

Implementação de Formigas Robóticas com Características Físicas das Formigas Biológicas

Danilo Vasconcellos Vargas e Eduardo do Valle Simões

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – Universidade de São Paulo
Cx. Postal 668 - CEP 13560-970 -São Carlos - SP - Brasil

ask@grad.icmc.usp.br, simoes@icmc.usp.br

***Abstract.** This article presents the design of Robotic Ants in simulation, considering simple aspects that represent biological ant behaviour. We demonstrate the importance of considering physical aspects of ant behaviour when modelling artificial colonies. In other words, ants behave not only according to their ability to analyse the environment and react to it, but also according to their physical aspects, such as the position of their antennas, their body configuration and their way of walking, which varies according to the frequency of their set of legs. Experiments are presented showing the search for objects (foraging) with one artificial ant and with larger groups of ten.*

***Resumo.** Este artigo procura construir robôs-formiga em simulação, sendo estes o mais simples quanto possível para representar o comportamento de formigas biológicas e demonstrando que existe uma importância relevante no aspecto físico da formiga em relação ao seu comportamento. Ou seja, a formiga não se comporta unicamente devido ao seu modo de analisar o meio e reagir a ele, mas também pela posição de suas antenas, a configuração de seu corpo e seu modo de caminhar, que é em função das frequências de cada grupo de pernas laterais. São apresentados experimentos em simulação com uma única formiga e com grupos de dez na busca por objetos no ambiente (forrageamento).*

1. Introdução

Os insetos são muito diversificados e têm se mostrado eficientes soluções, sobrevivendo ao contínuo processo de seleção natural e se espalhando pelo meio ambiente [Eric Boneau, Guy Theraulaz, Jean-Louis Deneubourg, Serge Aron and Scott Camazine (1997)]. Este artigo apresenta a implementação de um simulador de robôs-formiga, onde o comportamento de formigas biológicas foi observado no seu ambiente natural e modelado para a construção de uma colônia artificial. O objetivo deste trabalho é pesquisar algoritmos de controle para times de robôs baseados na forma de navegação de formigas naturais, onde o aspecto físico e as habilidades dos robôs sejam modelados o mais semelhante possível ao das formigas.

O modelo desenvolvido neste artigo também tem como objetivo um enfoque nas aplicações de hardware, buscando simulações que não entrem em conflito com a

realidade dos formigueiros, proporcionando assim o desenvolvimento de robôs formigas passíveis de serem implementados em hardware. Além de que, pela sua simplicidade, robôs menores (“nanorobôs”) poderiam ser criados sem muitas dificuldades tanto em nível de processamento (onde a maioria destes processamentos poderia ser feito pelo hardware, senão todo), como em nível de estrutura física.

O problema a ser tratado neste artigo é o de exploração e busca por objetos no ambiente [15]. A partir de simples comportamentos como produzir ferormônios e seguirlos [Peter Nonacs and Joane L. Soriano (1997)], as formigas só percebem a sua vizinhança, como autômatos celulares [Gina Maria Barbosa De Oliveira (2003)]. Porém, comportamentos mais complexos como a exploração do meio e a coleta de alimento podem emergir da interação entre elas. A similaridade entre estes comportamentos e as tarefas tradicionais da robótica móvel são muitas, o que serviu de estímulo para a aplicação de técnicas de colônias de insetos e inteligência de enxames no desenvolvimento de controladores de navegação para robôs.

Então, ao se ter robôs parecidos com as formigas pode-se conseguir um comportamento de exploração com algoritmos de controle mais simples e mais econômicos em termos de hardware. Desse modo, com robôs mais simples, pode-se utilizar um maior número de robôs e se obter uma solução mais tolerante a falhas, já que a perda de um robô não fará tanta diferença no cumprimento da tarefa [Y. Uny Cao, Alex S. Fukunaga, and Andrew B. Kahng (1997)].

Em aplicações de algoritmos de formigas como [M. Dorigo and L.M. Gambardella (1996)] e modelamento de comportamentos de formigas como [D.J.T Sumpter and S.C.Pratt (2003)], não se tem levado em consideração os aspectos físicos das formigas. Este trabalho procura mostrar que o modelamento dos aspectos físicos melhoram bastante os resultados obtidos com colônias de formigas artificiais.

Este trabalho apresenta métodos de exploração otimizados, capazes de buscar recursos específicos no meio ambiente (“Foraging”) [Schweitzer, F.; Lao, K.; Family, F. (1997)]. Para atingir este objetivo, este trabalho combina técnicas de Inteligência Artificial, autômatos celulares “dinâmicos” [Gina Maria Barbosa De Oliveira (2003)] (cada formiga como sendo um autômato celular), sistemas multi-agente [W. Burgard, D. Fox, M. Moors, R. Simmons, and S. Thrun. (2000)] e observações do comportamento de formigas em campo (realizadas no Centro de Estudos de Insetos Sociais da Unesp de Rio Claro) para produzir um sistema de controle para times de robôs exploradores.

2. Estrutura de um robô formiga

Os robôs formigas presentes na simulação apresentam como componentes de seu corpo:

Antenas – que se separam uma da outra e formam um triângulo com o corpo principal do robô-formiga. Têm como finalidade perceber a concentração de ferormônios em cada lado e detectar colisões contra paredes, por exemplo. Na figura 1 as antenas são os pequenos círculos brancos.

Corpo – representa num robô real onde estaria o centro de processamento e de avaliação de acontecimentos, na simulação é apenas uma representação da posição relativa deste núcleo. Na figura 1 são os círculos cinzas.

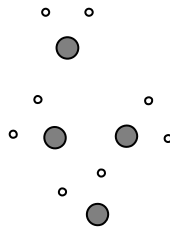


Figura1- Estrutura de robôs-formiga.

3. Funções de Comportamentos

Este trabalho tem como base a observação de formigas naturais e os trabalhos de [S. Aron, R. Beckers, J. L. Deneubourg and J. M Pasteels (1993)], [Peter Nonacs and Joane L. Soriano (1997)], [Eric Boneau, Guy Theraulaz, Jean-Louis Deneubourg, Serge Aron and Scott Camazine (1997)], [Nicole Fernandes and Michael K. Rust (2003)], [Julianne D. Halley and Mark A. Elgar (2001)], [Tai H. Rouston and Jules Silverman (2002)] e [S. Goss, R. Beckers, J. L. Deneubourg, S. Aron, J. M. Pasteels (1990)], assim como a proposta original deste trabalho em [Vargas, V. Danilo, Simões, Eduardo D. V., Delbem, A. B., (2004)], na qual foi realizada a exploração com funções de repulsão por ferormônios ao invés de apenas segui-los, como o era feito de costume. Neste artigo utilizou-se esta função e também desenvolveu funções simples para estudar o comportamento de um robô-formiga com antenas artificiais. Isto foi realizado para mostrar sua superioridade em relação àqueles que não possuem restrições quanto as suas possibilidades de movimento (ou seja, que podem se movimentar para qualquer direção). Assim, os robôs-formiga aqui descritos só podem se movimentar para a esquerda ou para a direita (restringindo suas possibilidades de movimento) e assemelhando-se às formigas biológicas que compõe seus movimentos a partir da variação das frequências dos grupos de pernas laterais [Camposfarinha, A E C, Bueno, O. C., Campos, MCG, Kato, LM (2003)].

Os robôs-formiga se movimentam de acordo com as seguintes funções:

- 1- Põe ferormônios a cada iteração no ambiente (em simulação).
- 2- Verifica a quantidade de ferormônios em cada antena.
- 3- Verifica qual das antenas possui maior concentração de ferormônios.
- 4- Verifica se alguma das antenas se chocou com algum objeto.
- 5- Se ocorreu choque o robô-formiga vira para o lado contrário (se ocorreu choque na antena direita, a formiga vira para a esquerda e vice-versa).
- 6- Se não ocorreu choque a formiga vira para onde encontrar menor concentração de ferormônios (repulsão de ferormônios).

4. Resultados Obtidos com um robô

No simulador, foi colocada uma única formiga num ambiente formado exclusivamente por obstáculos e um único objetivo, capturar um objeto (“comida”), representado pelo menor quadrado branco na figura 2. Esperava-se uma movimentação um tanto quanto

aleatória e não otimizada, visto que o comportamento das formigas emerge de um enxame, porém não foi o constatado, a única formiga no ambiente se movia fugindo dos ferormônios que ela própria solta e por consequência acaba mapeando o ambiente com seus ferormônios, pois as posições que continham ferormônios indicavam que ela já tinha passado por aquela posição do mapa, e aonde ela não tinha depositado ferormônio era onde ela por consequência se deslocava, apenas por fugir dos seus ferormônios. Dessa forma, foi obtido um comportamento exploratório muito eficiente, pois a formiga é compelida a visitar áreas por onde ainda não passou.

É importante citar que a fuga dos ferormônios não advém de funções complexas de se implementar em hardware, mas sim de apenas a comparação entre as concentrações de ferormônios das duas antenas, dois sensores, o que torna o modelo tanto simples quanto possível para implementações em robótica.

4.1. Detalhamento do Funcionamento

A figura 2 mostra o robô-formiga se movimentando aparentemente perdido no meio, porque no início a formiga não tem nenhum depósito de ferormônios postos no meio para usar como guia, mas após certo tempo ela começa a se guiar pelos ferormônios resultando em um comportamento inteligente. Pode-se observar na quarta seqüência da figura 2 que neste momento ela começa a sentir a presença de ferormônios na sua frente, que foram antes depositados e por fim faz um giro e acaba por encontrar uma solução para o experimento.

5. Resultados Obtidos com 10 robôs

Neste experimento, os ferormônios não são marcados na figura, para melhorar a visualização. Com 10 robôs-formiga foi obtido um resultado relativamente mais rápido se comparado com o de um único robô formiga, como era o esperado. A explicação para isso é simples, pois se os robôs-formiga marcam indiretamente o ambiente de acordo com o depósito de ferormônios (lugares que já foram visitados), com muitos robôs-formiga o mapeamento é mais rápido e eficiente, resultando numa exploração mais rápida, executada em paralelo pelos robôs.

A figura 3 mostra os robôs se dividindo para a exploração e por falta de possibilidades de outros caminhos, alguns seguem os caminhos dos outros, mas se o ambiente oferecesse mais variações de possibilidades de caminhos certamente o espalhamento e a busca seria maior. Pode-se reparar que os robôs que seguiram por caminhos que já haviam sido escolhidos primariamente por outros robôs, tendem a se ramificar ao longo do trajeto e assim seguir ramos diferentes, o que leva a uma maior exploração.

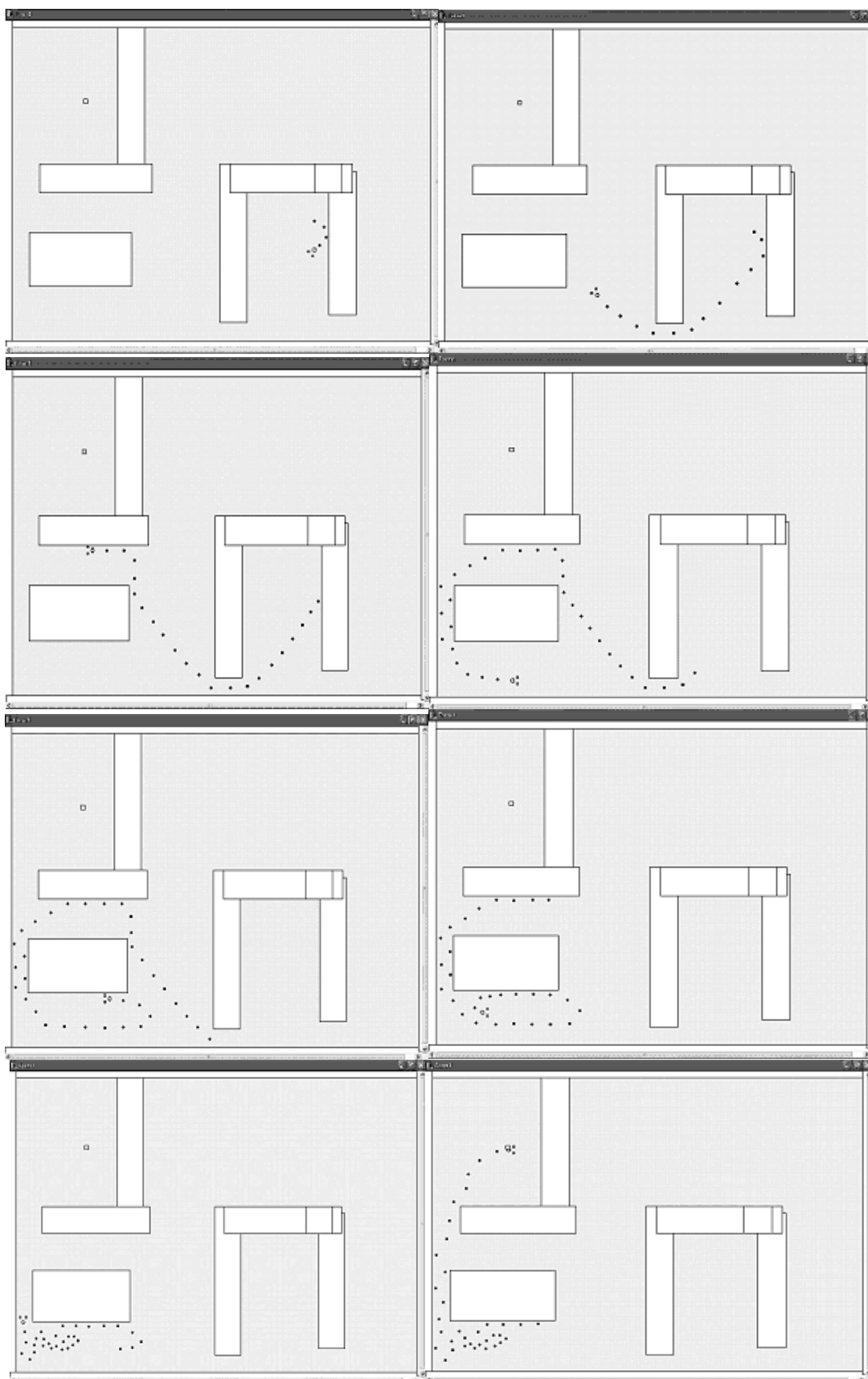


Figura 2 Um robô-formiga buscando um objeto (o objeto é o pequeno quadrado branco).

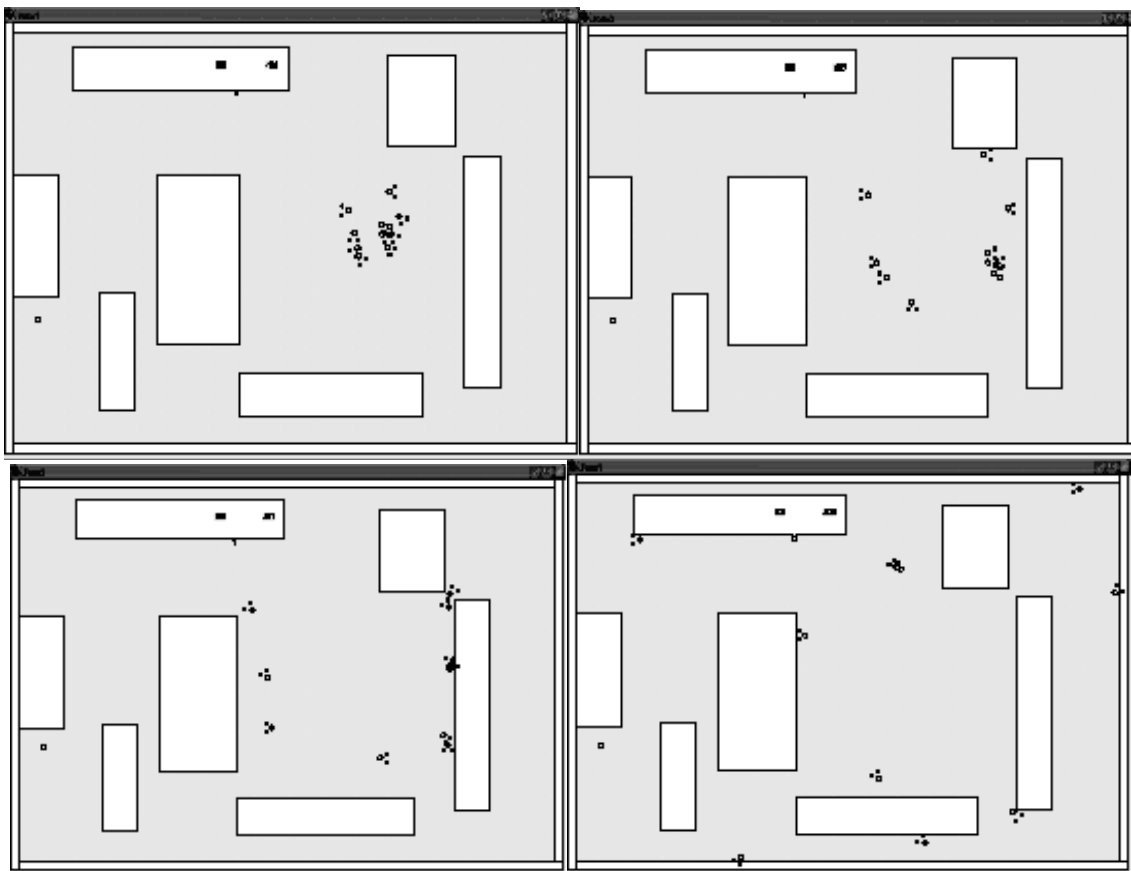


Figura 3- Time de robôs-formiga explorando o ambiente.

6. Dificuldades Encontradas

Um problema teoricamente enfrentado por esse modelo é o caso em que o robô fica preso numa área cercada com apenas uma saída como um tubo em “U”, devido ao depósito de ferromônios na saída deste tubo, pois como o robô tende a fugir de ferromônios e os ferromônios foram colocados primeiramente na saída, seria normal esperar que os robôs ficassem ali dentro. Porém, isto não acontece devido à evaporação de ferromônios. Assim, a presença de ferromônios na saída do tubo diminui e aumenta dentro do local cada vez mais, uma vez que o robô permanece depositando lá dentro. Isso demonstra a solução de um problema aparentemente insolúvel por este tipo de modelo. Esta característica mostra uma flexibilidade do modelo em relação a certas situações desfavoráveis e mostra condições de sair de tubos, sem a necessidade de criar outras funções para resolução destes problemas.

7. Conclusões

Neste projeto mostrou-se importante a presença de características físicas nas formigas, tanto para uma melhor semelhança para com o comportamento destas, quanto para a melhoria de flexibilidade e aumento do campo de atuação de um modelo bioinspirado. Tais características físicas são normalmente pouco levadas em consideração em modelos de simulação ou mesmo em algoritmo de formigas.

O modelo usado mostrou-se bastante eficiente em encontrar o alvo a ponto de ser muito útil com apenas uma formiga, pois teoricamente a presença de apenas um robô-formiga não traria bom resultado, pois as formigas andam em grandes números na natureza. Este trabalho se baseou em um modelo simples, com poucos tipos de movimento, o que resultaria aparentemente numa heurística limitada, porém esta limitação não necessariamente conduz os experimentos para resultados triviais. Esta é uma indicação do grande potencial da utilização de técnicas baseadas em colônias de insetos, pois os resultados globais obtidos são geralmente maiores que a soma das contribuições individuais.

Referências

- Vargas, V. Danilo, Simões, Eduardo D. V., Delbem, A. B., (2004) “An Evolutionary Ant System applied to Distributed Robot Navigation Control”, In The 8th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN VIII), 18-22 September 2004, Birmingham, UK.
- W. Burgard, D. Fox, M. Moors, R. Simmons, and S. Thrun. (2000) “Collaborative multi-robot exploration”, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), San Francisco, CA, IEEE.
- Schweitzer, F.; Lao, K.; Family, F. (1997) “Active Random Walkers Simulate Trunk Trail Formation by Ants”, *BioSystems* 41, 153-166.
- S. Goss, R. Beckers, J. L. Deneubourg, S. Aron, J. M. Pasteels (1990) “How trail laying and trail following can solve foraging problems for ant colonies”. Unit of Behavioural Ecology, CP 231, Université Libre de Bruxelles 1050 Bruxelles Belgium pg. 661-677.
- M. Dorigo and L.M. Gambardella (1996) “Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem”, *IEEE Transactions on Evolutionary*
- Y. Uny Cao, Alex S. Fukunaga, and Andrew B. Kahng (1997) “Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions. *Autonomous Robots*”, N. 4, pp. 1–23. Editors: R.C. Arkin and G.A. Bekey. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Gina Maria Barbosa De Oliveira (2003) “Autômatos Celulares: Aspectos Dinâmicos e computacionais”, Pós Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Presbiteriana Mackenzie SP Brazil. Publicado em Anais da 3 Jornada de Mini-cursos de Inteligencia Artificial pg 297-339.
- S. Aron, R. Beckers, J. L. Deneubourg and J. M Pasteels (1993) “Memory and chemical communication in the orientation os two mass-recruiting ant species”, *Ins. Soc.* 40:369-380.
- D.J.T Sumpter and S.C.Pratt (2003) “A modelling framework for understanding social insect foraging”, *Behav. Ecol. Sociobiol.* 53:131-144.
- Peter Nonacs and Joane L. Soriano (1997) “Patch sampling behaviour and future foraging expectetions in Argentne ants, *Linepithema humile*”, *The associatio for Study of Animal Behaviour* pg. 519-527.

- Eric Boneau, Guy Theraulaz, Jean-Louis Deneubourg, Serge Aron and Scott Camazine (1997) "Self-organization in social insects". TREE Vol. 12, no. 5 May.
- Nicole Fernandes and Michael K. Rust (2003) "Site Fidelity in Foraging Argentine ants (Hymenoptera:Formicidae)".Sociobiology Vol. 41, no. 3.
- Julianne D. Halley and Mark A. Elgar (2001) "The response of foraging Argentine ants, *Linepithema humile* , to disturbance", Australian Journal of Oology, 49, 59-69.
- Tai H. Rouston and Jules Silverman (2002) "The effect os food size and dispersion pattern on retrieval rate by the Argentine ant, *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae)", Journal of Insect Behaviour, Vol. 15 no. 5, September .
- Camposfarinha, A E C, Bueno, O. C., Campos, MCG, Kato, LM (2003), "As formigas urbanas no Brasil: retrospecto". O Biológico. São Paulo - Br: , v.64, n.2, p.129 – 133.