

IMPLEMENTAÇÃO DE ALGUNS FATORES ERGONÔMICOS FÍSICOS E COGNITIVOS PARA A SIMULAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO HUMANA

IMPLEMENTATION OF SOME PHYSICAL AND COGNITIVE ERGONOMIC FACTORS FOR THE SIMULATION OF THE HUMAN MOVEMENT

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, Simulação Computacional

Resumo: São diversos os fatores ergonômicos físicos e cognitivos envolvidos na movimentação humana e suas inter-relações. Neste trabalho é detalhada a metodologia efetivamente utilizada na implementação computacional das variáveis dimensões do corpo humano, rotação das pessoas, velocidade normal de movimentação, tempo de reação para uma tomada de decisão e campo de visão. Neste processo de implementação é buscado um balanço entre precisão da representação e seu respectivo custo computacional. O programa Fuga v. 2.0 efetivamente usa estas variáveis conforme detalhado. Um exemplo de simulação é apresentado.

Human Movement, Ergonomics, Computational Simulation

Abstract: There are several physical and cognitive ergonomic factors involved in the human movement and their interrelationships. In this work, the methodology used in the computational implementation of the variables human body size, people rotation, velocity of human movement, reaction time for a decision making and field of vision is described. In this implementation process a balance between accuracy of representation and its respective computational cost is sought. The program Fuga v. 2.0 effectively uses these variables as detailed. One example of simulation is presented.

1 Introdução

A movimentação humana em ambientes construídos tem uma grande importância no nosso cotidiano. O modo como ela é realizada pode influenciar tanto a nossa qualidade de vida como até mesmo a nossa segurança pessoal. A organização, o layout e o design de um ambiente construído tem grande relevância para o desempenho deste ambiente em termos de qualidade e segurança.

Modelagens computacionais podem ajudar a compreender e a melhorar um ambiente de uma maneira complementar à simples aplicação das normas prescritivas aplicáveis. Para a efetiva implementação do modelo computacional, diversos fatores ergonômicos devem ser considerados para que a simulação fique o mais útil possível, mas que também possa ser realisticamente implementada.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar detalhadamente como foi realizada a efetiva implementação computacional de algumas variáveis ergonômicas físicas e cognitivas dentro do programa Fuga v. 2.0, desenvolvido para a realização da simulação da movimentação humana.

2 Desenvolvimento

2.1 Fatores antropométricos

Os fatores antropométricos têm um papel fundamental na modelagem. Pessoas são como objetos tridimensionais e uma completa descrição de sua altamente desenvolvida sequência de movimentos não é trivial [VIEL, 2001]. Entretanto, conforme também considerado por diversos pesquisadores, o atual modelo é baseado em duas dimensões consistindo simplesmente na projeção vertical do corpo.

Pesquisas feitas nos Estados Unidos [CUCCI NETO, 1996] 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. Estes valores são propositalmente tendenciosos para

cima (são maiores que a média real obtida em estudos de dimensões humanas) de forma a se proteger ou compensar um pouco das grandes variações destes valores.

Já outros autores consideram em suas pesquisas valores inferiores, que aproxima o corpo humano a uma elipse de 58 cm por 33 cm [STILL, 2000]. O *National Institute of Standards and Technology* – NIST, por outro lado, considera em seus modelos uma geometria distinta (não elíptica) constituída por três círculos formando o torso e os ombros [KULIGOWSKI, PEACOCK, 2005].

Outros autores [HELBING *et al.*, 2000; PEREIRA, 2007; BRAGA *et al.*, 2016] consideraram em seus estudos o corpo visto por cima como uma simples circunferência ou quadrado, respectivamente. Na verdade não existe um perfil único, já que se tem uma enorme variabilidade entre países, etnias, idade, gênero e mesmo entre indivíduos (a muito discutida falácia do homem médio).

Além disso, existem pessoas, que por suas características especiais, irão requerer mais espaço para seu deslocamento e passagem, como as Pessoas com Deficiência (PcD), independente se permanente ou temporária, que utilizam muletas ou cadeiras de rodas; além de casos como pessoas que transportam crianças em veículos pedestres [PANERO & ZELNIK, 1998]. Até mesmo a própria vestimenta usada pode influenciar na área ocupada [PREDECHENSKII & MILINKII, 1978].

Devido então a sofisticação do formato humano, a modelagem usualmente simplifica seu formato visando possibilitar uma maior facilidade no desenvolvimento dos algoritmos implementados, assim como propiciar um aumento na velocidade de processamento. Como exemplo, é apresentada na Figura 1 uma representação realista do corpo humano para três agentes (vista de topo), assim como (em verde) uma representação destes agentes apenas em forma de um quadrado. É como se os quadrados representassem a área hipotética de influência do corpo, para fins de simulação.

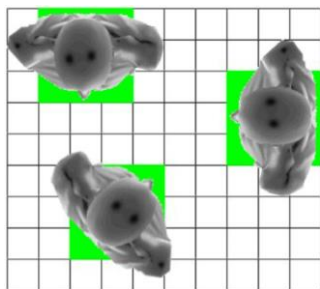


Figura 1: Representação (vista de topo) de três agentes em forma realística e também como um simples quadrado (em verde). Fonte imagem: [STILL, 2000].

Mesmos nos programas comerciais mais sofisticados, não é raro serem percebidos problemas de conflitos físicos causados muitas vezes por estas simplificações nos algoritmos ou na representação das pessoas (Figura 2). Ainda existem casos em que o programa pode possuir uma parte de computação gráfica bem desenvolvida, mas cujos algoritmos efetivamente empregados na movimentação, ou animação, usam outras relações mais simplificadas (o que é visto é diferente do que é processado).

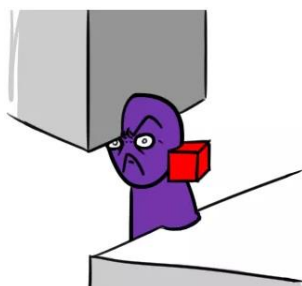


Figura 2: Representação de problemas de penetração causados por simplificações em algoritmos. Fonte imagem: <http://www.meanlook.org/pt/2016/05/> (acessado em 01 mar 2017).

Neste trabalho, considerando a representação pela sua projeção vertical, não será realizado nenhuma forma de simplificação do formato humano. Este será considerado no seu formato mais realístico possível, exceto pela sua discretização. É adotado como resolução (r) pixels quadrados de 5 cm lado. Considerando a finalidade científica do programa, o formato humano usado nos algoritmos da simulação será o mesmo utilizado na sua representação gráfica.

Para melhor representar a variabilidade entre

tamanhos de diferentes pessoas, serão consideradas três variações, denominadas de tamanho pequeno, médio e grande. Estas variações de tamanho englobam pelo menos 95% da população adulta [STILL, 2000].

Para a discretização dos perfis, empregou-se o seguinte método:

- inicialmente a imagem da projeção, sem nenhuma simplificação, é superposta e centrada a uma malha composta por campos de 5 cm de lado;
- quando, dentro de um destes campos de 5 cm de lado, a imagem do perfil humano ocupar mais da metade de sua área interna, este campo (pixel) é considerado totalmente preenchido;
- entretanto, se a imagem do perfil humano ocupar menos da metade da sua área interna, este campo (pixel) é considerado totalmente vazio; e
- realizando este processo para todo o perfil se obtêm a melhor representação humana possível em vista de topo, dentro dos limites da discretização adotada.

Ajustes pessoais também foram realizados para se manter a simetria hemisférica da representação do corpo (lados direitos e esquerdos mantidos iguais).

A Figura 3 ilustra este processo e a Tabela 1 resume algumas das principais características dimensionais dos três tamanhos de corpos humanos considerados na modelagem.

Pequeno

Médio

Grande

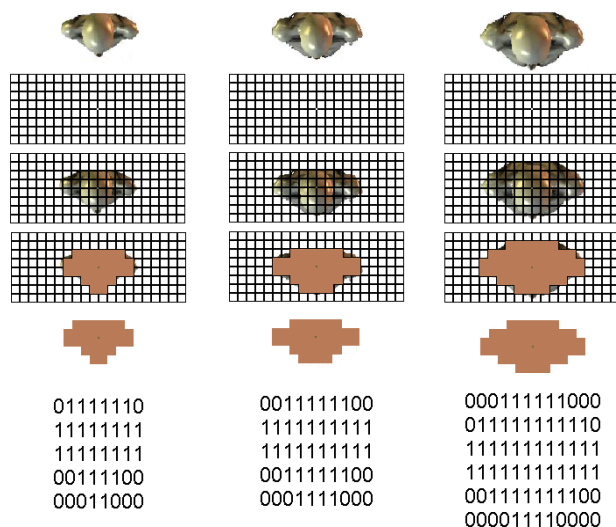


Figura 3: Corpo humano, da projeção horizontal realista [STILL, 2000] até sua representação binária ($r = 5$ cm).

Tabela 1: Características dimensionais dos corpos humanos discretizados da Figura 3 (vista de topo).

Corpo Humano	Características dimensionais dos corpos humanos discretizados (projeção vertical)	
	Área	Maiores dimensões (comprimento entre os ombros x largura)
Pequeno	28 pixels (ou 700 cm ²)	8 pixels x 5 pixels (ou 40 cm x 25 cm)
Médio	36 pixels (ou 900 cm ²)	10 pixels x 5 pixels (ou 50 cm x 25 cm)
Grande	52 pixels (ou 1300 cm ²)	12 pixels x 6 pixels (ou 60 cm x 30 cm)

Obs.: Cada pixel representa um quadrado de 5 cm x 5 cm no mundo real.

2.2 Rotação das pessoas

Neste modelo, é possível o movimento de rotação dos agentes. Assim, se torna necessário a caracterização das pessoas no ambiente em diferentes ângulos. Devido ao formato mais realista adotado para representação das pessoas, a rotação das mesmas no ambiente deve ser realizada criteriosamente. Esta angulação ocorrerá então por mapeamento através de uma transformação de rotação [AMMERAAL & ZHANG, 2008]. Na Figura 4 se apresenta uma pessoa média no seu posicionamento básico sobre um sistema de coordenadas no plano xy .

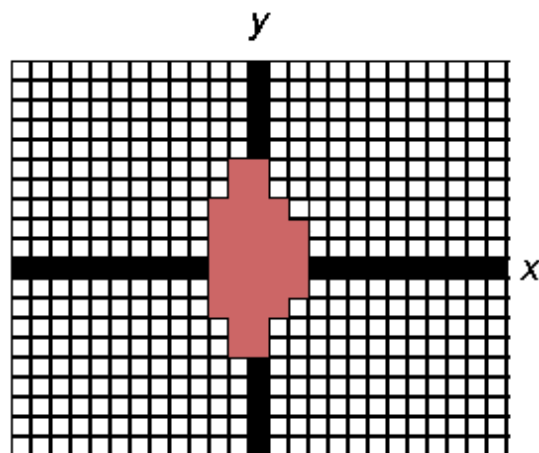


Figura 4: Pessoa média no seu posicionamento básico.

A rotação desta pessoa (ou de todos os pontos que compõem esta pessoa) em um ângulo φ sobre o sistema de coordenadas xy pode ser realizada pela substituição de cada ponto individual da pessoa que se localiza nas coordenadas x_i e y_i , por um novo ponto que se localiza nas coordenadas x_i' e y_i' . Estes pontos se relacionam entre si pela seguinte matriz de rotação:

$$\begin{bmatrix} x_i' & y_i' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i & y_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (1)$$

Em ambientes contínuos, esta é uma transformação reversível. Entretanto, no contexto deste trabalho, esta transformação não pode rigorosamente ser considerada como reversível devido às simplificações causadas pela discretização.

Para evitar a propagação de erros que resultariam na contínua deformação no formato do corpo das pessoas com a evolução da simulação, a transformação de rotação sempre se dará somente em relação à posição base (Figura 4), e não em relação à posição anterior na qual o agente se encontrava.

Finalmente, na Figura 5 se apresenta como exemplo, um ambiente circular com 20 m de diâmetro com agentes nos três tamanhos incorporados no modelo (pequeno, médio e grande) a serem simulados separados em grupos contendo cinco pessoas cada em diversas

angulações em relação ao posicionamento básico.

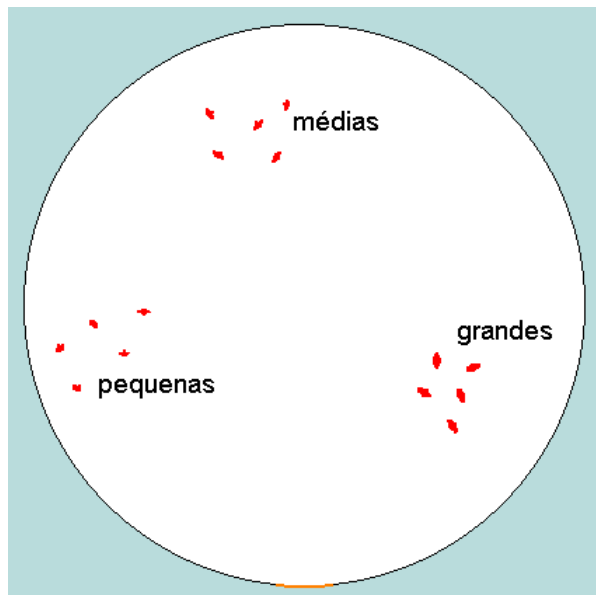


Figura 5: Ambiente circular de 20 m de diâmetro com três conjuntos de cinco agentes agrupados conforme seus tamanhos (pequeno, médio e grande) em diversas angulações.

2.3 Velocidade normal de movimentação

A determinação da velocidade normal de movimentação varia de forma extensiva em relação à população, e o mesmo indivíduo pode apresentar diferentes velocidades dependendo da situação momentânea externa ou intrínseca ao mesmo, tais como [adaptado de ABLEY, 2007]: altura [OKUNO et al., 1986, p. 454], idade, condição física e gênero do indivíduo; familiaridade da rota; finalidade do deslocamento; comprimento do percurso; características da rota (largura de passagem, tipo de pavimentação, mudança de nível); condições de visibilidade; condições meteorológicas; se sozinho ou em grupo; densidade populacional; sentido do fluxo; barreiras diversas; e aspectos cognitivos e mesmo culturais.

Para ilustrar esta grande variabilidade, na Tabela 2 se apresenta uma relação das velocidades médias de deslocamento em função da idade e sexo obtidas para a travessia de ruas em situações de baixa densidade populacional. Nota-se que os homens se locomovem normalmente mais

rapidamente que as mulheres, assim como, independente do sexo, a velocidade média é reduzida pela elevação da idade. Tem-se também que uma criança ou um deficiente físico reduz significativamente a velocidade média do acompanhante.

Tabela 2: Velocidade média de movimentação com baixa densidade populacional e sem barreiras.

Idade e Sexo	Velocidade Média (m/s)
Homens com menos de 55 anos	1,7
Homens com mais de 55 anos	1,5
Mulheres com menos de 55 anos	1,4
Mulheres com mais de 55 anos	1,3
Mulheres com crianças	0,7
Crianças de 6 a 10 anos	1,1
Adolescentes	1,8
Deficientes físicos	0,45
Deficientes visuais	1,0

Fonte: adaptado de [CUCCI NETO, 2000].

Pela sua importância, das diversas variáveis que influenciam na velocidade de movimentação, a influência da percepção visual que uma pessoa tem da distância entre si e de outras pessoas, ou de obstáculos como paredes, nas proximidades será mais profundamente tratada.

[THOMPSON & MARCHANT, 1995] estudaram esta relação entre a velocidade “normal” de movimentação (v_w) em função da distância a mais próxima pessoa à frente (d) para três grupos distintos, homens de 20 anos, mulheres de 50 anos e para a população média (Figura 6).

Observando estas curvas da Figura 6 se verifica uma similaridade no formato de todos os grupos. Assim, na Figura 7, é apresentada a curva geral de v_w em função de d . As pessoas representadas na Figura 6 não estão submetidas a nenhuma situação especial de estresse, portanto se considera que este perfil foi livremente gerado. Assim, de certo modo, esta curva sintetiza tanto os aspectos físicos quanto cognitivos das pessoas em movimentação normal.

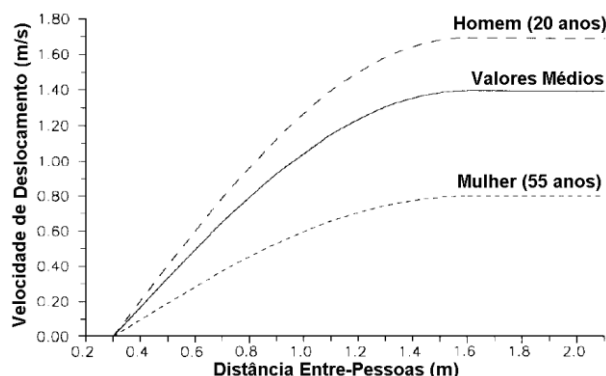


Figura 6: Relação entre a velocidade “normal” de movimentação em função da distância a próxima pessoa mais a frente.

Fonte: adaptado de [THOMPSON & MARCHANT, 1995].

Na Figura 7, as variáveis apontadas são: d_0 (distância mínima entre pessoas ou a espessura média do corpo humano), v_c (velocidade de cruzeiro ou velocidade máxima normal) e d_s (distância estacionária ou a menor distância onde v_c é alcançado). Ainda de [THOMPSON & MARCHANT, 1995], d_0 é considerado como sendo 30 cm, v_c é considerado como sendo 1,8 m/s para homens com 20 anos, ou 0,8 m/s para mulheres de 55 anos, ou como sendo 1,4 m/s como valor médio para a população, e d_s é considerado como sendo 1,6 m. Pela Figura 7, quando d é menor que d_s as pessoas reduzem sua velocidade para um valor inferior a v_c .

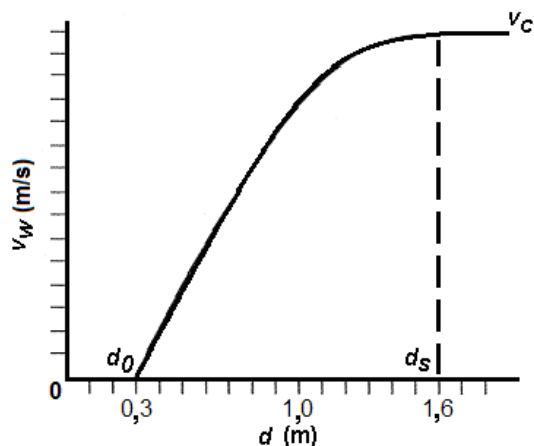


Figura 7: A curva geral da velocidade normal de movimentação (v_w) em função da distância entre pessoas (d).

Pelo formato das curvas da figuras 6 e 7, pode-se empiricamente assumir como sendo eventualmente possível estas curvas serem modeladas por alguma equação tipo exponencial, por exemplo, como a Equação (2):

$$\frac{v_w}{v_c} = \left[\frac{d - d_0}{d_s - d_0} \right]^n \quad (2)$$

onde n seria uma espécie de taxa de amortecimento, que visivelmente varia com d .

Para se testar esta hipótese e obter o valor de n , a Equação (2) é posta em uma forma linear, obtendo-se a Equação (3):

$$\ln \left(\frac{v_w}{v_c} \right) = n \times \ln \left[\frac{d - d_0}{d_s - d_0} \right] \quad (3)$$

Ou ainda:

$$n = \frac{\ln \left(\frac{v_w}{v_c} \right)}{\ln \left[\frac{d - d_0}{d_s - d_0} \right]} \quad (4)$$

Através de pontos retirados das curvas da Figura 8 para todos os três grupos, pela Equação (4) se pode então verificar a evolução de n com d (Figura 6), de onde se obtêm a Equação (5) por meio de uma regressão linear ($r^2 = -0,991$). Assim:

$$n = 1,11 - 0,63 \times d \quad (5)$$

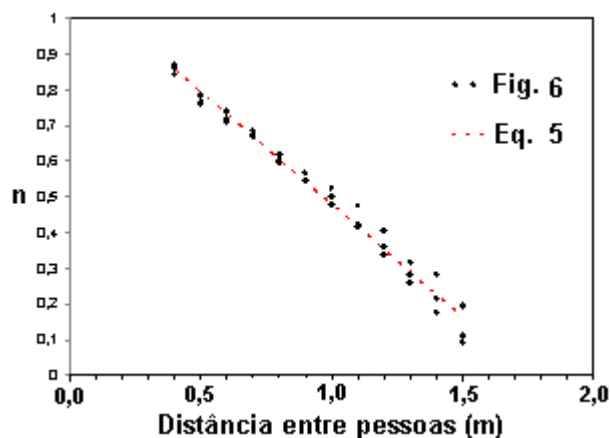


Figura 8: Evolução de n em função da distância entre pessoas (d).

Com as Equações (2) e (5), e pela análise da curva da Figura 7, pode-se obter uma equação geral que relaciona v_w [m/s] em função de d [m], válida para todos os grupos, já que todos os demais parâmetros se encontram estabelecidos, conforme Equação (6), válida para $d_0 \leq d \leq d_s$.

$$v_w = v_c \times \left[\frac{d - d_0}{d_s - d_0} \right]^{(1,11 - 0,63 \times d)} \quad (6)$$

Ainda, se $d < d_0$ (possibilidade apenas teórica), v_w é nulo, e se $d > d_s$, $v_w = v_c$.

Pode-se verificar a adequação da Equação (6) pela comparação dos valores de v_w em função de d obtidos pela mesma e os retirados da Figura 6, cujo gráfico está apresentado na Figura 9.

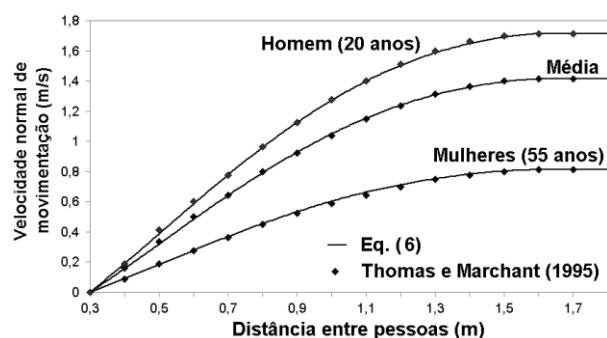


Figura 9: A curva geral da velocidade normal de movimentação (v_w) em função da distância entre pessoas (d).

2.4 Tempo de reação para uma tomada de decisão

Cada agente necessita de um tempo mínimo para que possa fazer uma tomada de decisão e reagir adequadamente enquanto se movimenta. Este tempo não deve ser confundido com o tempo de pré-reação para o abandono de ambientes em situações emergência [GOUVEIA & ETRUSCO, 2002].

Existe o tempo de reação simples (TRS), relacionado com o reflexo, que “representa o nível de coordenação neuromuscular, no qual os estímulos visuais, auditivos ou táteis são decodificados pelo corpo através de diferentes processos físico-químicos e mecânicos” [VAGHETI et al., 2007]. Existe também o tempo de reação ao movimento (TRM), de valor superior ao TRS, pois além do simples reflexo requer o tempo necessário para a realização de um movimento mais sofisticado.

Tanto o TRS quanto o TRM variam de pessoa para pessoa, assim como pela sua idade, seu estado de saúde, seu estado pessoal (pessoas alcoolizadas, mesmo que levemente, tem o tempo de reação muito incrementado), de atenção, de condicionamento para a tarefa, além de ser influenciada pelos fatores ambientais (iluminação, ruídos, temperatura, etc.). O nível de estresse (NE) também influencia nestes tempos de reação.

Estudos realizados em atletas condicionados indicam para o TRS valores na ordem de 0,2 s [VAGHETI et al., 2007]. [BEHM et al., 2004] indicam que, para jovens saudáveis, o TRS seja na ordem de 0,3 s, enquanto o TRM na ordem de 0,4 s. Já estudos no âmbito de direção de veículos consideram razoável supor como sendo de 1 s o tempo mínimo para uma efetiva tomada de ação em função a um estímulo [SOUZA FILHO, 2010].

Aqui, é considerado o princípio do “U” invertido [STAAL, 2004; IIDA, 2010] como sendo o modelo da influência de NE no tempo de reação. Também,

irá se adotar que esta influência segue conforme a Equação (7):

$$TER = TRM \times PNE \quad (7)$$

Onde

TER = Tempo Efetivo de Reação;

TRM = Tempo Reação ao Movimento; sendo uma variável de entrada do modelo (normalmente será considerado como sendo de 0,5 s, mas cujo valor poderá ser livremente previamente determinado para todo o grupo ou mesmo individualmente); e

PNE = Peso do nível de estresse, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Variação do Peso Nível Estresse (PNE) em função do Nível de Estresse (NE).

Nível de Estresse (NE)	Peso NE (PNE)
Muito baixo	2,0
Baixo	1,5
Médio	1,0
Alto	1,5
Muito alto	2,0

Assim, independente do relógio do programa, cada agente somente irá passar por uma nova tomada de decisão ao transcorrer o seu respectivo TER. Para isto, será criada uma variável denominada de TT (tempo transcorrido), independente para cada agente, inicialmente feita nula.

A cada iteração do programa, a TT será incrementada do valor do tempo do relógio, mas cada vez que o valor do TT de um agente ultrapassar ou igualar o valor do seu respectivo TER, o agente irá passar por uma nova tomada de decisão, sendo o TT então feito novamente nulo para o respectivo agente.

2.5 Campo de visão

O campo de visão tem um papel fundamental no comportamento das pessoas [GONÇALVES, 2014]. No modelo cada agente irá se interagir com os demais agentes, obstáculos e ambiente em cinco

direções preferenciais, formando um campo de visão de 180°.

Estas direções são: frente (F), direita (D), esquerda (E), frente-direita (FD) e frente-esquerda (FE); ou com θ (ângulo considerado em relação ao ângulo do agente) de 0° (sem desvio na direção de movimentação), -90°, +90°, -45° e +45°, respectivamente. A Figura 10 ilustra estas opções.

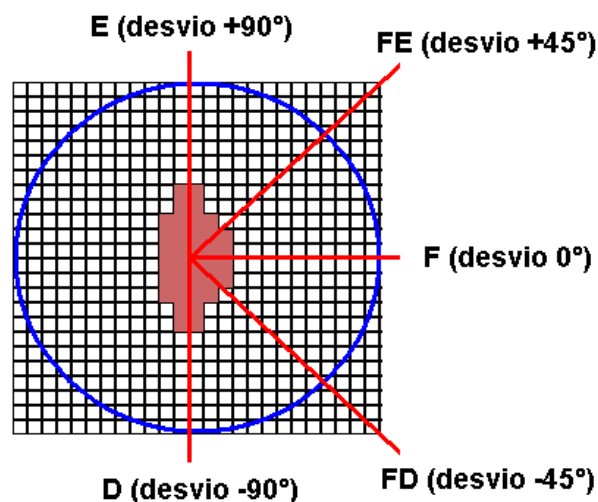
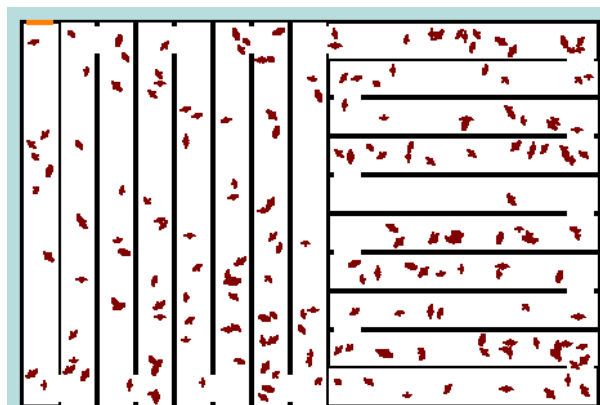


Figura 10: Um agente em um direcionamento qualquer e seu relativo campo de visão.

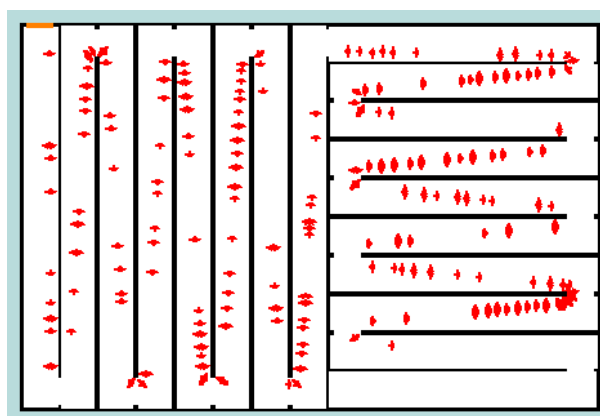
3 Resultados e Discussões

Todas as variáveis aqui apresentadas foram efetivamente implementadas computacionalmente conforme descrito, em linguagem Python v. 3.4, e incorporadas no programa Fuga v. 2.0.

Como exemplo de uma simulação, apresenta-se a Figura 11. Nesta Figura 200 pessoas inicialmente aleatoriamente dispostas (posição e orientação) vão se direcionar rumo à saída do ambiente. As pessoas estão em vermelho, sendo o tamanho de cada pessoa também inicialmente aleatório entre pequeno, médio ou grande. As paredes estão na cor preta e a única saída do ambiente está na cor laranja. Na cor branca está a área interna do ambiente livre para movimentação. Finalmente, na cor azul claro está a área externa ao ambiente.



(a)



(b)

Figura 11: Exemplo de uma simulação com 200 agentes em um ambiente construído (escala não indicada). Em (a) os agentes na sua posição inicial, e em (b) os agentes após cerca de 15 s se movimentando rumo à saída.

O ambiente possui uma única rota até a saída com propositalmente muitas variações de direcionamento, tanto em relação às ordenadas como em relação às abscissas (considerando o ambiente superposto a um sistema cartesiano de coordenadas). Ele é, assim, um ambiente propício para se verificar diversos dos aspectos do comportamento dos agentes durante as simulações.

Na Figura 11a os agentes estão na sua posição aleatória inicial, e na Figura 11b já foram transcorridos cerca de 9 s de movimentação. Note que as pessoas se ordenaram em uma espécie de fila rumo à saída e que as mesmas conseguem fazer (corretamente) os vários contornos de

paredes necessários impostos pelo design do ambiente.

Também é possível verificar que não houve nenhum tipo de deformação no formato das pessoas durante a simulação e que não ocorreram problemas de superposição das pessoas entre si ou em relação com as paredes do ambiente.

4 Conclusões

São diversos os fatores ergonômicos físicos e cognitivos envolvidos na movimentação humana e suas inter-relações. Neste trabalho foi detalhada a metodologia efetivamente utilizada na implementação computacional de algumas destas variáveis, selecionadas pela sua importância, a saber: dimensões do corpo humano, rotação das pessoas, velocidade normal de movimentação, tempo de reação para uma tomada de decisão e o campo de visão adotado. Neste processo de implementação foi sempre buscado um balanço entre precisão da representação e seu custo computacional associado. O programa Fuga v. 2.0 efetivamente usa estas variáveis conforme detalhado, se tornando uma ferramenta mais adequada na simulação computacional da movimentação humana em ambientes construídos.

BIBLIOGRAFIA

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

AMMERAAL, L., & ZHANG, K. **Computação Gráfica para Programadores Java**. Rio de Janeiro: LTC, 2008, 217p.

BEHM, D.G., BAMBURY, A., CAHILL, F. & POWER, K. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 36, n. 8, 2004, p. 1397-1402.

BRAGA, H.C., MOITA, G.F. & ALMEIDA, P.E.M. Simulation of People Flow by a New Fuzzy Discrete Automata Model and an Ergonomic

Approach. In: **Traffic and Granular Flow '15**, Cap. 18, Eds. KNOOP, V., DAAMEN, W., Springer, 2016, p. 137-144.

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).

GONÇALVES, M.V.R.P. **Simulação da movimentação de pedestres assumindo variáveis psicocomportamentais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2014, 137 p. Tese (Doutorado em Ciências).

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.

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.

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

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).

PREDTECHENSKII, V.M.; MILINKII, A.I. **Planning for foot traffic flow in buildings**. New

Delhi: American Publishing, 1978, 240 p. (tradução do original em russo de 1969).

SOUZA FILHO, P.A. **Segurança de Frotas e Seus Operadores**, Belo Horizonte: Universidade FUMEC - Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. 2010, 22 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.

VAGHETTI, C.A., ROESLER, H., & ANDRADE, A. Tempo de reação simples auditivo e visual em surfistas com diferentes níveis de habilidade: comparação entre atletas profissionais, amadores e praticantes. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.13, n. 2, 2007, p. 81-85.

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.