

A MOVIMENTAÇÃO HUMANA EM UM AMBIENTE CONSTRUÍDO COMO UM SISTEMA ERGONÔMICO COMPLEXO

THE HUMAN MOVEMENT IN A BUILD ENVIRONMENT AS A COMPLEX ERGONOMIC SYSTEM

Henrique Costa Braga¹, M.Sc.
Gray Farias Moita², PhD
Paulo Eduardo Maciel de Almeida³, Dr.

(1) *Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, CEFET-MG*
e-mail: bragaseg@yahoo.com.br

(2) *Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, CEFET-MG*
e-mail: gray@dppg.cefetmg.br

(3) *Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, CEFET-MG*
e-mail: pema@lsi.cefetmg.br

Movimentação Humana, Ergonomia, Complexidade

Resumo: No artigo, a movimentação humana por si só é apresentada como sendo parte de um sistema ergonômico rico em complexidade. São também incluídos diversos aspectos relevantes envolvidos na movimentação humana, necessários para o desenvolvimento de um modelo computacional. É proposto que esta seja uma modelagem baseada em agentes ergonomicamente situada. Assim, os comportamentos individuais, coletivos e emergentes apresentados na movimentação humana são uma consequência da configuração inicial do sistema, das suas vizinhanças, da auto-organização dos agentes envolvidos e de suas interações locais.

Human Movement, Ergonomics, Complexity

Abstract: In the paper, the human movement is presented as part of an ergonomic system rich in complexity. It is also included several aspects involved in human movement, necessary for the development of a computational model. It is proposed that this is an ergonomically situated agent-based modeling. Thus individual, collective and emergent behaviors shown in human movement are a consequence of the initial system configuration, its neighborhoods, the self-organization of the agents and their local interactions.

1 Introdução

A maioria das pessoas passa boa parte de suas vidas inclusas em ambientes construídos. A nossa interação com estes ambientes influencia sobremaneira a nossa segurança e qualidade de vida. Dentro dos diversos aspectos envolvidos na interação com estes ambientes, os relacionados com a movimentação humana possuem um papel de destaque, já que nos movemos e trocamos continuamente de ambientes, mesmo estando numa mesma edificação ou sistema. Assim, os ambientes devem ser organizados, tendo layout e design apropriados, tanto para se facilitar as movimentações que irão ocorrer, quanto para minimizar as possibilidades de acidentes.

Devido à importância, existe uma série de critérios normativos e legais mínimos a serem considerados na organização e no projeto de edificações, espaços urbanos e outros ambientes a serem ocupados. Entretanto, as especificações normativas cobrem apenas algumas características, sendo importante um aprofundamento no estudo dos ambientes. Modelagens computacionais podem auxiliar nesta avaliação e promover o aprimoramento dos ambientes.

Mesmo ambientes que normalmente não possuem elevadas densidades populacionais podem se tornar perigosos em situações de fuga ou pânico, devido à possibilidade de concentração de pessoas buscando poucas rotas de saída e pela ocorrência da passagem em pontos não livres (portas, aberturas, escadas, quinas, barreiras, proximidades com paredes, curvas) que podem provocar demoras e colisões na movimentação.

Trabalhos na área de ergonomia envolvendo fenômenos complexos são geralmente focados em tarefas ditas sofisticadas. Neste trabalho, a simples movimentação humana, apesar de sua trivialidade aparente, é apresentada como sendo, por si só, rica em apresentação de comportamentos complexos. Esta é uma característica importante de ser compreendida, pois a complexidade pode tanto promover a melhoria do ambiente, como também resultar em graves acidentes.

Assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar o processo de movimentação humana em um ambiente construído como sendo um sistema ergonômico complexo; exemplificar diversas características ergonômicas que podem ser usadas como balizadoras de modelos computacionais para simular o processo de movimentação humana; e, propor as diretrizes para o desenvolvimento de uma modelagem computacional.

2 Fundamentação

O estudo e a modelagem de sistemas com comportamentos complexos têm alavancado grandes interesses de pesquisadores provenientes das mais diversas áreas de conhecimento, tais como física, matemática, engenharia, computação, medicina, sociologia, marketing. Tanto na segurança do trabalho quanto na ergonomia, o termo complexidade já tem sido muito empregado e discutido [VIDAL *et al.*, 2002; GRANT, 2002; VASONCELOS *et al.*, 2008; VIDAL *et al.*, 2009; DANIELLOU *et al.*, 2010; GONZÁLES & SAURIN, 2013]. Entretanto, devido à natureza ainda relativamente recente deste *modus* de aplicação do termo complexidade, tem-se a existência de uma miríade de conceituações para complexidade, tornando-se necessário uma prévia definição deste termo antes de se avançar o assunto.

No enfoque aqui presente, considerar-se-á estritamente um sistema complexo (ou com comportamento complexo) como aquele que possui elementos interativos e que exibe propriedades emergentes que não resultam da existência de um controlador central (adaptado de [BOCCARA, 2004]). Neste contexto, propriedades emergentes são características que eclodem como resultado da interação dos elementos que constituem o sistema.

Como exemplos de sistemas que podem possuir comportamentos complexos estão algumas implementações de autômatos celulares – AC, como as de Von Neumann, Conway e Wolfram [RUCKER, 2005; CASTRO & CASTRO, 2008].

Um AC pode ser definido como um sistema

dinâmico discreto que possui as seguintes características fundamentais [BOCCARA, 2004]:

- são constituídos por um conjunto discreto de sítios;
- evoluem em passos discretos de tempo;
- cada sítio assume valores dentro de um conjunto finito de possibilidades;
- os atributos de cada célula evoluem conforme as mesmas regras; e,
- as regras de transição dos atributos de uma célula é função dos atributos de uma vizinhança de células.

Assim, mesmo sistemas simples, dependendo de sua configuração, podem exibir comportamento complexo. Na Figura 1, é representada, graficamente, a evolução da implementação de um dos AC unidimensionais de Wolfram. Este é um exemplo de um sistema simples, que, dependendo dos valores de sua entrada, apresenta comportamento complexo.

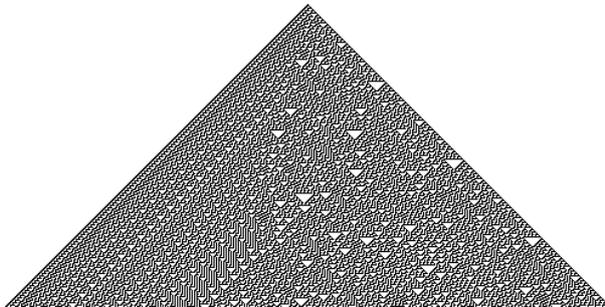


Figura 1. Evolução de um AC unidimensional de Wolfram [1984], como exemplo de um sistema simples apresentando comportamento complexo.

Nas figuras 2 e 3 são apresentados exemplos concretos da ocorrência, ou do efeito, da complexidade na movimentação humana. Modelos computacionais realísticos para a movimentação humana devem possibilitar a ocorrência destes fenômenos. Além disso, desenvolver estes modelos de modo que sejam baseados em agentes é um fator importante para que as iterações possam mais facilmente ocorrer.



Figura 2. Trilha formada pela frequente movimentação de pessoas por sobre uma área não inicialmente prevista para tal. Fonte imagem: [GOLDSTONE, 2006].

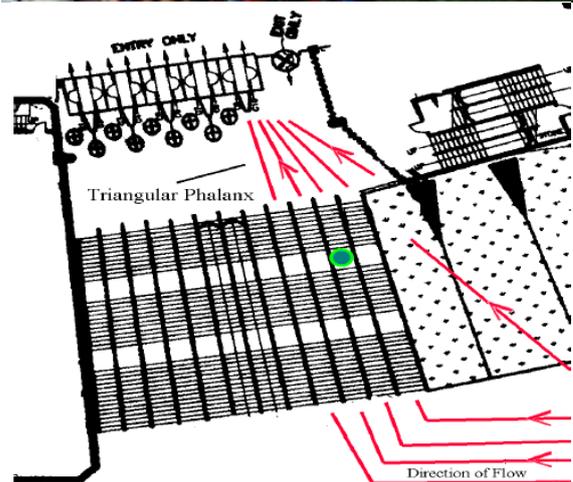


Figura 3. Pessoas se movimentando rumo à saída de um estádio de futebol que se desviaram do caminho estabelecido, desrespeitando inclusive barreiras físicas, atravessando por sobre o canteiro. Fonte imagens: [STILL, 2000].

3 Desenvolvimento

A seguir, são apresentados diversos parâmetros ou fatores, inclusive ergonômicos físicos, cognitivos e organizacionais, de modo a subsidiar uma modelagem da movimentação humana por agentes.

3.1 Representação do ambiente físico

Um passo fundamental na modelagem é a da definição de como será realizada a representação do ambiente físico. O ambiente físico real é tridimensional e contínuo. Entretanto, para simplificar e facilitar a modelagem sugere-se trabalhar com uma vista de topo (os ambientes seriam vistos de forma bidimensional) e discreta (matricial). No caso de ambientes de vários patamares, cada patamar pode ser visto de forma independente, bidimensional e discreta, que são unidos aos eventuais demais patamares por caminhos também assim representados.

Uma forma simples de representar esta matriz ambiente é que ela seja retangular e regular (todos os elementos de sua malha representam um espaço igual no mundo real), e cujo valor de cada elemento desta matriz ambiente tenha um significado específico, indicando o que aquele espaço do mundo real representa. Em relação à resolução desta matriz ambiente, quanto menor a for essa resolução maior será a precisão, mas, naturalmente, mais elevado também será o custo computacional.

3.2 Representação das pessoas

Pessoas são como objetos tridimensionais e uma completa descrição de sua altamente desenvolvida e sofisticada sequência de movimentos numa marcha humana [VIEL, 2001] não é um assunto trivial. Entretanto, a grande maioria dos pesquisadores desenvolve seus modelos e estudos baseados em duas dimensões, considerando simplesmente a projeção vertical do corpo [PELECHANO *et al.*, 2008], sem levar em consideração o efeito do movimento sobre a forma do perfil do corpo. Alguns autores consideram que o comprimento dos ombros e a largura do corpo são as medidas primárias requeridas para estudos

sobre espaços e instalações para pedestres. Segundo Fruin (adaptado de [STILL, 2000]): “A profundidade do corpo e largura do ombro são as medidas primárias humanas a serem utilizadas na determinação de espaços para pedestres e instalações. A largura do ombro é o principal fator no projeto de portas e passagens. Muitas escadas são projetadas para permitir a passagem de duas ou mais pessoas, mas na verdade têm largura insuficiente para esta finalidade.”

Conforme Cucci neto [1996], pesquisas feitas nos Estados Unidos consideram que o corpo visto por cima pode se resumir a uma elipse de 60,9 cm (comprimento do corpo) por 45,7 cm (largura do corpo) tendo uma área média de 0,28 m² (este valor foi tendenciosamente superior à média real de forma a se compensar, um pouco, as grandes variações dimensionais humanas). Outros autores consideram em suas pesquisas valores inferiores mais realistas, como Fruin [STILL, 2000] que aproxima o corpo humano a uma elipse de 58 cm por 33 cm, ou Schadschneider *et al.* [2009] que considera a área média ocupada de 0,2 m².

Alguns autores [HELBING *et al.*, 2000; PEREIRA, 2007] consideraram em seus estudos o corpo visto por cima como uma simples circunferência ou um quadrado, respectivamente. [STILL, 2000] considerou duas possibilidades de representação, uma mais realística, e outra mais simples (um quadrado). A representação mais realista foi usada para a representação gráfica, mas, para a realização de alguns cálculos mais sofisticados, o formato considerado foi simplesmente o quadrado, então considerado como sendo uma espécie de área hipotética de influência. A *National Institute of Standards and Technology - NIST* [KULIGOWSKI & PEACOCK, 2005] considera em seus modelos uma geometria distinta constituída por três círculos formando o torso e os ombros.

Além disso, existem pessoas que, por características especiais, irão requerer mais espaço para seu deslocamento e passagem, tais como pessoas que se utilizam de muletas, cadeiras de rodas, que transportam crianças em veículos pedestres ou se locomovem com ajuda de um cão

guia [PANERO & ZELNIK, 1998; ABNT, 2004].

3.3 Rotas preferenciais

Quando uma pessoa idealiza ou antecipa mentalmente um percurso, ela o faz baseado em vários fatores. Geralmente, o principal fator, e que deverá ser parametrizado, é o de se realizar o percurso na menor distância aparente ou perceptível possível (ou na maior velocidade para atingir o objetivo com o mesmo ou o menor esforço físico). Um algoritmo do tipo "busca em profundidade" pode ser implementado para a determinação de algumas destas rotas preferenciais [PELECHANO *et al.*, 2008; BRAGA *et al.*, 2016].

3.4 Velocidade de deslocamento

A determinação da velocidade normal de encaminhamento varia de forma extensiva em relação à população, e mesmo um único indivíduo pode apresentar diferentes velocidades dependendo da situação momentânea. Abley [2007] destaca os seguintes fatores: idade, condição física e gênero do indivíduo; familiaridade da rota; finalidade do encaminhamento; comprimento do percurso; características da rota (largura de passagem, tipo de pavimentação, mudança de nível); condições de visibilidade; condições meteorológicas; se sozinho ou acompanhado; densidade populacional; sentido do fluxo; barreiras diversas; e aspectos cognitivos. Acrescenta-se, também, a estatura como um fator importante [OKUNO *et al.*, 1986, p. 454]. Fatores angustiantes podem induzir uma aceleração da velocidade de deslocamento, similar ao que pode ocorrer em algumas situações de trabalho [ROSSI *et al.*, 2009].

Uma possibilidade para a determinação da velocidade média de deslocamento está na sua relação com a percepção que a pessoa tem da distância entre ela mesma e algum obstáculo à frente [THOMPSON & MARCHANT, 1995]. Segundo estes, a partir de um limiar mínimo, a velocidade de encaminhamento se eleva de forma linear com o aumento da distância entre pessoas, até que, em um certo ponto (cerca de 90 cm), começa a diminuir o ritmo de seu crescimento até se estabilizar em um valor fixo para distâncias

entre pessoas acima de aproximadamente 1,6 m.

Os valores da velocidade de deslocamento variam em patamares diferentes, dependendo da população específica em estudo, mas seguindo um formato de curva característico.

3.5 Nível de estresse

Obviamente que as questões psicológicas e cognitivas são fundamentais em qualquer abordagem ergonômica mais completa [VIDAL & CARVALHO, 2008; VACONCELOS *et al.*, 2010]. Uma destas questões é saber como o nível de estresse pode influenciar numa tomada de decisão. Staal [2004] considera que a habilidade de uma tomada de decisão varia com o nível de estresse a qual a pessoa está submetida conforme um "U" invertido. Assim, segundo esta hipótese, as pessoas sujeitas a um nível de estresse intermediário tomam melhores decisões do que as pessoas sujeitas a um nível de estresse considerado baixo ou considerado elevado. Adicionalmente, em caso de nível de estresse muito alto, um comportamento denominado de não adaptativo pode acontecer nas pessoas, onde ocorre uma perda ou deterioração dos acordos sociais normalmente praticados [PAN *et al.*, 2007]. A resposta ao nível de estresse é uma questão individual (em situações de emergência, um bombeiro treinado poderá ter uma resposta e comportamento diferente do apresentado por uma pessoa não treinada) e influenciada pela situação.

3.6 Zona de conforto

Em situações de médio estresse, procura-se manter a velocidade normal de deslocamento. Nesta situação, normalmente se procura evitar andar demasiadamente perto de paredes e obstáculos. Isto está relacionado a fatores como busca de segurança, já que um choque eventual com um obstáculo pode ser evitado se a movimentação ocorrer a certa distância do obstáculo [STILL, 2000], ou sociais, como a busca por um espaço de conforto [PAN *et al.*, 2007].

Outra situação relacionada com a existência de zonas de conforto é no caso da movimentação acontecer como algum grupo social coeso, como

em família, por exemplo, onde se pode procurar manter a ocorrência de uma movimentação em conjunto. Isto pode ser mais complicado em situações de médio e alto estresse.

3.7 Efeito inércia

Uma vez iniciado um percurso como resultado de uma decisão tomada, tendo sido alterados os estímulos que resultaram neste movimento, um novo movimento pode não acontecer imediatamente, podendo haver uma tendência de se manter o movimento anterior, pelo menos durante algum tempo.

Além disso, numa movimentação as pessoas reagem continuamente ao observado no ambiente (assim como o restante do ambiente também é influenciado continuamente pelo comportamento das pessoas, tudo ao mesmo tempo). Entretanto, dependendo dos estímulos recebidos ou gerados, uma mesma ação pode não ser alterada a todo tempo. Uma pessoa toma uma decisão de certo caminho a seguir (pode ser poucos passos) e, durante este trajeto, não recebendo novos estímulos, simplesmente o mantém e muda seu foco principal para outras decisões. Recebendo um novo estímulo (ou cessando o percurso definido), volta a ter como foco um novo trajeto a seguir.

3.8 Tempo de reação em emergência

Quando uma situação de emergência se inicia, as pessoas irão levar um tempo para perceberem o acontecimento (t_r – tempo de reconhecimento), outro tempo para iniciarem efetivamente uma reação (t_a – tempo de resposta ou ação) e ainda o tempo efetivo de escape (t_m – tempo de movimento). Este somatório de tempos (t_T – tempo total gasto) deve ser considerado na concepção de um ambiente [GOUVEIA & ETRUSCO, 2002], onde:

$$t_T = t_r + t_a + t_m \quad (1)$$

Este tempo de reação é muito variável de pessoa para pessoa (por força da idade, concentração, características físicas e cognitivas), além de depender de como a situação de emergência é

percebida pelos envolvidos (sinal sonoro, movimentação de outras pessoas, cheiro ou sinal de fumaça, visualização de algum perigo e da sua distância ao mesmo, percepção do risco). O tempo de resposta pode variar de alguns segundos a até mesmo horas.

3.9 Sinalização visual e sonora

A sinalização visual é um aspecto importante em um ambiente. Ela serve como indicativo para direcionar aqueles que não sabem localizar os pontos de interesse, como, por exemplo, as saídas de emergência ou pontos de refúgio, tanto em situações de normalidade quanto em caso de anormalidade, como falta de iluminação ou bloqueio por fumaça. Também é muito importante para indicar a localização dos equipamentos de combate a incêndio, tais como hidrantes e extintores, ou como avisos de alerta ou instruções de segurança e conduta. Assim, a interação das pessoas com a sinalização pode ter um papel muito importante no processo de movimentação.

Entretanto, com relação à sinalização visual, destacam-se alguns problemas. Em certos ambientes, como alguns grandes centros comerciais, apesar da existência da sinalização de emergência, a sua devida visualização pode ser dificultada pela eventual elevada quantidade de outros tipos de sinalizações (ou estimulações visuais) existentes (excesso de poluição visual). Isto dificulta tanto a própria localização da sinalização de emergência, como também sua devida interpretação.

Outro ponto é que, apesar de existir disponível toda uma tecnologia apropriada capaz de auxiliar para que a sinalização possa ser eficaz, mesmo em algumas situações críticas, em muitos casos a sinalização efetivamente aplicada é de baixa qualidade, servindo apenas para atendimento mínimo quanto às exigências dos requerimentos prescritivos legais. A manutenção apropriada da sinalização é outro fator importante, cujos responsáveis pelo ambiente não devem se descuidar.

A sinalização sonora também possui um

importante papel, mas o público alvo da sinalização sonora deve estar devidamente condicionado para reconhecê-la e agir conforme o esperado.

3.10 Quedas e acidentes

Quedas e acidentes na movimentação não podem ser desconsiderados; pelo contrário, tem um papel importante. As consequências podem ser desde um desequilíbrio momentâneo sem queda (efeito malabarista), a até mesmo uma grave lesão ou morte.

Acidentes podem acontecer com pessoas de qualquer idade, mas quanto mais idosa a pessoa maior o risco. Outros grupos de risco importantes são os adolescentes e de pessoas sob efeito de drogas ou álcool que, em uma situação de pânico (comportamento não adaptativo) ou superpopulação, favorecem o acontecimento de acidentes.

3.11 Tipo e qualidade do piso

O tipo e a qualidade do piso também podem favorecer a ocorrência de acidentes, por escorregões, tropeções ou desequilíbrios. Evidentemente que uma mudança de nível (escada, passarela, degrau, descontinuidades, defeitos, etc.) impacta nas condições da movimentação.

Entretanto, mesmo num mesmo nível, o tipo e a qualidade do piso têm grande relevância. Diferentes tipos de piso (concreto, asfalto, pedras, tacos, madeira, blocos artificiais, agregados, grama, terra, brita, areia), assim como sua condição (molhado, seco, sujo), propiciam diferentes características e dificuldades de movimentação e segurança que devem ser considerados.

A existência de defeitos ou desníveis que podem passar despercebidos é um fator agravante e pode provocar acidentes. Bird *et al.* [2006] estudou esta relação e verificou que para defeitos não percebidos de 6 mm, cerca de 10% dos transeuntes podem tropeçar nos mesmos; para defeitos de 15 mm, cerca de 50% dos transeuntes poderão tropeçar; para defeitos de 40 mm, quase a

totalidade dos transeuntes poderão tropeçar; e, já para defeitos maiores de 40 mm, a probabilidade de um transeunte tropeçar diminui devido a maior visibilidade do defeito.

3.12 Fatores organizacionais

Estes fatores têm uma importância primordial e não podem ser deixados de lado na concepção de um ambiente. Um ambiente pode ser devidamente projetado, mas a organização pode com o tempo alterar as suas características ou não efetuar as manutenções devidas. Estas alterações podem ocorrer por vários motivos, tais como econômicos, por desconhecimento, ou para minimização dos riscos.

Os responsáveis devem ser treinados sobre a importância da manutenção do ambiente conforme previamente planejado, e mesmo mínimas alterações, tanto no leiaute como na ocupação, somente podem ocorrer após uma reanálise do projeto da edificação por parte de profissional especializado.

Como exemplos de interferências organizacionais podem ser citados: a não formação ou reciclagem da brigada de emergência; a não inspeção e manutenção, ou uma alteração, nos sistemas de proteção, ou da própria edificação, ou dos seus elementos e sistemas (elétricos, hidráulico, gás, estrutural, etc.); bloqueio de saídas de emergência ou dos equipamentos de proteção; alterações do leiaute ou ocupação; interdição parcial ou total das rotas de fuga; alteração da carga de incêndio; não controle da população, dentre outras.

3.13 Outros fatores

São diversos os outros fatores envolvidos, tais como os fatores ambientais, coletivos e sociais, que podem também influenciar na modelagem pretendida. Fatores ambientais, e assemelhados dos mais diversos, tais como ruído, temperatura, fumaça, umidade, iluminação, vapores, gases, vibração, além de alterarem a segurança do ambiente, também influenciam no comportamento humano.

Em relação aos efeitos coletivos, são muitas as

possibilidades de ocorrência na movimentação humana. Como exemplo, uma edificação pode possuir duas ou mais saídas de emergência, que em princípio atenderiam as necessidades desta edificação, mas, por efeitos coletivos, a maioria da população pode buscar uma única saída ou rota de fuga durante uma evacuação, que ficará sobrecarregada, enquanto as outras ficam subutilizadas.

Fatores sociais também são importantes. Pessoas se movendo como um grupo social (uma família, por exemplo) tendem a se manter coesas, o que pode ser positivo no que se refere a segurança dos elementos mais frágeis deste grupo, mas que também pode trazer riscos a todo o grupo.

4 Discussões

São diversos os parâmetros envolvidos na movimentação humana e suas inter-relações. Vários destes parâmetros foram anteriormente tratados. Para que se possa realizar a simulação, estes parâmetros precisam ser incorporados em um algoritmo computacional e valorados dentro de um sistema de tomada de decisão.

Existe uma enorme gama de possibilidades de como desenvolver o modelo, mas duas características geralmente antagônicas são importantes, a simplicidade e a qualidade, visando à obtenção de um baixo custo computacional na sua efetiva implementação associado com a possibilidade da obtenção de bons resultados na simulação.

Na modelagem baseada em agentes, cada pessoa simulada terá incorporadas suas características e irá interagir com o ambiente, percebendo deste ambiente suas propriedades, e tomando, por sua própria iniciativa, a escolha do roteiro e forma de movimentação. Esta forma de modelagem não obrigará nenhuma das pessoas simuladas a tomarem uma decisão; o processo decisório é individual e particular, e deste comportamento individual espera-se obter os efeitos coletivos e complexos que ocorrem numa movimentação real via uma auto-organização do sistema e de suas relações locais.

A Figura 4 apresenta de forma estilizada a movimentação humana como um sistema ergonômico, onde a auto-organização e relações locais podem resultar em complexidade.

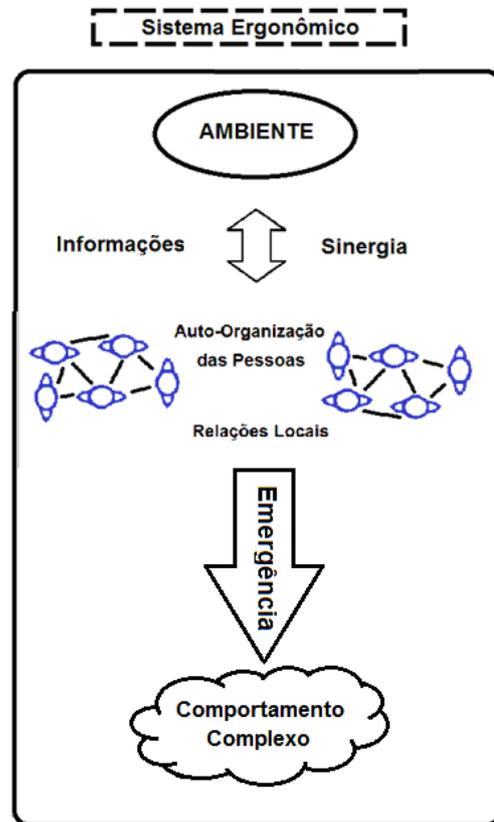


Figura 4. Representação da movimentação humana como um sistema ergonômico, onde a auto-organização e relações locais podem resultar no surgimento da complexidade.

5 Conclusões

Neste trabalho demonstrou-se que a movimentação humana, mesmo por si só, já está inclusa em um sistema ergonômico, onde os aspectos físicos, organizacionais, cognitivos e ambientais se fazem extensamente presentes. Também se demonstrou que, apesar da movimentação humana ser aparentemente simples e corriqueira, a complexidade ou o surgimento de fenômenos emergentes tem um papel muito importante no seu desenvolvimento e deve ser considerada para o design de ambientes mais seguros e eficientes.

Assim, a modelagem baseada em agentes, elaborada de forma ergonomicamente situada, pode ser uma poderosa ferramenta computacional para simulação da movimentação humana em um contexto de complexidade, onde relações locais poderão gerar auto-organização.

BIBLIOGRAFIA

ABLEY, S. **Walkability tools research: variables, collection and methodology**, Nova Zelândia: LNTZ, abr., 2007, 65 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9050:2004** – acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, dez., 2005, 97 p.

BIRD, S.; SOWERBY, C.R. & ATKINSON, V.M. **Development of a risk analysis model for footways and cycle tracks**, Berkshire: UK: Transport Research Laboratory, 2006, 74 p. Published Project Report TRL 171.

BOCCARA, N. **Modeling complex systems**, Springer, 2004. 397 p.

BRAGA, H.C.; MOITA, G.F. & ALMEIDA, P.E.M. Comparação entre os Algoritmos de Busca pela Vizinhança de Von Neumann ou de Moore para Geração do Mapa de Distâncias em um Ambiente Construído, **Abakós**, v. 4, n. 2, maio 2016, p. 20-40.

CASTRO, M.L.A. & CASTRO, R.O., Autômatos Celulares: implementações de Von Neumann, Conway e Wolfram. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 3, n. 3, 2008. p. 89-106.

CUCCI NETO, J. **Aplicações da engenharia de tráfego na segurança dos pedestres**, São Paulo: Escola Politécnica: Universidade de São Paulo, 1996, 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes).

DANIELLOU, F.; SIMARD, M. & BOISSIÈRES, I. **Facteurs humains et organization els de la sécurité industrielle: um ét at de l'art**. Toulouse:

FonCSI. 2010, 124 p. Numéro 2010-2 des Cahiers de la Sécurité Industrielle.

GOLDSTONE, R.L. & ROBERTS, M.E. Self-organized trail systems in groups of humans, **Complexity**, v. 11, n. 6, 2006, p. 43-50.

GONZÁLEZ, S.S. & SAURIN, T.A. Princípios para gestão de procedimentos em sistemas sócio-técnicos complexos, **Ação Ergonômica**, v. 8, n. 1, 2013, p. 48-62.

GOUVEIA, A.M.C. & ETRUSCO, P. Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil, **REM - Revista da Escola de Minas**, v. 55, n. 4, out-dez, 2002, p. 257-261.

GRANT, C.B. Theory of complex communication, **Ação Ergonômica**, v. 1, n.3, 2002, p. 21-37.

HELBING, D.; FARKAS, I. & VICSEK, T. Simulating Dynamical Features of Escape Panic, **Nature**, v. 407, set., 2000, p. 487-490.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**, 2a ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2010, 614 p.

KULIGOWSKI, E. & PEACOCK, R.D. **A review of building evacuation models**, NIST, 2005, 156 p. Technical Note 1471.

OKUNO, E.; CALDAS, I.L. & CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**, São Paulo: Harbra, 1986, 490 p.

PAN, X. *et al.* A Multi-agent Based Framework for the Simulation of Human and Social Behaviors during Emergency Evacuations, **AI and Society**, n.2, v. 22, 2007, p. 113-132.

PANERO, J. & ZELNIK, M., **Las dimensiones humanas em los espacios interiores**, México: G. Gili, 8a ed., 1998, 320 p.

PELECHANO, N., ALLBECK, J. & BADLER, N. **Virtual Crowds: methods, simulation, and control**. San Rafael: Morgan & Claypool Publishers, 2008.

PEREIRA, L. **Estudo do tempo de evacuação**

total em ambientes gerais via autômatos finitos. Belo Horizonte: Departamento de Estatística: UFMG, 2007, 63 p. Dissertação (Mestrado em Estatística).

ROSSI, E.Z.; MENDES, A.M.; SIQUEIRA, M.V. & ARAÚJO, J.N.G. Sedução e servidão em um caso de LER/DORT: diálogo entre a Psicodinâmica do Trabalho e a Sociologia Clínica, **Psicologia Política**, v. 9, n. 18, 2009, p. 313-330.

RUCKER, R. **The lifebox, the seashell and the soul.** New York: Thunder's Mouth Press. 2005, 149 p.

SCHADSCHNEIDER, A., *et. al.* Evacuation dynamics: empirical results, modeling and applications. In: **Encyclopedia of Complexity and System Science**. Ed. B. Meyers, Springer, Berlim, 2009. 57 p.

STAAL, M.A. **Stress, cognition and human performance:** a literature review and conceptual framework. NASA, 2004. 171 p.

STILL, G.K. **Crowd dynamics.** Warwick: Department of Mathematics: University of Warwick, 2000, 280 p. Tese (Doctor of Philosophy in Mathematics).

THOMPSON, P.A. & MARCHANT, E.W. Testing and application of the computer model "SIMULEX", **Fire Safety Journal**, n. 24, 1995, p. 149-166.

VASCONCELOS, C.S.F.; VILLAROUCO, V. & SOARES, M.M. Contribuição da psicologia ambiental na análise ergonômica do ambiente

construído. **Ação Ergonômica**, n. 5, v. 3, 2010, p. 14-20.

VASCONCELOS, R.C.; LIMA, F.P.A.; CAMAROTTO, J.A.; ABREU, A.C.M.S. & COUTINHO FILHO, A.O.S. Aspectos de complexidade do trabalho de coletores de lixo domiciliar: a gestão da variabilidade do trabalho na rua, **Gestão & Produção**, v. 15, n. 2, 2008, p. 407-419.

VIDAL, M.C.; BONFATTI, R.J. & CARVÃO, J.M. Ação ergonômica em sistemas complexos – proposta de um método de interação orientada em situação: a conversa-ação, **Ação Ergonômica**, v. 1, n. 3, 2002, p. 39-64.

VIDAL, M.C. & CARVALHO P.V.R. **Ergonomia cognitiva:** raciocínio e decisão no trabalho. Rio de Janeiro: EVC, 2008. 192 p.

VIDAL, M.C.; CARVALHO, P.V.R.; SANTOS, M.S. & SANTOS, I.J.L. Collective work and resilience of complex systems, **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 22, n. 4, 2009, p. 516-527.

VIEL, É. **A marcha humana, a corrida e o salto:** biomecânica, investigações, normas e disfunções. Barueri: Manole, 2001. 277 p.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a CAPES pelo suporte obtido.