

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO TRÁFEGO DE PESSOAS EM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA: potencialidades do emprego da Lógica Fuzzy

Henrique C. Braga, Paulo E.M. Almeida e F. Camargo
Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional - MMMC, DPPG
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG)
Av. Amazonas, 7675 – 30.510-000 – Belo Horizonte – MG - Brasil

bragaseg@yahoo.com.br pema@lsi.cefetmg.br fausto@dppg.cefetmg.br

Abstract - The properly conduction of scape from environments of people in emergency situations has critical importance in order to keep the safety of them. Serious accidents can be avoided with the simulation and study of these episodes. This report presents the potential of the use of Fuzzy Logic in simulation of human behavior in emergency situations of abandonment of environments.

Resumo - O apropriado abandono de pessoas em ambientes durante situações de emergência tem uma importância crítica na manutenção das condições de segurança dos envolvidos. Sérios acidentes podem ser evitados se o mesmo for devidamente planejado e conduzido, sendo portanto o estudo e simulação destes episódios de grande importância. Este trabalho apresenta as potencialidades do emprego da Lógica Fuzzy na simulação do tráfego de pessoas em situações de abandono de ambientes durante emergências.

Palavras Chaves - Fuzzy, Simulação, Emergência, Escape, Pânico.

1 Introdução

O estudo do tráfego de pessoas, especificamente em condições críticas como a provocada por grande concentração populacional ou em situações de evacuação de ambientes, tem grande importância devido ao risco potencial a que os presentes estão envolvidos. Praticamente todas as pessoas passam periodicamente em condições críticas em locais como shows, estádios, metro, shoppings. Adicionalmente, numa condição de evacuação, a concentração tende a ser incrementada devido a termos geralmente grande quantidade de pessoas buscando poucas rotas de fuga. Infelizmente não faltam exemplos, inclusive recentes, de graves tragédias envolvendo a movimentação de pessoas (Figura 1). Isto ilustra bem que a questão ainda está longe de ser definitivamente resolvida. No caso específico do Brasil, teremos em breve grandes eventos (Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016) que certamente trarão aglomerações de grandes proporções e visibilidade, fazendo que o momento para a realização deste projeto seja especialmente oportuno. Entretanto, independente do momento, acreditamos que este estudo, pelo seu caráter científico, preventivo e educativo, seja de relevante desenvolvimento.

Diversos autores consideram que, apesar de existirem trabalhos já estabelecidos sobre este assunto, pesquisas de abandono de ambientes que incorporem variáveis cognitivas (relacionadas com a percepção) ou psíquicas (relacionadas com o comportamento) de indivíduos ainda estão em estágio preliminar e que muito estudo falta a se realizar nesta área [1, 2, 3]. Consideramos que pelas suas características únicas, inclusive a capacidade de incorporação de variáveis cognitivas e psíquicas, que a Lógica Fuzzy pode ser um interessante paradigma para o desenvolvimentos de soluções deste tipo de problema. Assim, este trabalho tem como objetivo verificar as potencialidades do uso da Lógica Fuzzy no estudo do tráfego de pessoas em situação de emergência.

Neste trabalho vamos fazer inicialmente uma apresentação teórica de um algoritmo para escape de ambientes. Feito o embasamento vamos apresentar as ferramentas computacionais aplicadas no desenvolvimento e apresentar alguns resultados obtidos, tanto sem a Lógica Fuzzy como com a sua introdução. Todo o sistema Fuzzy adotado será detalhado em suas etapas. Faremos então uma validação mais aprimorada dos resultados obtidos, verificando a potencialidade do algoritmo com Lógica Fuzzy de alterar dinamicamente a rota de fuga preestabelecida e também de desviar de objetos desconhecidos introduzidos no ambiente. Feito isso apresentaremos uma discussão dos resultados apresentados e algumas considerações finais sobre a viabilidade da utilização da Lógica Fuzzy neste tipo de simulação.



(a)



(b)

Figura 1. Imagens de tragédias ocorridas em 2010. Em (a) no Camboja com centenas de vítimas fatais [4] e em (b) na Alemanha com cerca de 20 vítimas fatais [5].

2 Embasamento e Aplicação Prática

Na concepção básica deste trabalho iremos tratar cada ambiente geral a ser simulado como uma matriz onde cada pessoa poderá ocupar um elemento dessa matriz [6]. Considera-se que cada pessoa ocupe uma área média de $0,2m^2$, ou seja, cada elemento da matriz tanto relativo à largura como altura serão iguais a $\sqrt{0,2m}$ [3]. Assim, por exemplo, uma matriz de 100 x 100 elementos seria a representação de um ambiente geral de $2000m^2$ (44,7m x 44,7m). Uma pessoa nesta matriz teria em princípio 09 posições de deslocamento possíveis (incluindo a de ficar parada). Esta matriz será preenchida com números, por exemplo o número 00 para as paredes, 01 para as pessoas e 09 para os espaços vazios. Fazer uma pessoa se deslocar entre um ponto inicial e um vizinho será nada mais que trocar o número 01 do campo inicial pelo 09 do campo vizinho desejado e vice-versa. Para saber qual o campo vizinho desejado iremos criar outra matriz, chamada de matriz rota de fuga, com as mesmas dimensões e obstáculos da matriz ambiente geral inicial. Entretanto, na matriz rota de fuga, ao invés de números indicando os espaços vazios, obstáculos ou pessoas, teremos números que sinalizam qual o caminho a ser seguido por uma pessoa que esteja naquele mesmo campo na matriz ambiente geral. Por exemplo: o número 04 num determinado campo na matriz rota de fuga indica que a pessoa que venha a ocupar este mesmo campo na matriz ambiente geral irá se mover para o campo acima.

Durante a simulação a matriz ambiente geral vai sendo modificada a cada iteração devido a troca de posições entre as pessoas (número 01) e os espaços vazios (número 09). Já a matriz rota de fuga não é alterada ao longo da simulação, servindo apenas de um indicativo da sequência de campos que cada pessoa deve seguir para atingir a saída. A matriz rota de fuga é elaborada manual e intuitivamente antes da simulação de forma que cada uma das pessoas, independente da sua posição inicial, alcance a saída no menor número estimado de iterações, e não é dinamicamente alterada. Os resultados obtidos (o número de iterações necessárias para a saída do ambiente por exemplo) podem ser convertidos para grandezas com maior sentido físico tais como velocidade ou tempo efetivo de saída do ambiente [1, 3, 6]. As pessoas em fuga poderão alternativamente nesta simulação serem chamadas de autômatos. Neste algoritmo inicial, como a rota de fuga não é dinamicamente modificada, quando um autômato encontra um obstáculo ele simplesmente ficará parado naquela iteração, e continuará assim até que a obstrução seja desfeita. Isto não fará com que o programa entre em algum *looping* sem fim, pois os obstáculos possíveis neste momento são formados exclusivamente pelo atravessamento de outros autômatos, portanto em alguma próxima iteração ele vai se deslocar abrindo a passagem.

O encaminhamento das pessoas em fuga poderia ser satisfatoriamente otimizado e simulado, incluindo eventuais necessárias alterações dinâmicas, por um algoritmo específico tal como o de Dijkstra ou o algoritmo A-Star [7]. Mas a questão é que não queremos simular a melhor rota de fuga. O que queremos é simular a rota de fuga real de um indivíduo durante uma situação de emergência, e o mesmo não será igual aos fornecidos por algoritmos como o de Dijkstra ou A-Star. O processo que resulta numa tomada de decisão humana e uma correspondente ação é extremamente complexo e dinâmico. Como então modelar completamente este sistema complexo para podermos determinar a rota que seria escolhida por uma pessoa? Utilizando-se do Princípio da Incompatibilidade de Zadeh [8] temos uma resposta natural e extremamente simples: não há como, e talvez nunca haverá. Uma alternativa que a princípio pode parecer, e na verdade o é, extremamente simplista, está na adoção da Lógica Fuzzy para tal. A Lógica Fuzzy nada mais é que uma forma determinística de gerenciamento de incertezas, que podem

ser oriundas de grandezas mensuráveis ou puramente qualitativas, que possui diversos correlatos biológicos. Desta forma, pretendemos com a Lógica Fuzzy fazer esta ponte, utilizando-se de grandezas quantitativas e qualitativas, além de variáveis cognitivas e comportamentais. Queremos poder simular, mesmo que seja somente em certas circunstâncias particulares, a trajetória real a ser seguida por um ser humano durante uma situação de emergência. Especificamente neste trabalho o que queremos efetivamente é o de verificar que a utilização da Lógica Fuzzy é possível e potencialmente viável para tal.

Este trabalho foi desenvolvido no ambiente MatLab. Inicialmente elaboramos dentro do *Script* do MatLab um programa capaz de criar um ambiente geral de um andar, colocar neles os autômatos desejados (de forma determinística ou aleatória) e que eles sejam capazes de encontrar a saída sem ultrapassar obstáculos (fixos ou móveis) por meio de uma rota de fuga previa. Não foi permitido ao autômato se movimentar diretamente nas diagonais, mas apenas fazer movimentos diretos no sentido vertical ou horizontal. Consolidamos o funcionamento desta parte por meio de diversos testes. Com a utilização do *toolkit* Fuzzy do MatLab elaboramos e definimos o sistema de tomadas de decisões Fuzzy. Para o sistema Fuzzy utilizamos os paradigmas da metodologia Mamdani (seleção das grandezas de entrada e saída, dos universos de discurso, dos termos primários, das funções de pertinência, das normas para composição e agregação, da base de regras de associação entre os antecedentes e consequentes, da metodologia para a fuzzificação e a defuzzificação). Terminado e consolidado esta parte por meio de vários testes, a mesma foi transferida do *toolbox* Fuzzy para dentro do *Script*. Feita esta compatibilização entre estes dois componentes, consolidou-se um programa único capaz de alterar dinamicamente as rotas de fuga em caso de possibilidade de colisão por meio de tomada de decisão Fuzzy. Realizamos por fim diversos testes e discussões comprovando a potencialidade da Lógica Fuzzy para o tratamento deste tipo de problema de simulação do comportamento humano real.

3 Resultados Obtidos

a) Simulações no MatLab sem Lógica Fuzzy

Na Figura 2 apresentamos exemplos de simulações realizadas sem a implementação da Lógica Fuzzy. Os pontos pretos são os autômatos em sua posição inicial e as linhas cinza as rotas realizadas até a saída. Os autômatos foram posicionados aleatoriamente pelo sistema. No exemplo da Figura 2(a) foram posicionados 5 autômatos sendo necessários 67 iterações para abandono total do ambiente sem a ocorrência de nenhuma colisão, e em 2(b) foram posicionados 30 autômatos sendo necessários 63 iterações para abandono total do sistema e com a ocorrência de 29 colisões. Quando ocorre uma colisão o autômato motivador não se move até que o autômato que obstrui a passagem abandone a posição.

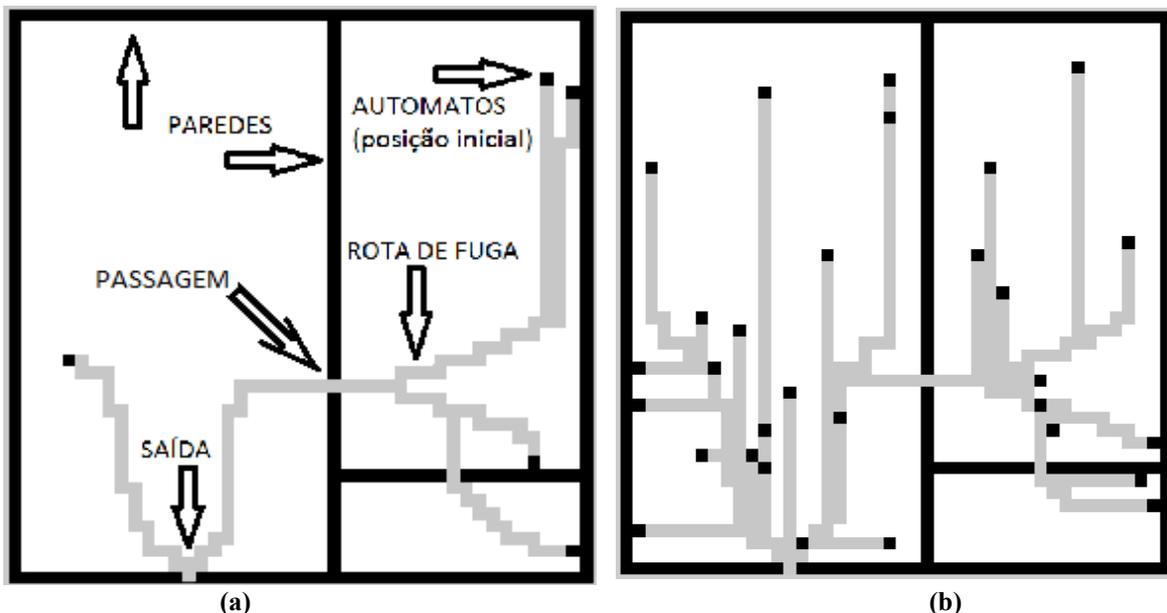


Figura 2. Simulação no MatLab sem Lógica Fuzzy em ambiente 45x45 com 3 câmaras distintas onde os pontos pretos são os autômatos em sua posição inicial e as linhas cinza as rotas realizadas até a saída. Em (a) e (b) simulações com 5 e 30 autômatos respectivamente, sendo que em (a) temos a identificação dos principais elementos.

b) Lógica Fuzzy – Metodologia Mamdani

O sistema Fuzzy foi diretamente acrescentado ao anterior. Nesta solução o autômato irá seguir rigorosamente conforme metodologia anterior, mas ao identificar um obstáculo (parede ou outro autômato) irá entrar na rotina Fuzzy para seleção de um caminho alternativo, e não mais ficará simplesmente parado esperando o caminho se desobstruir. Os nossos autômatos só interagirão com seus vizinhos imediatos (esquerdo, acima, direita e abaixo) sendo incapazes de visualizar ou interagir com campos além destes. Para a Lógica Fuzzy criamos um sistema Mamdani de 8 entradas por 4 saídas, a saber: como entradas a “Distância Euclidiana Aparente até a Saída” e o “Caminho Novo”; e como saída a “Qualidade da Rota Escolhida”. Cada uma dessas grandezas foi subdividida em 4 ramificações relativas às casas da esquerda, acima, direita e abaixo, tendo como referência a casa atual ocupada pelo autômato, conforme Tabela 1:

Tabela 1 - Relação das grandezas utilizadas nas entradas e saídas do sistema Fuzzy.

	Esquerda (L)	Acima (U)	Direita (R)	Abaixo (D)
Distância Euclidiana Aparente	DL	DU	DR	DD
Caminho Novo	CNL	CNU	CNR	CND
Qualidade da Rota	RL	RU	RR	RD

Na Figura 3 temos uma representação de todas as grandezas com a indicação dos termos primários e universos de discurso. Cada uma das 4 entradas relativas à grandeza Distância Aparente (DL, DU, DR, e DD) tem os seguintes termos primários: NE (negativo), Z (zero) e PO (positivo). Cada uma das 4 entradas relativas à grandeza Caminho Novo (CNL, CNU, CNR, e CND) tem os seguintes termos primários: MU (muito usado), U (usado) e N (novo). Cada uma das 4 saídas relativas à grandeza Qualidade da Rota (RL, RU, RR e RD) tem os seguintes termos primários: Z (zero), L (baixo) e H (alto).

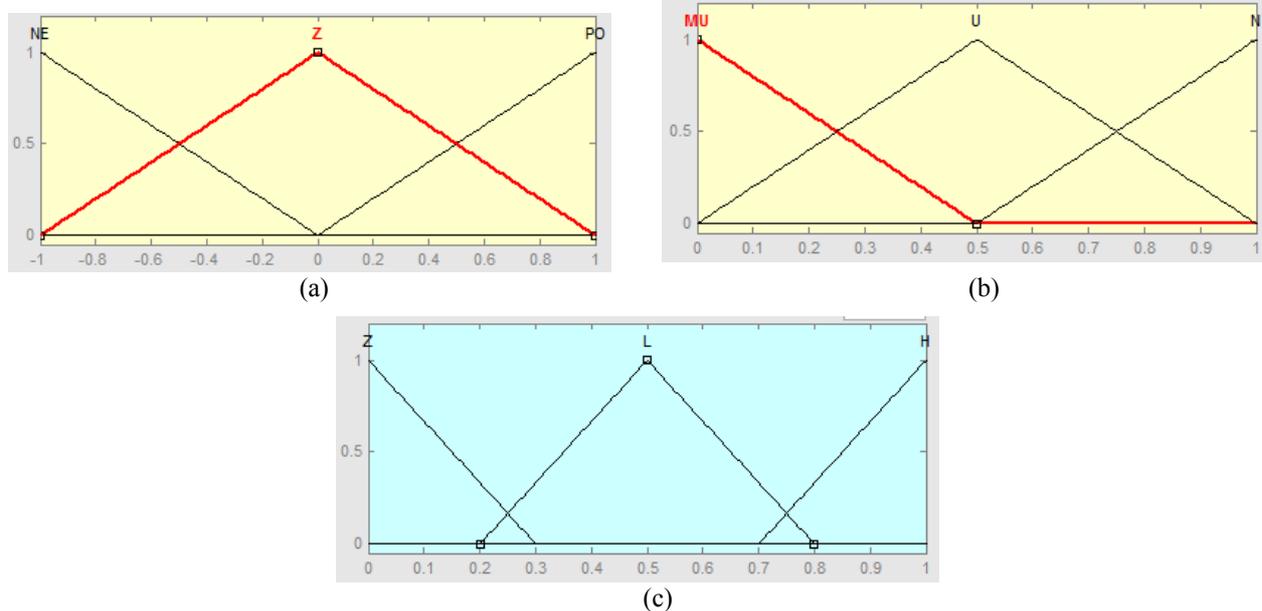


Figura 3 - Formato das funções de pertinência. Em (a) da Distância Aparente (DL, DU, DR e DD), em (b) do Caminho Novo (CNL, CNU, CNR, e CND), e em (c) da Qualidade da Rota (RL, RU, RR e RD).

Na figura 4 temos o conjunto de regras de inferência Fuzzy, assim como as normas e métodos para implicação, agregação e defuzzificação. Para a “medição” das grandezas de entrada utilizamos os seguintes algoritmos:

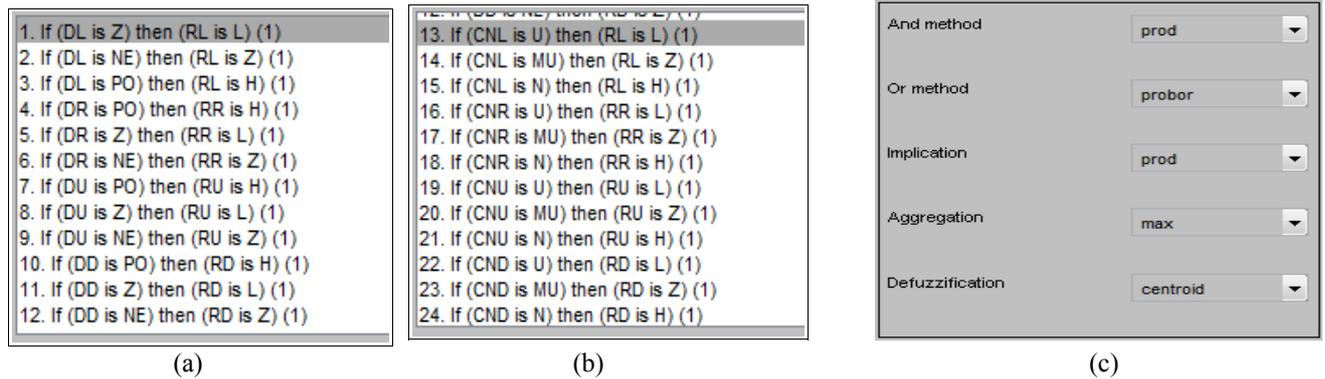


Figura 4 – Em (a) e (b) temos o conjunto de regras, e em (c) as normas e métodos de implicação, agregação e defuzzificação.

(i) Cálculo da Distância Aparente Euclidiana: $D = D_e - D_{ri}$, onde: (1)

D_e : Distância euclidiana da casa atual do autômato em relação a saída,

D_{ri} : Distância euclidiana da casa da rota analisada (pode ser Esquerda, Acima, Direita ou Abaixo) em relação a saída.

(ii) Cálculo do Caminho Novo: $CN = 1 - [(C_{ri} / C_{rMaxi}) ^ { CoefAjuste }]$, onde: (2)

C_{ri} : espécie de contador que inicia com 00 e tem seu valor incrementado em 01 quando o autômato passa por esta casa em certas condições;

C_{rMaxi} : é o maior valor de C_{ri} em relação a todas as casas para determinado autômato;

$CoefAjuste$: coeficiente empírico (considerado 0,3 nas nossas simulações).

Assim, na posição de cada autômato, o sistema faz a “leitura” das 8 grandezas de entrada e realiza de forma independente para cada um dos 04 possíveis sentidos de deslocamento o cálculo da qualidade de cada uma destas 04 possíveis rotas de fuga. O programa então seleciona para o autômato aquela rota que apresente o maior valor de qualidade da rota e cujo caminho não esteja obstruído. Se todos os caminhos estiverem obstruídos o autômato não se move naquela iteração. A cada iteração todo o processo é realizado uma vez para cada autômato de forma independente e sua posição é imediatamente alterada dinamicamente.

Existem ainda 2 heurísticas simples:

(i) Vontade de ficar parado: coeficiente empírico (considerado 0,5 nas nossas simulações) que significa a chance do autômato não se mover, mesmo com a qualidade da rota indicando um movimento preferencial, quando o mesmo se choca com outro autômato;

(ii) Muda estratégia (ou Impede *looping*): coeficiente empírico (considerado 3 nas nossas simulações) que protege e reinicia a contagem do CN em caso de eventual ocorrência de um *looping*.

4 Validação dos Resultados

Para teste do sistema Fuzzy elaborado foram preparados diversos ambientes. O programa permite que se coloque em cada ambiente qualquer quantidade de autômatos, tanto de forma determinística quanto aleatória. O programa também permite a colocação de barreiras fixas de diversas formas após a determinação da rota de fuga (RF), ou seja, os autômatos não tem conhecimento das mesmas até que eventualmente as encontrem no caminho rumo a saída.

(i) Verificação da Capacidade de Seguir a RF evitando Choques e sem Perder Tempo Parado

Para este primeiro teste criamos um ambiente de 90x45 (Figura 5), e criamos neste uma disposição tipo um auditório, sendo que os autômatos foram colocados somente sobre este auditório ou a sua frente. As linhas retas representam uma barreira física causada por um sucessão de cadeiras, por exemplo, e os pontos entre as linhas ou a frente destes os autômatos.

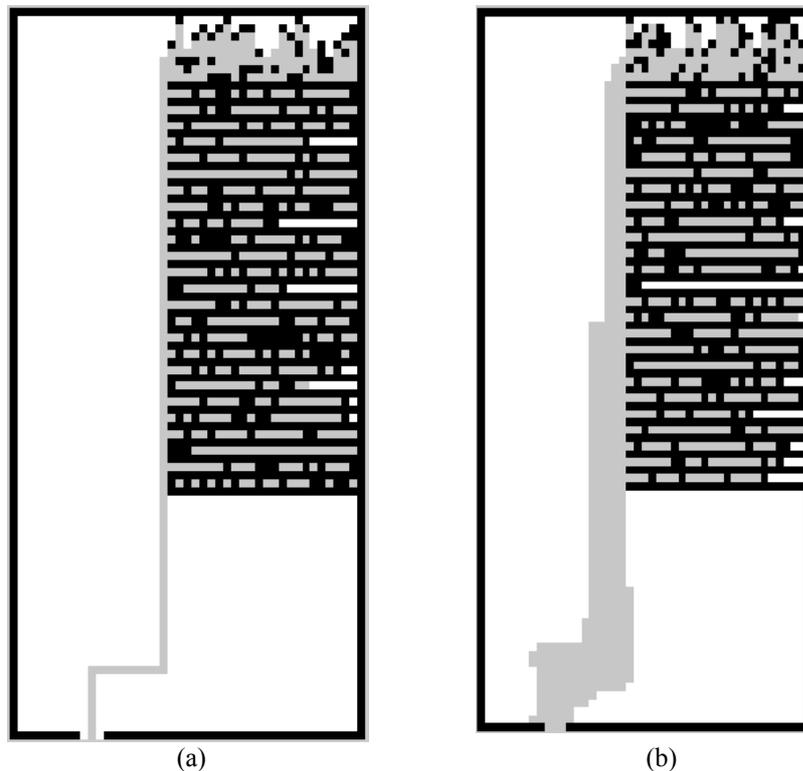


Figura 5. Simulação de abandono de ambiente com 200 autômatos. Em (a) SEM a Lógica Fuzzy (284 iterações e 17687 colisões para abandono do ambiente), e em (b) COM Lógica Fuzzy (210 iterações e 9537 colisões).

Na Figura 5a temos o resultado da simulação sem o sistema Fuzzy, onde os autômatos seguem uma rota específica rumo a saída, paralisando o movimento em cada iteração em caso de choque até a desobstrução do caminho (neste caso foram 200 autômatos posicionados aleatoriamente, ocorrendo 284 iterações e 17687 colisões até o abandono total do ambiente). Já na Figura 5b temos o resultado de uma simulação similar mas com a aplicação do sistema Fuzzy (neste caso também foram 200 autômatos posicionados aleatoriamente mas agora foram necessários apenas 210 iterações e 9537 colisões até o abandono total do ambiente). Nota-se claramente um grande alargamento da área utilizada para a fuga. Na figura 5a a rota de fuga foi unifilar, já na Figura 5b ela foi continuamente se expandindo, chegando em alguns pontos a atingir 6 colunas, mas sem nunca se desviar da direção da saída. Assim, o autômato buscou eficientemente caminhos alternativos em relação ao inicialmente especificado para se evitar os choques, tendo um comportamento muito mais similar com o que seria esperado por humanos reais. Este teste demonstra a potencialidade da Lógica Fuzzy.

(ii) Verificação da Capacidade de Desvio de Obstáculo Fixos Desconhecidos

Tendo sido realizado este teste vamos agora verificar a capacidade do sistema se desviar de obstáculos fixos introduzidos sem alteração prévia da rota de fuga. Para tal vamos nos utilizar de um ambiente 45x45 com 3 câmaras (similar ao da Figura 2), onde adicionaremos barreiras de diversas complexidades (Figura 6). Em todos estes casos as simulações foram realizadas com auxílio da Lógica Fuzzy (sem a Lógica Fuzzy os autômatos são simplesmente incapazes de sair destes ambientes ficando presos nas barreiras) e com a participação de 30 autômatos posicionados aleatoriamente em cada simulação. Na Figura 6a temos uma barreira em forma de um segmento de reta ortogonal à direção de saída. Os 30 autômatos conseguiram se desviar da mesma levando 95 iterações e com a ocorrência de 272 colisões. Uma barreira deste tipo não foi problema para eles. Na Figura 6b temos uma barreira em forma de “L”. Os 30 autômatos também conseguiram se desviar da mesma, mas levando agora 126 iterações e com a ocorrência de 494 colisões (houve um aumento da dificuldade). E por fim, na Figura 6c temos uma barreira em forma de “U”. Os 30 autômatos também conseguiram se desviar da mesma, mas levando nesta 174 iterações e com a ocorrência de 686 colisões até o abandono total (aumento considerável da dificuldade).

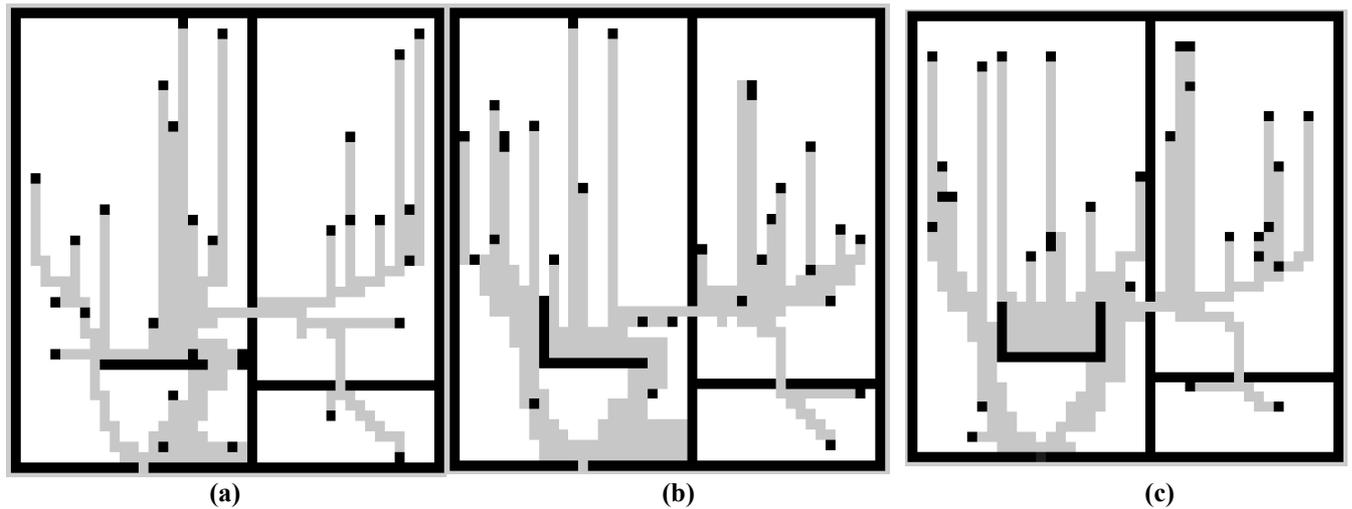


Figura 6. Simulação de abandono COM Lógica Fuzzy. Em (a) barreira em forma de segmento de reta (95 iterações e 272 colisões para abandono total), em (b) em forma de “L” (126 iterações e 494 colisões), e em (c) em forma de “U” (174 iterações e 686 colisões).

Apesar do resultado positivo, barreiras complexas como a em forma de “U” são um desafio significativo para os nossos autômatos pela incapacidade destes de se relacionarem com campos que vão além de sua vizinhança imediata. Mesmo assim conseguiram atingir a saída e numa forma razoável de fidedignidade. Entretanto esta fidedignidade não é totalmente satisfatória para o objetivo final do nosso estudo e precisará ser futuramente melhorada com a inclusão de alguma das técnicas heurísticas já estabelecidas para tal [7].

5 Discussões Complementares

A comparação entre as Figuras 5a e 5b por si só demonstra cabalmente que a utilização da Lógica Fuzzy é potencialmente promissora na simulação de escape de ambientes e realisticamente aplicável no modelamento de comportamentos tipicamente humanos. Além disso, a capacidade apresentada pelo sistema de se desviar de objetos fixos, sem qualquer modificação na rota de fuga prévia e sem possuir a capacidade de interação que vai além dos vizinhos próximos, especificamente a barreira em forma de “U”, superou as expectativas iniciais. Para estas simulações não foi introduzido nenhuma nova heurística ou paradigma diferente daqueles que foram previamente apresentados deixando claro a potencialidade da Lógica Fuzzy, quando devidamente parametrizada, para a tomada de decisões.

Entretanto, apesar dos resultados positivos alcançados, obtivemos pelas dificuldades apresentadas durante o desenvolvimento deste trabalho a plena consciência que realizar um modelamento desta natureza somente usando a Lógica Fuzzy é muito mais complexo do que inicialmente se apresenta. Isto acontece por que num sistema real, mesmo de tamanho limitado (por exemplo 500 pessoas num ambiente 50x50m²), apesar da aparente simplicidade das regras básicas cognitivas e comportamentais, a quantidade de possibilidades e variações é simplesmente gigantesca. Assim um sistema Fuzzy quase totalmente fidedigno teria que ser igualmente muito complexo para atender todas as possibilidades, sendo portanto, apesar de teoricamente possível, impraticável.

Para isso sugerimos uma arquitetura alternativa (Figura 7). Como pode ser observado na Figura 7, a base desta arquitetura será fornecida por um sistema inteligente baseado em regras ou árvore de decisão, mas duas considerações serão implementadas sempre que necessário: a utilização de heurísticas computacionais e o uso de Lógica Fuzzy. Não estamos propondo uma única heurística e uma única Lógica fuzzy, mas várias e que podem ser independentes ou não, mas adequadas a solucionar problemas ou situações específicas. Acreditamos a arquitetura da Figura 7 irá propiciar o desenvolvimento de um sistema que será capaz de realizar simulações realísticas de alto valor técnico e compatível com o comportamento humano, mas que também seja passível de ser efetiva e operacionalmente implementada.

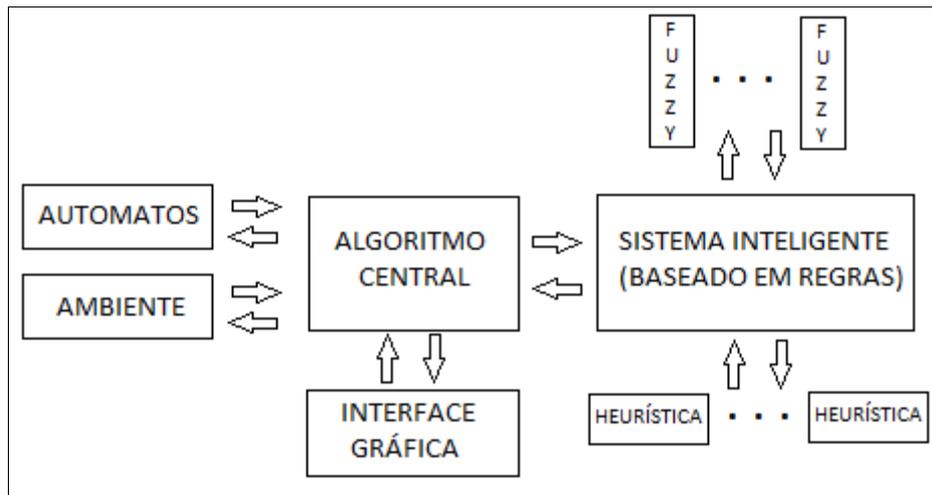


Figura 7. Proposta idealizada de uma arquitetura computacional para simulação utilizando a Lógica Fuzzy como suporte.

6 Considerações Finais

Incrementamos um algoritmo para a simulação do abandono de ambientes gerais por pessoas pela introdução dos paradigmas da Lógica Fuzzy. Isto foi feito visando obter simulações mais coerentes com a que seriam esperadas por pessoas reais. Os resultados obtidos foram satisfatórios e demonstraram cabalmente ter a Lógica Fuzzy grande potencial para este tipo de estudo. As pessoas simuladas em fuga apresentaram capacidade de evitar choques e colisões sem perder ou se desviar do caminho rumo a saída, assim como de se desviarem de barreiras fixas desconhecidas para as mesmas. Sugerimos uma arquitetura computacional para que este paradigma seja efetivamente empregado em programa a ser implementado.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET-MG, FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo imprescindível suporte financeiro recebido.

8 Referências

- [1] KULIGOWSKI, Erica D. e PEACOCK, Richard D. A Review of Building Evacuation Models, **National Institute of Standards and Technology**, Technical Note 1471, (2005).
- [2] KOBES, Margrethe, HELSLOOT, Ira, VRIES, Bauke de; e POST, Jos G., Building Safety and Human Behaviour in Fire: A Literature Review, **Fire Safety Journal**, 45 (2010).
- [3] SCHADSCHNEIDER, Andreas, et. al., Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications. In: **Encyclopedia of Complexity and System Science**. Ed. B. Meyers, Springer, Berlim, (2008).
- [4] UOL, Tumulto em Ponte deixa Centenas de Mortos no Camboja, **UOL Notícias**, São Paulo, (2010). Disponível em <<http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/internacional/2010/11/22/tumulto-em-ponte-deixa-centenas-de-mortos-no-camboja.jhtm>>. Acessado em 17 dez. 2010.
- [5] GLOBO, Alemanha Investiga Causas do Tumulto que Matou 19 na Love Parade, **G1.Globo**, (2010). Disponível em <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2010/07/alemanha-investiga-causas-do-tumulto-que-matou-19-na-love-parade.html>>. Acessado em 17 dez. 2010.
- [6] PEREIRA, Leandro A., Estudo do Tempo de Evacuação Total em Ambientes Gerais via Autômatos Finitos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Estatística, **UFMG**, Belo Horizonte, MG, (2007).
- [7] DAPPER, Fábio, Planejamento de Movimento para Pedestres Utilizando Campos Potenciais, Dissertação de Mestrado, Instituto de Informática, **UFRGS**, Porto Alegre, RS, (2007).
- [8] SIMÕES, Marcelo G. e SHAW, Ian S., Controle e Modelagem Fuzzy, 2a ed., **Ed. Blucher**, (2007).