

Um Modelo Comportamental Baseado em Árvores de Decisão para Agentes Virtuais em Situações de Emergência

Carlos A. Cony¹, Alessandro de L. Bicho², Cláudio R. Jung¹,
Fernando S. Osório¹, Soraia R. Musse³

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos – (Unisinos)
Av. Unisinos 950 – 93022-000 – São Leopoldo – RS – Brasil

²Fundação Universidade Federal do Rio Grande – (Furg)
Av. Itália, km 8, S/N – Rio Grande – RS – Brasil

³Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – (PUC-RS)
Av. Ipiranga, 6681 – 90619-900 – Porto Alegre – RS – Brasil

cony.carlos@gmail.com, dmtbicho@furg.br, crjung@unisinos.br

fosorio@unisinos.br, soraia@puhrs.br

Abstract. *This paper proposes a virtual human behavioral model based on decision-trees. The context of simulations is focused on virtual human reactions during emergency situations. In the proposed model, the virtual agents are endowed with three virtual sort of perceptions: hearing, sight and smell. Besides the sensors, the agents have the ability to communicate, since their perceived information can be propagated to others agents into the crowd. The perceived data by the virtual sensors are the input on the decision-tree and the agent can coherently react as a function of its perception.*

Resumo. *Este artigo propõe um modelo comportamental de humanos virtuais baseado em árvores de decisão. O contexto de simulações é focado nas reações de humanos virtuais em situações de emergência. No modelo proposto, os agentes virtuais são dotados de três percepções virtuais: audição, visão e olfato. Além destes sentidos, os agentes possuem a habilidade de comunicar, onde suas percepções são propagadas para outros agentes na multidão. Os dados adquiridos pelos sensores virtuais são utilizados como entradas na árvore de decisão, permitindo que o agente possa coerentemente reagir como uma função de sua percepção.*

1. Introdução

Com o desenvolvimento das pesquisas na área da animação comportamental, as indústrias de entretenimento, principalmente as de jogos e cinema, têm explorado a utilização de personagens virtuais. A área da simulação, em tempo real ou não, também tem encontrado na animação comportamental uma possibilidade de simular computacionalmente comportamentos complexos. Para tanto, quanto maior for o número de habilidades perceptivas providas para as entidades simuladas, melhor será a precisão do conjunto de informações aplicado ao modelo comportamental e, por consequência, mais realistas serão os resultados das aplicações simuladas. Entretanto, Reynolds [Reynolds 1987] sugere que é inadequado um agente possuir completa informação do mundo virtual, já que é mais realístico possuir imprecisão nos dados, pelo fator inerente dos sentidos humanos. Portanto, o desenvolvimento de modelos perceptivos e do consequente comportamento baseado nas informações adquiridas pelas percepções não é uma tarefa trivial.

Vários autores na literatura têm investigado a área de humanos virtuais [Musse and Thalmann 2001, Braun et al. 2005, Chenney 2004], principalmente em aplicações envolvendo simulações comportamentais, *serious games*, ferramentas de treinamento, entre outras. Assim, humanos virtuais perceptivos, capazes de tomar decisões individualizadas, podem ser de grande interesse para a indústria de jogos, bem como para àquelas na área de simulação. Quanto mais perceptivos forem os NPCs (*Non-Player Characters*) ou as entidades virtuais na simulação, maior é a possibilidade destas tomarem decisões acertadas, através da utilização conjunta com técnicas da Inteligência Artificial.

Este artigo propõe um modelo comportamental para prover aos agentes virtuais um poder de decisão em situações de emergência baseado em suas percepções (audição, visão e olfato). Utilizou-se um questionário para a coleta de dados, com a finalidade de identificar possíveis comportamentos das pessoas a uma eventual situação de emergência. Essas informações foram empregadas a um software, responsável pela geração das árvores de decisão utilizadas no modelo comportamental. Em relação às percepções, para a audição são considerados vários fatores de atenuação, tais como a distância entre o agente e o alarme, a perda auditiva devido ao envelhecimento, a atenuação das paredes e ainda as perdas devido a problemas auditivos. Para a visão, o olfato e a comunicação, a informação preponderante é a distância do agente em relação ao seu ponto de interesse (um evento ou outro agente), considerando as áreas de abrangência destas percepções. O modelo proposto é então validado em um simulador de multidões em situações de emergência.

2. Trabalhos Relacionados

Em um sistema de animação comportamental, é essencial que o agente virtual seja dotado de capacidades que o permitem habitar um ambiente dinâmico de maneira autônoma. O aumento da quantidade e da diversidade de informações adquiridas pelo agente por meio de suas percepções permite uma maior precisão na escolha da ação a ser realizada em situações de pânico. Nesta seção, apresentaremos alguns trabalhos descritos na literatura referentes tanto às possibilidades de percepção como também ao problema da evacuação em situações de emergência.

Em se tratando da percepção auditiva, há autores que tratam da renderização de sons por meio de múltiplas fontes geradoras de áudio, sendo estas baseadas em exemplos (arquivos de áudio), o que infelizmente necessita de complexos modelos de processamento de sinais [Nicolas and Drettakis 2004]. Este processamento pode incluir padrões direcionais de fontes de renderização e reverberação artificial [Savioja and Väänänen 2004], assim como áudio posicional 3D [Begault 1994]. De modo a minimizar este processamento, existe uma abordagem simplificada da propagação do som conhecida por acústica geométrica. Apesar de não ser fisicamente correta, esta metodologia fornece uma razoável aproximação da realidade, de maneira que análises do ambiente simulado possam ser realizadas [Kuttruff 2000]. Conde e Thalmann [Conde and Thalmann 2004] utilizaram a acústica geométrica para simular a propagação do som, provendo informação auditiva para o modelo de percepção multi-sensorial proposto neste trabalho.

A visão é outro importante aspecto para melhorar o senso de imersão em um ambiente simulado. Há muitos autores estudando esta área e, por esta razão, vários modelos de visão foram propostos. Tu e Terzopoulos [Tu and Terzopoulos 1994] propuseram um modelo onde um sensor de temperatura local e um sensor visual percebem o ambiente através do acesso a um banco de dados geométrico e ao ambiente físico simulado. No bando de passáros e no

cardume de peixes de Reynolds [Reynolds 1987], assim como na multidão de humanos virtuais de Musse [Musse and Thalmann 1997], cada agente diretamente conhece a posição dos seus vizinhos. Shao e Terzopoulos [Shao and Terzopoulos 2005] propuseram uma otimização da aplicação desta técnica utilizando mapas de percepção. Tal método inclui mapas de grade virtuais que informam os objetos estacionários em um local, além de um mapa de grade global que mantém informações de objetos móveis (agentes), por meio de subdivisões da área abrangida (células). Cada célula do mapa armazena e atualiza os identificadores de todos os agentes contidos na área.

Devido a sua inerente complexidade, a percepção olfativa difere das demais, por haver um número reduzido de trabalhos que tratam desse sentido. Um trabalho relevante abordando esta percepção é o de Zhang e Wyvill [Zhang and Wyvill 1997], onde é apresentado um grupo de borboletas navegando por meio de sensores olfativos. O movimento dos agentes é orientado de acordo com a química contida nas subdivisões do espaço (*voxels*) preenchidas utilizando a teoria de transferência de massa. Objetos no ambiente são convertidos para uma representação também inclusa no espaço de *voxels* para facilitar a detecção de colisões.

Em relação à simulação da evacuação em situações de emergência, Helbing et al. [Helbing et al. 2000] propôs uma solução utilizando sistema de partículas, onde a dinâmica dos agentes é baseada em modelos de força generalizada, observada em situações de pânico. Braun et al. [Braun et al. 2005] estendeu o modelo de Helbing em ambientes complexos, tratando implicações no movimento dos agentes, levando-se em consideração individualidades e percepções dos eventos de pânico. Trabalhos como Pan et al. [Pan et al. 2006] e Pelechano et al. [Pelechano et al. 2005] apresentaram *frameworks* baseados em multiagentes para estudar o comportamento social e humano durante evacuações de emergência.

Este artigo propõe um modelo comportamental e percepções virtuais para os agentes. O trabalho provê uma entrada de dados para audição dos agentes virtuais através de arquivos de áudio; informação geométrica para as percepções olfativa e visual; por fim, a comunicação ocorre em tempo de execução, dependendo do campo sensorial de cada agente. A aplicação envolve a simulação de multidões em situações de emergência, mas certamente o modelo pode ser usado em outros cenários. No caso em questão, pretende-se avaliar o modelo comportamental proposto por meio da análise do comportamento simulado de uma multidão, verificando o seu impacto na evacuação de um prédio.

3. O Modelo

Esta seção descreve o modelo apresentado neste artigo para prover aos agentes virtuais a capacidade de tomar decisões coerentes com a realidade, em situações específicas como em eventos de pânico. Para o modelo proposto, a percepção auditiva considerou os vários fatores que atenuam a percepção do som. Para a comunicação, a visão e o olfato foi utilizada uma abordagem por zona baseada na distância e no ângulo de abrangência do agente. Com isso, desenvolveu-se um modelo comportamental que utiliza as informações provenientes destes sensores associadas a diferentes árvores de decisão.

3.1. Modelos Perceptivos

No sentido virtual de audição, usou-se o modelo proposto por [Cony et al. 2006], que utiliza como entrada arquivos de áudio nos quais são aplicadas as devidas atenuações às suas intensidades. Cony et al. levam em consideração as perdas energéticas do som referentes à distância

que o agente está da fonte sonora, as perdas relativas ao envelhecimento e a possíveis problemas auditivos. Se, após todas as atenuações, a intensidade do som for maior que um limiar T (10 dBs), o som é percebido.

Para simulações com uma grande quantidade de agentes, se faz necessária a utilização de uma técnica de percepção visual que possa ser executada de maneira rápida e eficiente, pelo fato de quanto mais cedo forem percebidos os objetos no ambiente, mais rápida será a decisão do agente, resultando em uma animação mais suave (*framerate* adequado). Neste trabalho, foi utilizada uma abordagem por zona que circunda o agente virtual, definindo uma região perceptiva. Esta região é determinada por meio da distância perceptiva d_i e do ângulo de visão θ_i , valores que são fixados no início da simulação. A percepção de um agente e/ou de um evento ocorre quando este elemento estiver contido nesta área (Figure 1.a).

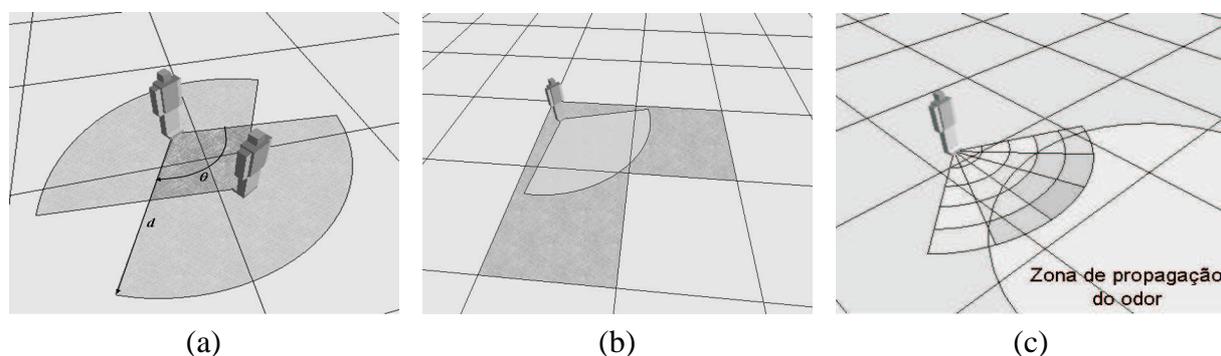


Figura 1. a) ambos agentes se percebem e interagem, (b) usando um mapa de percepção para melhorar a performance da abordagem por zona e (c) zona de percepção olfativa para os agentes.

Cada agente possui um atributo individual (chamado C) que caracteriza o seu conhecimento adquirido pela comunicação (interação), associado às informações providas pelos sensores perceptivos. Pelo fato do modelo perceptivo conter três sentidos (visão, olfato e audição), o atributo é um valor decimal que representa a codificação binária dos sentidos. Portanto, quando ocorre a comunicação entre agentes, o valor atribuído para ambos será a aplicação do operador binário "ou". A comunicação (PC_{ij}) entre i -agente e o j -agente é definido como:

$$PC_{ij} = C_i \vee C_j \quad (1)$$

Após a comunicação, o valor do atributo C para ambos agentes será o resultado da equação 1.

Para melhorar a performance da abordagem por zona, utilizou-se um mapeamento virtual do chão através de uma grade (chamada de mapa de percepção), adaptado de Shao [Shao and Terzopoulos 2005]. Este mapa informa objetos estacionários em um local, tais como obstáculos e, ainda, elementos dinâmicos, como os agentes virtuais. Neste trabalho, esta grade armazena informações dentro de células uniformes que identificam todos os elementos (eventos e agentes) que estão ocupando aquela célula. Cada passo do agente transmite ao chão sua nova posição e, se necessário, a célula da grade é atualizada. Então, para achar os vizinhos, são consideradas somente as células que interseccionam o chão virtual e a respectiva zona perceptiva de um agente (Figura 1.b).

Existem algumas aplicações onde a percepção olfativa pode apresentar uma melhora na coerência dos resultados. No caso de simular multidões, agentes dotados da capacidade de sentir odores podem resultar em simulações mais reais, provendo diagnósticos e comportamentos mais precisos durante o evento de perigo. Entretanto, a implementação precisa da percepção olfativa não é uma tarefa trivial. De fato, o estímulo olfativo nas narinas são produzidas por moléculas de odor que são transmitidas pelos neurônios receptivos até o córtex cerebral. A capacidade olfativa humana é capaz de detectar concentrações pequenas de odor, algo em torno de uma parte por milhão até uma parte por bilhão, dependendo do cheiro em questão. Além disso, é mais fácil detectar aumentos do que decrementos na concentração e magnitude do odor, sendo que estas variações não são necessariamente lineares, mas sim próximos de uma escala logarítmica [Zellner et al. 1991].

Devido a inerente complexidade da percepção olfativa humana, neste trabalho propõe-se um modelo simplificado de percepção olfativa para agentes virtuais em multidões. Para detectar o odor, a implementação ocorre de maneira semelhante a visão e a comunicação, utilizando uma abordagem por zona. Depois de detectado o odor, a zona olfativa é subdividida em sensores que contêm valores normalizados, de acordo com a equação:

$$v_s = \begin{cases} 1 - \frac{d_s}{d_m}, & \text{se } d_s \leq d_m \\ 0, & \text{demais casos} \end{cases} \quad (2)$$

Onde d_s é a distância do sensor até o foco do odor, d_m é a distância máxima de propagação do odor e v_s indicará a proximidade do sensor até o foco (posição) do evento. Quando calculados os valores destes sensores, é realizada uma procura pela região (uma matriz 3x3), que contém a maior média sensorial. Após, a posição central desta região é usada para direcionar o agente com o intuito de localizar o evento. Esta orientação, dada pelo olfato, é somente usada quando o evento é percebido e a reação do agente é "investiga"(resultante do modelo comportamental; ver próxima seção), indicando que o agente tentará descobrir a localização do evento de perigo. A Figura 1.c ilustra a zona olfativa dos agentes.

3.2. Modelo Comportamental

Para a construção do modelo comportamental dos agentes, utilizou-se uma técnica bastante conhecida da Inteligência Artificial: as árvores de decisão. Certamente esta é uma das metodologias mais tradicionais de aprendizado de máquina, utilizada para a implementação da tomada de decisões por agentes [Russell and Norvig 1995]. Utilizando esta técnica, pretende-se prover agentes capazes de reagir de maneira distinta, de acordo com as informações adquiridas por meio de seus sensores (sentidos).

Para construir as árvores utilizadas neste trabalho, foi definido um questionário aplicado a um grupo de indivíduos que responderam perguntas relativas ao seu comportamento em situações de emergência. O principal objetivo do questionário foi tornar possível a aquisição de um conjunto de regras, a partir das respostas dos entrevistados em determinadas situações. A seguir, é possível verificar um exemplo de pergunta utilizada no questionário:

- "O que você faria se visse um evento de perigo?"
 - (1) Nada
 - (2) Fugiria
 - (3) Investigaria

No caso citado, o sentido "visão" é a percepção relevante. Da mesma forma, outras questões considerando as demais percepções foram realizadas (inclusive considerando diferentes combinações perceptivas). As respostas dadas pelos entrevistados foram armazenadas em um banco de dados, sendo utilizado como entrada para o software Weka [Witten and Frank 2005]. Este software foi utilizado para a geração automática das árvores (regras) utilizadas neste trabalho. Todas as árvores criadas são do tipo J48 e com *10-fold cross validation* [Witten and Frank 2005]. Através das regras extraídas, foi possível recriar um comportamento generalizado das pessoas em função de um evento de perigo. Por consequência, essas regras foram integradas ao protótipo de simulação, com a intenção de guiar o comportamento dos agentes em situações de emergência.

4. Simulador de Humanos Virtuais em Situações de Emergência

A grande concentração de pessoas em ambientes públicos é uma característica comum nos grandes centros urbanos. Consequentemente, grandes aglomerações nos mais diversos ambientes, tais como estações de trem e de ônibus, calçadas, bancos e shopping centers são muito comuns. Além disso, o número de eventos que atraem multidões aumenta a cada ano. Devido a este fato, a modelagem e a simulação do comportamento de multidões se tornou um assunto importante para pesquisas, especialmente para prover uma análise do conforto e da segurança para as multidões.

No simulador desenvolvido, os agentes são representados por partículas, não possuindo tratamento de colisões e de formação de grupos (Figura 2.c). Para cada frame da simulação, as informações adquiridas pelas percepções são processadas, e o modelo comportamental, por meio de suas árvores de decisão, seleciona o próximo objetivo para cada agente (fugir, nada fazer ou investigar - veja Figura 2.a).

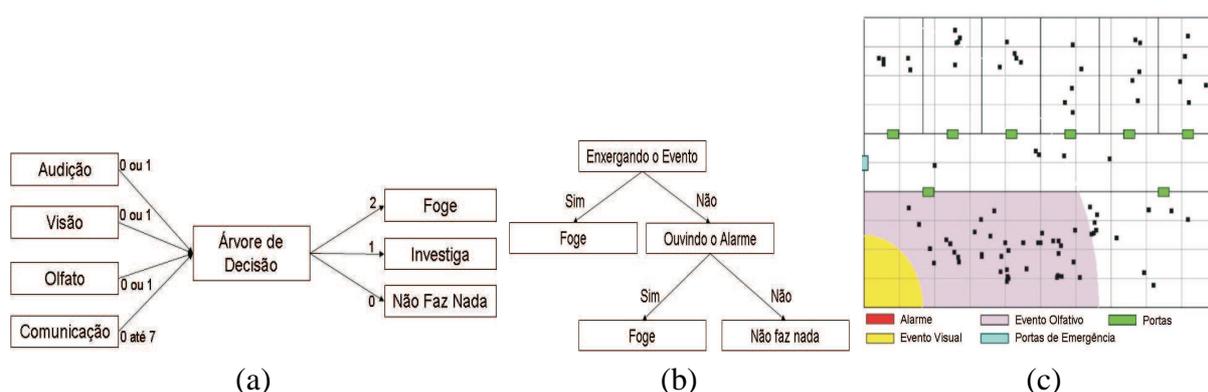


Figura 2. (a) diagrama do modelo comportamental dos agentes, (b) exemplo de uma árvore de decisão utilizada, onde o agente está no ambiente de trabalho e com todas as percepções ativadas e (c) screenshot do simulador.

Na Figura 2.b, há a ilustração de uma árvore de decisão. É importante notar que as respostas dos entrevistados levaram em consideração a localização da pessoa quando o evento de perigo é detectado (no trabalho, em casa, no parque ou no shopping center). As simulações deste artigo levaram em consideração somente pessoas localizadas em seu ambiente de trabalho, já que as respostas do questionário mostraram uma maior riqueza em termos de diversidade. Além disso, o software Weka não leva em consideração os atributos menos importantes para

a construção da árvore de decisão. No caso da Figura 2.b, a comunicação e o olfato foram "podados"(desprezados).

A seguir, são apresentados os dados de entrada do simulador. Para a audição, os seguintes parâmetros são levados em consideração:

- Propriedades do Som (extraídos de um arquivo de entrada);
- Idade média dos agentes;
- Perda auditiva referente a problemas de saúde;
- Posição do Alarme.

Combinados com os parâmetros auditivos, existem os da visão, do olfato e da comunicação, os quais são processados no mesmo modelo perceptivo. São eles:

- Raio do campo sensorial;
- Ângulo do campo sensorial;
- Evento
 - Posição;
 - Raio de propagação do cheiro;
 - Dimensão do evento (no caso, raio).

Por fim, para validar os resultados do modelo perceptivo e o seu impacto na eficiência da simulação de multidões, calculou-se a percentagem de agentes que perceberam o evento na simulação. Para o caso do modelo comportamental, analisaremos na próxima seção os resultados obtidos no Weka.

5. Experimentos e Resultados

Para este trabalho, foi desenvolvido um questionário aplicado a 75 pessoas, sendo formado por um conjunto de 128 perguntas, subdivididas em 4 questionários de 32 questões. As perguntas formadas analisaram como é a reação do entrevistado em relação as suas percepções (sentidos) no momento em que ocorre uma situação de emergência. Além dos sentidos, também foi analisada a reação em função do local (casa, trabalho, parque e shopping) e a combinação de todas as possibilidades para formação de perguntas, tais como "Se você estivesse em casa e visse a situação de perigo, alguém lhe comunicasse do perigo e ainda o alarme estivesse soando, qual seria a sua reação?".

A partir deste questionário, formou-se uma base de dados utilizada como entrada para o software Weka. Para cada local definido, utilizou-se quatro tipos de árvores de decisão: todos os sentidos ativados e para cada sentido em separado (audição, visão e olfato). Para avaliar as árvores, utilizou-se métricas reconhecidas na literatura, tais como: abrangência (*recall*), precisão (*precision*) e *F-Measure* [Korfhage 1997]. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na geração das árvores.

Analisando os resultados da Tabela 1, pode-se verificar que quando todos os sensores estão ativados, a *F-Measure* apresenta os melhores resultados. Tal situação era esperada, já que quanto maior a certeza da ocorrência do evento (informações recebidas pelos sensores), maior será a concordância nas ações a serem tomadas. Contudo, há exceções nas outras métricas (abrangência e precisão), destacadas em negrito. Analisando, por exemplo, a primeira linha do sentido "olfato", a abrangência apresenta um valor maior que quando todos os sentidos estão

| Sentidos | Abrangência | Precisão | F-Measure | Reação |
|----------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Todos | 78,70% | 73,80% | 76,10% | Foge |
| | 67,10% | 73,30% | 70,10% | Investiga |
| | 67,30% | 64,80% | 66,00% | Não Faz Nada |
| Audição | 75,60% | 62,20% | 68,20% | Foge |
| | 60,10% | 67,50% | 63,60% | Investiga |
| | 0% | 0% | 0% | Não Faz Nada |
| Visão | 73,50% | 76,20% | 74,80% | Foge |
| | 71,30% | 69,20% | 70,30% | Investiga |
| | 57,70% | 53,60% | 55,60% | Não Faz Nada |
| Olfato | 84,80% | 61,50% | 71,30% | Foge |
| | 51,70% | 74,20% | 60,90% | Investiga |
| | 0% | 0% | 0% | Não Faz Nada |

Tabela 1. Resultados das árvores de decisão geradas.

habilitados; mas, em contrapartida, sua precisão apresenta um valor baixo. Por isso, para análise coerente dos resultados, é importante considerarmos todas as métricas.

Outra constatação referente aos resultados do olfato e da audição é que ambas percepções apresentam valores nulos na classe "não faz nada". Estes resultados se devem ao fato da incerteza inerente a estes sentidos, o que já não ocorre com a visão.

Os resultados da matriz de confusão (Tabela 2), apresentam uma boa taxa de acertos em todas as classes. Mesmo na classe "não faz nada", contendo uma pequena quantidade de elementos, a taxa de acertos se mostrou satisfatória.

| Tamanho da Classe | Classe | Foge | Investiga | Não Faz Nada |
|-------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 50,85% | Foge | 78,67% | 19,20% | 2,13% |
| 42,89% | Investiga | 30,06% | 67,13% | 2,81% |
| 6,26% | Não Faz Nada | 21,15% | 11,54% | 67,31% |
| 100% | Total de 830 exemplos. | | | |

Tabela 2. Matriz de confusão para todos os sentidos.

Em relação à simulação, foram colocados 50 agentes na maior sala, enquanto nos demais ambientes foram colocados cinco agentes em cada, totalizando 85 agentes. Para otimizar a performance computacional, as percepções visual e olfativa somente são executadas quando o agente está localizado no mesmo ambiente do evento. A Figura 3 apresenta o resultado das simulações, contendo uma análise da percentagem de agentes que perceberam o evento para cada um dos sentidos implementados e aqueles que se salvaram, com e sem a comunicação, para diferentes locais do evento de perigo e alarme (posições coincidentes). Inicialmente, é possível verificar que localizar o alarme no centro do prédio é a melhor escolha para o ambiente virtual definido. Além disso, devido ao número de agentes concentrados na maior sala, maior é a percentagem de agentes que perceberam o evento nesta sala utilizando visão e/ou olfato.

Também é possível verificar o número significativo de agentes que perceberam o evento de perigo, quando este ocorreu no centro do prédio. Esta situação deve-se ao fato que agentes localizados na maior sala visualizaram o evento no corredor, quando evacuaram o ambiente por terem escutado o alarme.

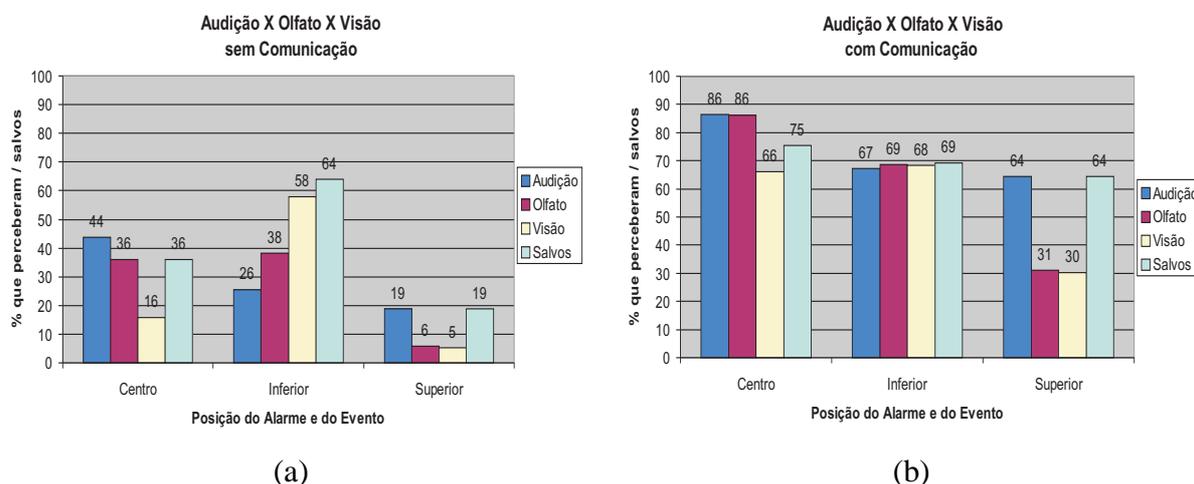


Figura 3. Percentagem de agentes que perceberam para cada um dos sentidos (a) sem a comunicação, (b) com a comunicação.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou um modelo comportamental para agentes virtuais perceptivos em situações de emergência. Para esta aplicação, foi definido um conjunto de árvores de decisão a partir das informações coletadas por meio de um questionário. Para cada local (trabalho, casa, parque e shopping center), utilizou-se uma árvore para cada sentido implementado (audição, olfato e visão) e uma unindo todos os sentidos. Os resultados mostraram que, quando todos os sensores estão ativados, a árvore de decisão tem uma taxa de acerto maior do que em relação as que utilizam apenas um sentido.

Comparando somente as árvores que utilizam apenas um sentido como informação de entrada, pode-se verificar um maior grau de incerteza (discordância nas respostas dos entrevistados) naqueles sentidos que são menos precisos, ao contrário dos resultados obtidos com o sentido da visão.

Como trabalhos futuros, pretende-se retirar o determinismo do simulador, já que o implementado está baseado no comportamento da maioria. Utilizando-se o erro residual apresentado na matriz de confusão (Tabela 2), será possível apresentar comportamentos distintos em agentes que possuem as mesmas informações perceptivas. Também, como trabalho futuro, pretende-se testar outras técnicas da área de aprendizado de máquina, permitindo possíveis comparações com os resultados obtidos com o modelo comportamental proposto neste trabalho. Ainda como possível trabalho futuro, pretende-se incluir novas funcionalidades no modelo auditivo, tais como mascaramento do som (interferência). Por fim existe a necessidade de realizar uma validação, verificando se os comportamentos expressos através dos questionários e a intenção de reação relatada pelos entrevistados é realmente verificada com base em uma situação de emergência real.

Referências

- Begault, D. R. (1994). *3D Sound for Virtual Reality and Multimedia*. Academic Press Professional.
- Braun, A., Bodmann, B. E. J., and Musse, S. R. (2005). Simulating virtual crowds in emergency situations. In *VRST*, pages 244–252, Monterey, CA, USA. ACM Press.
- Chenney, S. (2004). Flow tiles. In *Proceedings of Symposium on Computer Animation*, pages 233–242, Grenoble, Fr. ACM and Eurographics Association.
- Conde, T. and Thalmann, D. (2004). An artificial life environment for autonomous virtual agents with multi-sensorial and multi-perceptive features. *Journal of Computer Animation and Virtual Worlds*, 15(3):311–318.
- Cony, C. A., Silva, B. G., Jung, C. R., and Musse, S. R. (2006). Simulação de agentes com capacidade auditiva em situações de emergência. In *Digital Proceedings of the V Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment*.
- Helbing, D., Farkas, I., and Vicsek, T. (2000). Simulating dynamical features of scape panic. *Nature*, 407(6803):487–490.
- Korfhage, R. (1997). *Information Retrieval and Storage*. John Wiley and Sons, New York.
- Kuttruff, H. (2000). *Room Acoustics*. Spon Press.
- Musse, S. R. and Thalmann, D. (1997). A model of human crowd behavior. In *Computer Animation and Simulation '97*, pages 39–51, Heidelberg, Germany. Springer-Verlag.
- Musse, S. R. and Thalmann, D. (2001). Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 7:152–164.
- Nicolas, E. G. and Drettakis, G. (2004). Perceptual audio rendering of complex virtual environments. In *Proceedings of SIGGRAPH*, pages 249–258. ACM Press.
- Pan, X., Han, C. S., Dauber, K., and Law, K. H. (2006). Human and social behavior in computational modeling and analysis of egress. *Automation in Construction*, 15.
- Pelechano, N., O'Brien, K., Silverman, B., and Badler, N. (2005). Crowd simulation incorporating agent psychological models, roles and communication. In *V-Crowds*.
- Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds, schools: a distributed behavioural model. *Computer Graphics*, 21(4):25–34.
- Russell, S. and Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Savioja, H. J. L. T. and Väänänen, R. (2004). Creating interactive virtual acoustic environments. *Journal of the Audio Engineering Society*, 47(9):675–705.
- Shao, W. and Terzopoulos, D. (2005). Autonomous pedestrians. In *Proceedings of Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, pages 19–28, Los Angeles, CA, USA.
- Tu, X. and Terzopoulos, D. (1994). Perceptual modeling for behavioral animation of fishes. In *Proc. Second Pacific Conference on Computer Graphics*, pages 185–200.
- Witten, I. H. and Frank, E. (2005). *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques, 2nd Edition*. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, USA.
- Zellner, D., Bartoli, A., and Eckard, R. (1991). Influence of color on odor identification and liking ratings. In *American Journal of Psychology* **104(4)**, 547-561.
- Zhang, H. and Wyvill, B. (1997). Behavioural simulation in voxel space. In *Computer Animation '97*, pages 119–126, Switzerland.