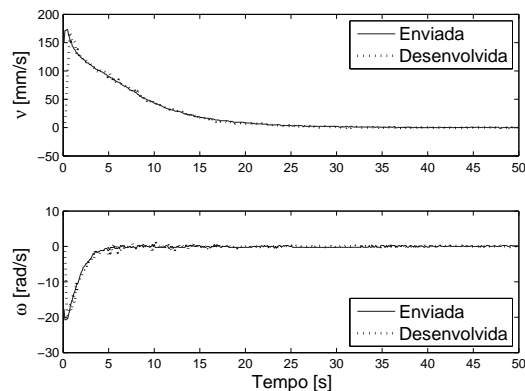


Figura 10: Ações de controle enviadas e desenvolvidas pelo robô móvel durante a execução da tarefa de estacionamento.

Foram realizadas simulações com o robô mestre em movimento, a fim de validar as ações de controle propostas. A Fig. 11(a) apresenta o robô mestre executando uma trajetória em forma de 8 e o robô seguidor, que em estado estacionário estabelece a formação linear com  $\rho_d = 600mm$  e  $\beta_d = 120^\circ$ . A Fig. 11(b) ilustra a situação de uma formação com múltiplos robôs, supondo, que os robôs seguidores possuem um sistema sensorial adequado. Neste caso, o primeiro seguidor busca em estado estacionário,  $\rho_d = 600mm$  e  $\beta_d = 60^\circ$ , em relação ao robô mestre, e o segundo seguidor visa  $\rho_d = 600mm$  e  $\beta_d = 60^\circ$ , em relação ao primeiro seguidor.

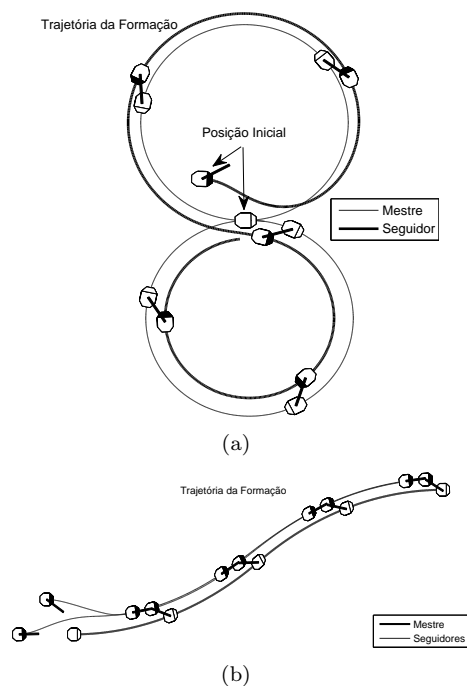


Figura 11: Simulações da formação em movimento (a) Mestre e seguidor percorrendo um caminho em forma de 8 (b) Mestre e dois seguidores realizando um controle coordenado de formação.

## 6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Através do controlador proposto neste trabalho é possível obter a convergência assintótica das variáveis de formação para os valores desejados, a fim de obter uma postura fixa entre os robôs mestre e seguidor, que constituem a formação. Foi provada, teórica e experimentalmente, a estabilidade do sistema de controle não linear desenvolvido, assim como sua capacidade para realizar a formação linear quando está implementado em um robô seguidor dotado de um sensor de varredura laser.

Para trabalhos futuros, será considerado um controle de formação baseado em sensor laser com a formação em movimento (seguimento), sendo, neste caso, necessário um estimador de velocidade do robô mestre por meio das medidas do sensor, a

ser implementado a bordo do robô seguidor. Além disso, será levado em consideração o aspecto da formação, ou seja, um controle de formação rígido ou flexível, onde mestre e seguidor sejam dotados de algoritmos de evasão de obstáculos, podendo ou não deformar a estrutura da formação previamente estipulada, em função da situação momentânea do ambiente.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES/MEC e à SPU/Argentina por terem apoiado a parceria entre UFES-UNSJ (projeto 018/04 CAPG-BA) onde este trabalho está inserido. Eles também agradecem ao CNPq pelo financiamento para a compra do sensor laser.

## Referências

- Carelli, R., Roberti, F., R., Vassallo, R. F. y Bastos, T. F., “Estrategia de Control de Formaciones Estable para Robots Móviles”, *AA-DECA 2006 - XX Congreso Argentino de Control Automático*, Buenos Aires, Argentina (2006).
- Carelli, R., Soria, C. and Morales, B., “Vision-based Tracking Control for Mobile Robots”, *ICAR 2005 - International Conference on Advanced Robotics*, Seattle, Washington, USA, CD Proceedings 148 - 152 (2005).
- de la Cruz, C., Carelli, R. y Gava, C. C., “Control Centralizado de Formación Usando una Cámara Omnidireccional”, *JAR2006 - Jornadas Argentinas de Robótica*, Córdoba, Argentina (2006).
- Desai, J. P., Ostrowski, J. and kumar, V., “Controlling Formations of Multiples Mobile Robots”, in *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Leuven, Belgium, 2864-2869 (1998).
- Gava, C. C., Vassallo, R. F., Carelli, R. and Bastos, T. F., “A Nonlinear Control Applied to Team Formation Based on Omnidirectional Vision”, *ISIE 2006 - Internacional Symposium on Industrial Electronics*, ETS - Downtown Montréal, Canada, **1**, 372-377 (2006).
- Lawton, J. R. T., Beard, R. W. and Young, B. J., “A Decentralized Approach to Formation Maneuvers”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, **19**, 6 (2003).
- Rekleitis, I. M., Dudek, G. and Milios, E. E., “Multi-robot Cooperative Localization: A Study of Trade-offs Between Efficiency and Accuracy”, *2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, EPFL, Switzerland, **3**, 2690-2695 (2002).