

# Modelagem por partículas em Engenharia, Arquitetura e Construção

Particles modeling in Engineering, Architecture and Construction

## Mestrando Ulisses Demarchi Silva Terra

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo FAUUSP - Brasil  
ulissesterra@usp.br

## Prof. Dr. Arthur Hunold Lara

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo FAUUSP - Brasil  
arthurlara@usp.br

## Prof. Dr. Marcelo Eduardo Giacaglia

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo FAUUSP - Brasil  
mgjacagl@usp.br

## Prof. Dr. Norberto Correa da Silva Moura

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo FAUUSP - Brasil  
betomoura@usp.br

## ABSTRACT

Design of circulation spaces in stadiums, airports, convention centers and subway stations demand the articulation and processing of several variables linked to information, studies and modeling. These should be simulated in the early stages of design, showing a variety of situations, solutions and ways, crucial to the adoption of sustainable design and construction. This paper discusses alternative approaches to modeling and simulation of architectural space performance, based on pedestrian behavior.

**KEYWORDS:** Design Paramétrico; Modelagem por Partícula; Simulação; Arquitetura de Estações Metroferroviárias.

## Introdução

A incorporação da tecnologia digital nos processos de engenharia, arquitetura e construção é cada vez mais intensa e irreversível. Do desenvolvimento dos desenhos e projetos auxiliados por computador (CADD - *Computer-Aided Design and Drafting*) aos processos de modelagem, simulação e análise de desempenho em CFD (*Computational Fluid Dynamics*) e FEM (Finite Element Method), a tecnologia digital representa uma grande influência no desenvolvimento da arquitetura a partir da década de 1990 (NATIVIDADE, 2010).

No período inicial do emprego dos sistemas CADD, a influência do método tradicional no método digital já apresentava inconsistências, surgindo críticas à metáfora entre as tarefas reais e as virtuais como um procedimento inadequado (FLEMMING; BHAVNANI; JOHN, 1997). Durante muito tempo, a representação bidimensional (2D) do espaço tridimensional (3D) permaneceu, e ainda resiste, mesmo com os recursos da tecnologia digital. Tal fato surpreende, pois acrescentar a terceira dimensão no modelo digital de representação é simples e, de fato, sempre está presente nesses modelos, mas, como um vetor Z não utilizado, talvez por

influência do método manual de representação. Com a adoção do espaço 3D, não apenas a representação 2D foi otimizada, mas emergiram outras possibilidades como análises de desempenho em diversas instâncias, análise de interferências e estimativa de custos com extração de planilhas quantitativas, sendo que a própria visualização do objeto 3D passa a ser uma ferramenta auxiliar de decisão de projeto, aproximando o modelo da realidade e da idéia inicial, quando o autor ou atores a concebem em 3 dimensões ou usam artifícios geométricos da sua planificação (2D). Neste aspecto, Oxman (2006) previa mudanças fundamentais em relação à prática e produção do projeto, postulando uma estrutura conceitual e teórica específica para o atelier digital.

Locais de grande circulação, ou onde o ordenamento da circulação é crítico, necessitam de simulações na distribuição e fluxo de pessoas, bens e informações em função do tempo: O tempo de se locomover até o local; o tempo de usufruir do local; o tempo real medido do uso efetivo do espaço por sensores; o tempo de fuga em caso de acidentes; o tempo de vida útil do evento; e seu tempo de desmontagem e reaproveitamento de seus materiais. Novos materiais, normas técnicas, exigências

de conforto térmico, acústico e ambiental, certificações, etc., tornam-se fatores determinantes para a aprovação e qualificação de sistemas de engenharia, arquitetura e construção (EAC), abarcados por grandes fluxos humanos em grandes eventos.

Projetos de estádios, aeroportos, centros de convenções, estações metroviárias, etc., passam a exigir a articulação e processamento de inúmeras variáveis atreladas às informações, estudos e modelagens. Estas são simuladas nas primeiras etapas de projeto evidenciando uma variedade de situações, soluções e formas cruciais para a aprovação e construção do projeto sustentável.

Em arquiteturas que envolvem montagens complexas com peças pré-fabricadas em locais distantes, desmontagens (estádios pós copa do mundo por exemplo), grandes concentrações de indivíduos, fluxos complexos de pessoas, segurança, acessibilidade, mobilidade, etc., a parametrização e a simulação tornam-se poderoso instrumento de pré-avaliação na análise de requisitos e nas tomadas de decisão de projeto.

Para esta realidade de arquitetura, surgem processos de projeto baseado no desenvolvimento de amplos métodos de modelagem. A utilização de banco de dados, de modelos para simulação em ambiente gráfico (softwares de simulação), de CFD (Computational Fluid Dynamics), e do uso de algoritmos gerativos (software editor gráfico de algoritmos) formam a base para o desenvolvimento desta pesquisa em EAC voltada para espaços de grande fluxo de pessoas.

## A simulação de sistemas em estações metroferroviárias

O dimensionamento e definição dos espaços arquitetônicos relacionados às áreas de fluxo de usuários nas estações do metrô da cidade de São Paulo seguem diretrizes elaboradas de forma empírica pela equipe técnica de arquitetos, engenheiros e projetistas da Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ (2008). As estações, pelo grande número de usuários e fluxos, e pelas inúmeras restrições relacionadas aos espaços subterrâneos, tornam-se interessante objeto experimental para o desenvolvimento de modelos e simulação de sistemas em espaços arquitetônicos.

Um dos primeiros softwares de simulação de sistemas que utilizamos foi o software Arena que, em estudos iniciais para modelagem de uma hipotética estação de metrô, mostrou muitos aspectos interessantes para uma modelagem macro do funcionamento e dimensionamento dos componentes da estação (bloqueio, escada rolantes, elevadores, etc.) mas com limitações quanto à definição de espaços, interferências e forma arquitetônica. Para Guazzelli (2011), que explorou amplamente o software Arena em sua dissertação sobre dimensionamento e

avaliação de terminais metroviários, o desenvolvimento de um modelo e sua simulação possibilitou avaliar o dimensionamento, os pontos críticos e os níveis de serviço dos espaços e componentes de uma estação hipotética.

A Figura 1, exibe uma imagem da interface do software Arena, um dos modelos de uma estação que elaboramos. Valendo-se da definição de eventos alternados e previsíveis, é possível simular o funcionamento de uma estação metroferroviária quanto ao tempo e dimensionamento de cada um dos elementos do modelo. A simulação com o software Arena, porém, limita-se à dimensão temporal. A busca de parâmetros para a forma de um espaço arquitetônico requer a modelagem e simulação, em nível “microscópico”, das dimensões espaciais. Aqui o funcionamento do todo não permite a compreensão das suas partes.

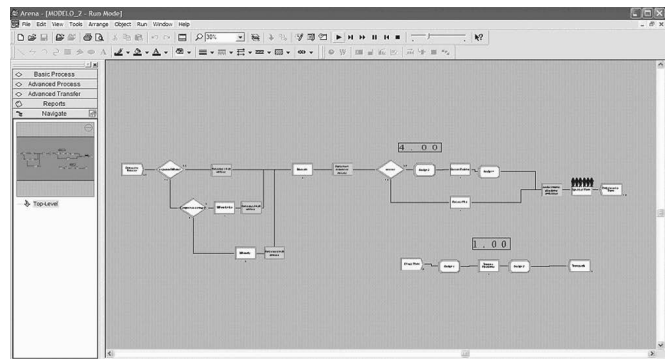


Fig. 1. Simulação em software Arena de hipotética estação metroferroviária.

## O CFD na simulação de fluxos

A fluidodinâmica computacional, ou Computational Fluid Dynamics (CFD), consiste na utilização de métodos computacionais para simulação numérica de processos físicos ou químico-físicos que envolvem escoamento ou fluxo de fluidos e/ou gases, como transferência de calor, reações químicas, aspectos mecânicos, etc.

No campo da arquitetura, o CFD já é bastante utilizado para predição da ventilação em edificações e nos estudos e simulação de rotas de emergência e situações de incêndio. De maneira geral, o CFD pode ser utilizado para simular diversos tipos de fluxos na edificação como fluxos de ar, água, fumaça, etc.

A utilização do CFD para simular o fluxo de pessoas na evacuação de edifícios é uma abstração do conceito de fluido. A redução do fluido - um meio contínuo - ao seu menor elemento representativo - que podemos chamar de partículas fluídas - permite simular o movimento de diversas pessoas dentro de edificações em situações de incêndio, conforme ilustrado na Figura 2.

Com o aprimoramento dos aplicativos em CFD, e a

definição de partícula fluída, é possível simular, em alguns softwares, características particulares a cada indivíduo, bem como suas interações com outros indivíduos, e quanto às forças de contato e gravidade (ONO, 2010). Porém, ainda que grande parte dos softwares de CFD de evacuação importem desenhos em formato CAD e/ou possibilitem visualização em duas e três dimensões (TUBBS e MEACHAM, 2007), necessitam de uma maior integração aos processos de concepção arquitetônica para que se torne um importante recurso da tecnologia digital na elaboração de projetos em EAC.

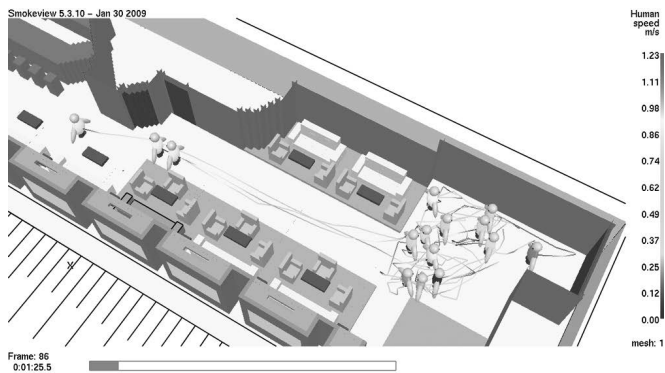


Fig. 2. Simulação de evacuação de edifício em software CFD

## Modelagem paramétrica envolvendo Ambientes Físicos ( Phisic Engines)

A modelagem paramétrica aplicada em estudos sobre arquitetura dinâmica (líquida e topológica), é uma metodologia desenvolvida por destacados arquitetos e escritórios de arquitetura como Greg Lynn, Thom Mayne, Ben Van Berkel, Asymptote, MVRDV, NOX e ATKINS. Foi realizada de maneira pioneira pelo arquiteto matemático Greg Lynn, no início da década de 1990. Por ser velejador, Lynn utilizou métodos da construção naval e programas computacionais da hidrostática e hidrodinâmica para parametrizar fluxos urbanos e humanos em um projeto para um terminal de ônibus em Nova Iorque. Nessa experimentação, um modelo espacial de simulação da circulação de pedestres, ônibus e automóveis, cada um com dimensões e velocidades específicas, determinou os espaços arquitetônicos e suas relações de fluxo. Tal abordagem foi classificada por Oxman (2006) na classe 4 dos 5 modelos paradigmáticos, correspondente a modelos gerativos baseados em desempenho.

Nesses estudos buscamos a utilização dos chamados modelos dinâmicos, ou seja, “modelos matemáticos que tratam de interações variáveis com o tempo...” (MELLO, 2007, pp.14). Valendo-se das bases de sistemas digitais e das importantes referências conceituais citadas, passamos a utilizar o conceito de partículas e a desenvolver a modelagem geométrica com o *plugin* Grasshopper no aplicativo Rhinoceros. Seu uso possibilitou a inserção de parâmetros e *scripts* com fórmulas matemáticas que permitiram a visualização e manipulação do modelo de forma mais dinâmica e

física. A utilização do Grasshopper, com a extensão Kangaroo, ilustrada na Figura 3, potencializou o processo de projeto e tomada de decisão, ao incorporar o comportamento físico diretamente no ambiente de modelagem e simulação.

No estudo de estações metroferroviárias, estabelecemos que cada indivíduo é representado por uma partícula que se desloca no espaço com uma massa, velocidade, trajetória, e percurso específico. Na análise, dos distintos movimentos e comportamentos da somatória de indivíduos (partículas), são tomadas decisões quanto à forma e estrutura do espaço arquitetônico. Esse modelo de fluxo de pessoas passa a ser incorporado desde o início da conceituação e concepção do projeto arquitetônico para que possa haver uma melhor compreensão e dimensionamento de seus espaços de circulação e espera, e de seus elementos de processamento (bloqueios, escadas rolantes, bilheterias).

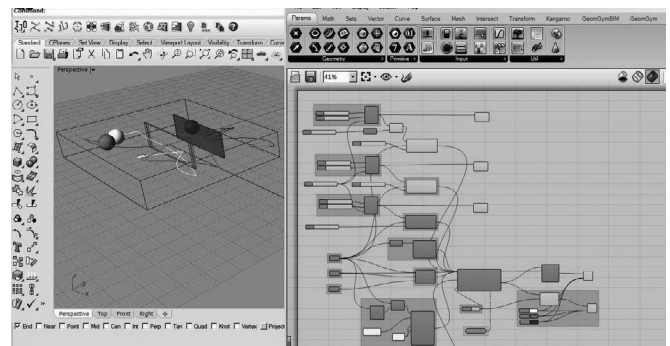


Fig. 3. Duas partículas em interação com relação de massa, aceleração e movimento - com uso do software Grasshopper.

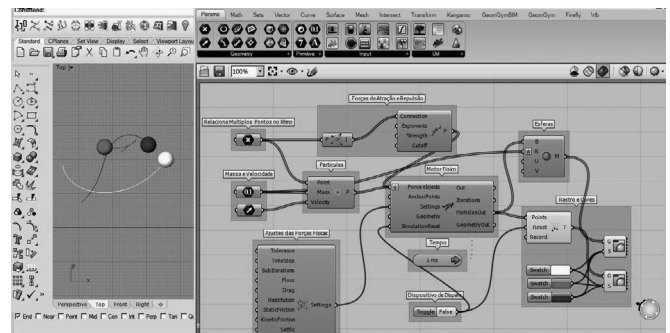


Fig. 4. *Scripts* com utilização da extensão Kangaroo.

## Modelagem paramétrica envolvendo Olhar Computacional (Computer Vision)

Sistemas inteligentes são projetados para dar segurança, conforto e eficiência energética para edifícios inteligentes, obras onde um grande número de pessoas acessam aviões, trens e metrô ou assistem grandes espetáculos. Muitos dispositivos usam o sistema de visão computacional com sensores térmicos, infra-vermelho

e de movimento, interligados a sistemas que permitem reconhecimento de movimento, face, ou fazem medições de velocidade e percurso valendo-se de algoritmos matemáticos. O sistema de sensores alimenta um computador ou dispositivo embutido com algoritmos inteligentes que podem detectar o fluxo multidirecional dos pedestres pela análise sequencial das imagens digitais (GONÇALVES, 2005). Nos últimos anos foram desenvolvidos diversos estudos para definição da dinâmica de pedestres utilizando modelos contínuos, autômatos celulares, e sistemas multiagentes (TOYAMA, 2006). Parte dos estudos de comportamento e decisões de multidões em desenvolvimento utiliza aproximações matemáticas dos sistemas dos organismos biológicos de maneira a determinar a complexidade dos fatores envolvidos (HARDING, 2008).

A possibilidade de integração de sistemas de análise digital para calibragem e validação de modelos paramétricos na concepção arquitetônica representa uma potencialidade para otimização da geometria e definição dos espaços arquitetônicos de grande fluxo de pedestres. Nesta pesquisa buscamos dispositivos como câmeras de vídeo, *webcams*, *Kinect*, etc., que, envolvendo Olhar Computacional, potencialize a modelagem paramétrica em sua relação com a contagem de pessoa e definição da geometria do espaço arquitetônico.

## Conclusão

O desenvolvimento e integração de um ferramental tecnológico recente – CFD, BIM, modelagem paramétrica, Olhar Computacional, ambientes físicos – aos processos de concepção arquitetônica ainda são iniciais e bastante restritos, porém com grande potencialidade para se tornarem cada vez mais determinantes do processo de concepção e gestão em EAC.

Ainda que a utilização do CFD represente um avanço para a simulação de fluxos de pessoas, os resultados não alimentam a modelagem dos espaços arquitetônicos. Essa tarefa caberia à equipe de projetistas, por meio das simulações onde os gargalos são visíveis.

A Simulação por partículas e forças físicas com gravidade, elasticidade e flexão utilizando o software Grasshopper + Kangaroo permite uma compreensão comportamental onde cada indivíduo pode ter direção, massa, velocidade, trajetória e rastro. Estes novos componentes representam um avanço em relação às simulações estáticas (Geometria Euclidiana), e também em relação às dinâmicas, onde o observador virtual percorre um caminho (*Walk-though*). Agora podemos acrescentar o elemento tempo ao modelo eletrônico com variações de forma, simulando forças físicas que podem levar a compreensão da utilização do espaço segundo comportamento do usuário e máquinas previamente estabelecidos em algoritmos. A interação e captação do movimento do corpo humano conectada

à modelagem por fluxo em modelos virtuais pode representar um grande avanço na determinação dos espaços onde o fluxo humano é o grande determinante da forma arquitetônica.

## Referências

- Flemming, U.; Bhavnani, S.K.; John, B.E. 1997. Mismatched metaphor: user vs system model in computer-aided drafting. *Design Studies*, 18 (4), 349-368.
- Gonçalves, P. H. (2005). *Estimação do fluxo multidirecional de pedestres em ambientes abertos e não restritos, pela análise de seqüências de imagens digitais*. São Carlos: Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Acessado em setembro de 2012, de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-02092006-132813/>
- Guazzelli, C. S. 2011. *Contribuição ao dimensionamento e à avaliação operacional de terminais urbanos de passageiros metroviários e ferroviários*. São Paulo: Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Acesso em abril de 2012, de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-05082011-153908/>
- Harding, P. J. 2008. *Evacuation Modelling and People Dynamics*. Acesso em agosto de 2012, de <http://www2.docm.mmu.ac.uk/STAFF/P.Harding/>
- Metró [Companhia do Metropolitano de São Paulo]. 2008. Diretrizes para elaboração de projeto de arquitetura. São Paulo: Documento técnico. Departamento de Concepção de Arquitetura – CIA.
- Mello, B. A. 2007. *Modelagem e Simulação de Sistemas*. Erechim-RS: Departamento de Engenharias e Ciência da Computação. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.
- Acesso em agosto de 2012 de <http://www.munif.com.br/munif2/arquivos/ap-sim.pdf?id=319>
- Natividade, V.G. 2010. *Faturas metodológicas nas arquiteturas digitais*. São Paulo: Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- Acesso em agosto de 2012 de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16138/tde-16062010-153027/>
- Ono, R. 2010. *O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos: uma análise crítica e proposta de aprimoramento*. São Paulo: Tese de Livre Docência, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- Acesso em julho de 2012 de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-24022011-140224/>
- Oxman, R. 2006. Theory and Design in the first Digital Age. *Design Studies*, 27 (3), 229-265.
- Succar, B. 2009. Building Information Modelling Framework: A research and delivery foundation for industry

stakeholders. *Automation in Construction*, 18 (3), 357-375.

Acesso em agosto de 2012 de <http://www.journals.elsevier.com/automation-in-construction/>

Toyama, M. C. 2006. *Uma abordagem Multiagentes para Dinâmica de Pedestres*. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Acesso em setembro de 2012, de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/8125?show=full>

Tubbs, J. S.; Meacham, B. J. 2007. *Egress Design Solutions – A Guide to Evacuation and Crowd Management Planning*. New Jersey: John Wiley & Sons.