

# 1 Introdução

## 1.1 Introdução

Dentro do Entretenimento Digital, atualmente apresenta-se indispensável ser capaz de simular de forma natural objetos que não se classificam como corpos rígidos. Em dois de seus principais ramos, a Animação 3D e os Jogos, a grande quantidade de movimento, interação e colisão entre objetos tridimensionais, compostos comumente de diferentes partes e materiais, faz com que ser capaz de simular esses eventos de forma convincente represente uma parcela importante na conquista do realismo e da capacidade de imersão. No intuito de obter simulações que apresentem mais do que somente corpos rígidos, tem-se investido tanto na a simulação de objetos deformáveis como na simulação de objetos fraturáveis ou destrutíveis.

O estudo de modelos para a simulação de objetos deformáveis na Computação Gráfica teve início com o trabalho de Terzopoulos (20). Desde então, diversos avanços foram obtidos, em áreas como animação de tecidos, simulação de pelos e cabelo, deformações plásticas e objetos derretíveis e manipulação de corpos macios (13), essa última de grande interesse para a comunidade médica (9). Essas simulações são implementadas frequentemente através da combinação de conhecimento de áreas matemática, física e computação, como dinâmica newtoniana, mecânica do contínuo, geometria diferencial e cálculo vetorial (13). A dinâmica dos objetos deformáveis se popularizou o suficiente na área de Jogos para que atualmente seja comum encontrar em motores de jogos como Havok, Carbon, e PhysX ferramentas para simulação de objetos deformáveis através de variadas técnicas.

A simulação de fraturas é um efeito de caráter físico de grande interesse para muitas áreas da Computação. Fraturas são um dos principais assuntos de estudo de áreas da Geologia como Mecânica dos Solos e Sísmica (14), assim como para vários ramos da Engenharia. Motores de jogo como Havok, PhysX e UDK atualmente já oferecem frameworks ou bibliotecas para a utilização de objetos fraturáveis ou destrutíveis. Atualmente, software de produção de animações 3D também possuem soluções para a produção de objetos fraturáveis, como FractureTools do Blender, FractureFX para o Maya e 3ds Max Reactor.

Para a Computação Científica, ser capaz de simular realisticamente deformações e fraturas é fundamental. Os trabalhos que exigem exatidão física

se baseiam em técnicas que tem por objetivo simular as forças físicas que controlam o estado dos objetos, como por exemplo, tensão. Essas técnicas, por se basearem em leis físicas que vão além da dinâmica de corpos rígidos, apresentam pouco espaço para simplificações em seus modelos, fato que restringe os possíveis ganhos de desempenho. Para as áreas da Computação Gráfica como Animação e Jogos, contudo, frequentemente necessita-se prescindir de realismo em troca de ganhos de desempenho, desde que se preserve a naturalidade da animação. Criados a partir dessa necessidade, modelos alternativos baseados em conceitos mistos da Computação Gráfica popularizaram-se.

Nosso trabalho é uma extensão da abordagem dada a simulação de objetos deformáveis dada por Müller *et al.* (11), o qual simula os objetos deformáveis como um sistema de partículas onde cada partícula é um vértice de sua malha 3D. Um método geométrico de casamento de forma aliado a um esquema de integração de Euler modificado simula as forças internas dos objetos, responsáveis por dar a forma do objeto aos vértices através das partículas. Este modelo permite-nos utilizar diferentes modos de deformação, a fim de representar objetos com diferentes graus de flexibilidade, e também apresenta grande estabilidade, mesmo em situações de grandes deformações e controlabilidade.

O trabalho de Müller *et al.* também implementa a utilização de *segmentos* ou *agrupamentos* de vértices do objeto. Utilizar agrupamentos de vértices significa simular partes de um objeto deformável como objetos deformáveis em si, que precisam compartilhar vértices para que formem um objeto conexo. Esse compartilhamento não é trivial: como a cada vértice corresponde uma partícula apenas, cada vértice possui um peso para cada agrupamento, que representa o quanto daquele vértice é controlado pelo agrupamento em questão. Na hora de realizar o compartilhamento dos vértices entre diferentes agrupamentos, é preciso calcular corretamente o peso de cada vértice em cada agrupamento. Em (11), entretanto, não é apresentada nenhuma forma específica ao objeto de como determinar esses agrupamentos ou ainda de como realizar o compartilhamento dos vértices.

Em nossa primeira contribuição, estendemos o modelo apresentado em (11), integrando ao processo de determinação dos agrupamentos de vértices o trabalho de Attene *et al.* (1), através do qual é possível segmentar malhas 3D utilizando uma técnica conhecida por Agrupamento Hierárquico de Faces. Em (1), grupos de vértices são determinados de forma a melhor aproximarem um conjunto de primitivas 3D. Dessa forma, conseguimos determinar conjuntos de faces (triângulos) de cada objeto que correspondem a partes naturais do objeto, como, por exemplo, os braços e pernas de uma estátua. Através desses

triângulos, somos capazes de estabelecer agrupamentos que representem partes naturais do objeto, o que garante uma segmentação de maior qualidade.

A segunda contribuição é um método para a distribuição dos pesos dos vértices. Utilizamos dois critérios para determinar o peso de cada vértice com relação a cada agrupamento: um critério local, o qual utiliza a incidência dos triângulos de cada agrupamento nos vértices para estipular os pesos de seus compartilhamentos, e um critério global, que dilui os pesos locais dos vértices entre os outros agrupamentos, a fim de garantir uma consistência estrutural ao objeto.

A terceira contribuição consiste de um sistema de fraturas. A técnica criada se baseia em estabelecer e atualizar a cada fratura um grafo de *conexões* de agrupamentos. Criamos as conexões entre agrupamentos para simbolizar a possibilidade de fratura entre eles. Para que dois agrupamentos estejam conectados, é preciso que eles compartilhem vértices do objeto. Esses vértices que pertencem a dois agrupamentos são considerados pertencentes à conexão. Essa representação simplificada nos permite acelerar muito a detecção de fraturas, pois só precisamos calculá-las entre os segmentos vizinhos do objeto, através de uma simples heurística para determinar se a suas posições relativas ultrapassaram o limiar que é tolerado pelo objeto. Quando uma fratura ocorre, tratamos redistribuindo os pesos dos vértices de forma a mantê-los consistentes e duplicando-os quando ocorre uma ruptura de fato na malha.

Propomos uma modelagem capaz de simular fraturas e deformações em objetos representados por malhas 3D de forma eficiente, natural e simplificada, baseando-nos em técnicas de aproximação de forma. A deformação dos objetos pode ser configurada em dois modos diferentes, e cada segmento do objeto é simulado como um objeto deformável em si, o que nos garante bastante qualidade em sua deformação. O modelo de fraturas é simplificado: não procuramos calcular dinamicamente as rachaduras de um objeto, como os modelos baseados em Elementos Finitos ou baseados em métodos sem malha baseados em técnicas da mecânica de meios contínuos. Ele assume que pode-se determinar *a priori* os pedaços individuais nos quais o objeto pode sofrer fraturas; toda fratura do objeto é produto de fraturas entre esses segmentos. Entretanto, pode-se obter padrões de fraturas razoavelmente complexos com o uso de um número grande de agrupamentos.

Nosso trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 1.1 apresenta essa introdução. Na Seção 1.2, apresentamos brevemente alguns dos trabalhos nas áreas de fratura e deformação. No Capítulo 2, introduzimos os modelos de segmentação e deformação. Na Seção 2.1, apresentamos uma visão geral do nossas técnicas e de como elas se integram. Na Seção 2.2, apresentamos o

algoritmo de segmentação de Attene *et al.* e como, a partir dele, criamos um método de determinar a influência dos agrupamentos nos vértices e as conexões entre os agrupamentos. Na Seção 2.4, apresentamos o modelo de deformação de Müller *et al.* o qual estendemos. O Capítulo 3 apresenta o modelo de fraturas: a 3.1 aborda o algoritmo de detecção de rompimentos e a Seção 3.2 altera a malha de acordo. O Capítulo 4 apresenta os resultados de nossa pesquisa e o Capítulo 5 encerra com uma conclusão, na qual se analisam os resultados e se apresentam possíveis trabalhos futuros.

## 1.2

### Trabalhos Relacionados

Muitos trabalhos (11)(12)(16)(17) apontam para os artigos de Terzopoulos *et al.* como pesquisa pioneira no ramo de simulação física de deformação de objetos. Seu trabalho seminal (20) utiliza uma técnica baseada em diferenças finitas. Desde então, muitos outros métodos foram desenvolvidos.

Em modelos de deformação baseados em sistemas massa-mola, como apresentado em (5), simula-se o corpo deformável como um conjunto de massas conectadas por molas ideais de massa desprezível. Caso a simulação esteja confinada a malha do objeto, cada vértice representa uma massa enquanto que suas arestas representam as molas. Pode-se também, possuindo-se informação da estrutura interna do objeto, criar um sistema massa-mola para simulá-la, refletindo essas movimentações através de um sistema de influências para seus vértices. Modelos de deformação que se baseiam em sistemas massa-mola são conhecidos por serem eficientes e simularem grandes deformações com facilidade, contudo podem ser imprecisos e não convergentes (13).

Outra categoria de modelos de deformação são os modelos baseados em conceitos da mecânica de meios contínuos. A maioria das técnicas utilizam o Método dos Elementos Finitos e suas variantes: esse método é em geral mais preciso, pois visa resolver as equações diferenciais parciais as quais governam o problema físico do modelo. O corpo é modelado como um meio contínuo elástico tridimensional particionado em um grande número de elementos sólidos que se encaixam. O método resolve as equações a fim de encontrar as tensões e deformações para cada elemento. Existem modelos na categoria da mecânica de meios contínuos, contudo, que não utilizam Elementos Finitos, como os métodos livres de malha mostrados em (12) e (10).

Uma terceira categoria existe, que é a dos modelos de deformação geometricamente motivados. Os modelos dessa categoria se distinguem por utilizar técnicas baseadas em conceitos matemáticos ou geométricos, frequentemente baseados em técnicas de casamento de forma. O modelo de Müller *et al.* o qual

estendemos (11) simula vértices da malha do objeto como partículas e usa as posições encontradas do casamento de forma da malha para calcular forças de restituição elástica do objeto. Já em (4), variações em pontos de controle são utilizadas para gerar variações de poses para objetos, utilizando técnicas de casamento de forma para encontrar deformações no espaço do objeto para cada vértice.

Quanto aos modelos de fratura, existe uma gama deles sendo atualmente implementados, baseados no Método das Diferenças Finitas (21)(8), no Método dos Elementos Finitos baseados em malhas (15)(6) e livres de malhas (17). Nenhuma dessas técnicas, contudo, aplicam-se às necessidades da modelagem, a qual simula efeitos de deformação nos vértices sem calcular tensão. O trabalho que mais se aproxima do modelo de fratura criado pode ser encontrado em (16). Nele, fraturas causadas no objeto também são geradas a partir da distância entre agrupamentos de vértices. Em (16), entretanto, utiliza-se uma estrutura adaptativa de agrupamentos, enquanto que um método simplificado para detectar e tratar fraturas entre agrupamentos estabelecidos em uma fase de pré-processamento preserva o desempenho da simulação e atende aos nossos objetivos.