

Vistas Explodidas: um estudo sobre o trabalho *Automated generation of interactive 3D exploded view diagrams*

Fábio Markus Miranda*
PUC-Rio

Abstract

Um problema típico na visualização de modelos 3D complexos é que as características mais interessantes podem estar obstruídas por outras partes menos importantes. Para minimizar esse problema, várias técnicas de ilustração foram desenvolvidas ao longo dos anos, e alteram o nível de abstração visual ou então a disposição espacial de partes do modelo. Técnicas de visibilidade inteligente [Viola and Gröller 2005] levam em consideração a relevância dos objetos e suas características, e não apenas o seu posicionamento no espaço. Além disso, espera-se uma familiaridade do observador com os objetos; com base em sua experiência, o observador pode completá-lo mentalmente.

Resumo

Um problema típico na visualização de modelos 3D complexos é que as características mais interessantes podem estar obstruídas por outras partes menos importantes. Para minimizar esse problema, várias técnicas de ilustração foram desenvolvidas ao longo dos anos, e alteram o nível de abstração visual ou então a disposição espacial de partes do modelo. Técnicas de visibilidade inteligente [Viola and Gröller 2005] levam em consideração a relevância dos objetos e suas características, e não apenas o seu posicionamento no espaço. Além disso, espera-se uma familiaridade do observador com os objetos; com base em sua experiência, o observador pode completá-lo mentalmente.

CR Categories: I.3.5 [Computer Graphics]: Computational Geometry & Object Modeling; I.3.8 [Computer Graphics]: Applications;

Keywords: exploded view illustration, interactive visualization

1 Introdução

Um problema típico na visualização de modelos 3D complexos é que as características mais interessantes podem estar obstruídas por outras partes menos importantes. Para minimizar esse problema, várias técnicas de ilustração foram desenvolvidas ao longo dos anos, e alteram o nível de abstração visual ou então a disposição espacial de partes do modelo. Técnicas de visibilidade inteligente [Viola and Gröller 2005] levam em consideração a relevância dos objetos e suas características, e não apenas o seu posicionamento no espaço. Além disso, espera-se uma familiaridade do observador com os objetos; com base em sua experiência, o observador pode completá-lo mentalmente.

Uma das técnicas de visibilidade inteligente é a *vista explodida*. O seu conceito básico é modificar o posicionamento de partes de um modelo para facilitar a visão de características importantes. Ao contrário de técnicas como *ghosted view* e *cut away view*, a vista explodida permite a visualização de um modelo sem que se perca qualquer tipo de informação sobre ele, já que não há nenhum tipo de transparência ou remoção de partes mais externas. O usuário pode

então, de forma fácil, reconstruir mentalmente o modelo e assim ter uma visão global e integrada do mesmo.

Este trabalho implementa uma técnica de vista explodida apresentada em [Li et al. 2008]. Toda a informação necessária para explodir um modelo são armazenadas em um grafo de explosão, que dita a ordem e a direção que cada parte deverá ser explodida. O objeto principal é dar uma visão geral sobre o tema, explicar o trabalho escolhido, assim como a sua implementação, discutir dificuldades e facilidades e apresentar possíveis propostas para trabalhos futuros.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta uma visão geral do sistema de vista explodida, sendo que detalhes de implementação são discutidos na Seção 4. Os resultados são mostrados na Seção 5. A conclusão e possíveis trabalhos futuros estão na Seção 6.

2 Trabalhos Relacionados

O trabalho apresentado em [Viola and Gröller 2005] faz um levantamento de diversas técnicas desenvolvidas com o objetivo de facilitar a visualização de modelos complexos e, por ser bastante abrangente, serve como uma base para o estudo da área. Em [Elmqvist and Tsigas 2008], os autores propõem uma taxonomia para classificar essas diversas técnicas, apresentando os pontos positivos e negativos de cada uma.

Os trabalhos relacionados a visão explodida podem ser divididos em dois grupos. Uma primeira série de trabalhos busca criar vistas explodidas com base em dados volumétricos. O primeiro a explorar essa área foi [Carpendale et al. 1996], onde os autores descrevem a técnica *visual access distortion*, que busca criar um caminho de visualização sem obstruções até a parte de maior interesse. Os trabalhos [Bruckner 2006] e [McGuffin et al. 2003] apresentam propostas para a visualização de dados volumétricos com vistas explodidas.

Uma outra vertente na pesquisa de vistas explodidas é baseada na explosão de modelos 3D complexos, não baseados em dados volumétricos. O trabalho [Agrawala et al. 2003] é uma referência inicial neste assunto e apresenta um sistema para geração de instruções de montagem, mas não propõe nada relacionado a vistas explodidas em específico. Esse tema só é abordado no artigo [Li et al. 2008], que busca justamente expandir as instruções de montagem e criar um sistema para a visualização de vistas explodidas, dada a semelhança entre os dois assuntos.

Outro trabalho também relacionado a vistas explodidas é [Niederauer et al. 2003], onde os autores apresentam um sistema para a geração automática de vistas explodidas de ambientes arquitetônicos.

3 Visão Geral

O sistema implementado neste trabalho (e baseado no que foi proposto em [Li et al. 2008]) recebe como entrada um modelo 3D composto por diversas partes. Com base no modelo, é construído uma estrutura (*grafo de explosão*) que encapsula todas as informações

*e-mail: fmiranda@inf.puc-rio.br

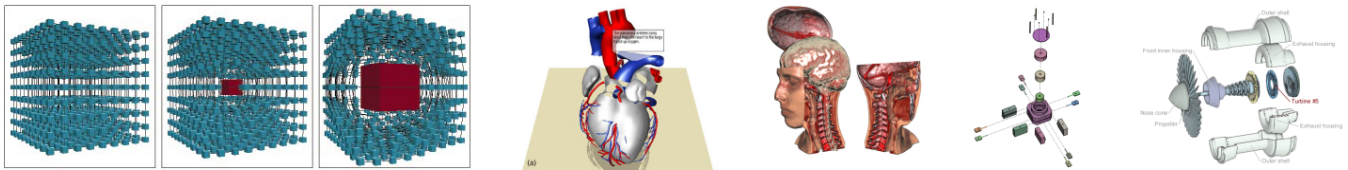


Figura 1: Trabalhos relacionados ([Carpendale et al. 1996], [McGuffin et al. 2003], [Bruckner 2006], [Agrawala et al. 2003], [Li et al. 2008]).

pertinentes a sua explosão. Todo o sistema pode ser então resumido em três partes:

- Representação da explosão na forma de um grafo (Seção 3.1).
- Geração do grafo (Seção 3.2).
- Visualização do grafo (Seção 3.3).

3.1 Grafo de explosão

O grafo de explosão nada mais é do que uma estrutura que dita como cada parte deverá ser explodida. O relacionamento entre os nós irá determinar a ordem em que as partes são explodidas, sem que ocorra nenhuma violação das restrições de movimento (ou seja, uma parte atravessar outra).

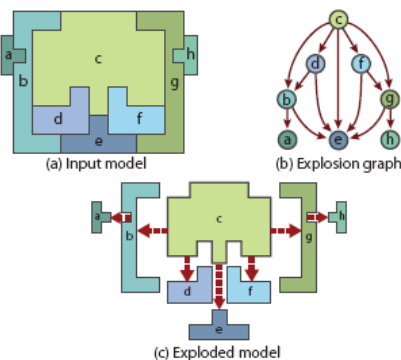


Figura 2: Grafo de explosão ([Li et al. 2008])

Considerando uma parte p_i do modelo 3D, e sabendo que esta parte é obstruída pelo modelo p_j , então temos que esse último será um nó filho de p_i . No momento da explosão, p_j será explodido antes de p_i , garantindo que não haverá nenhuma violação nas restrições de movimento.

O grafo de explosão também será responsável por armazenar a direção em que cada parte deverá ser explodida e a distância que ela deverá percorrer.

3.2 Geração do grafo de explosão

A geração do grafo é feita através do seguinte algoritmo iterativo, e que foi originalmente proposto em [Agrawala et al. 2003]:

```

Dados: S: conjunto com as partes ativas do modelo (ainda não
inseridas no grafo)
Dados: P: sub-conjunto de S de partes que não possuam
restrição em pelo menos uma direção
enquanto  $S \neq \emptyset$  faça
  Determina P;
  para cada  $p_i \in P$  faça
    Determina a distância mínima  $d_i$  que  $p_i$  teria que
    mover para sair do bounding box das partes em
    contato com  $p_i$ ;
  fim
   $p_{min} = \text{Min}_{p_i \in P}(d_i)$ ;
   $S = S - p_{min}$ ;
fim

```

Algoritmo 1: Geração do grafo de explosão

As partes do modelo são inicialmente inseridas em um conjunto S , de partes ativas, que ainda não foram inseridas no grafo. Um sub-conjunto P é então encontrado, com partes que não possuem restrição em pelo menos uma direção. Para cada parte p_i em P é determinada a distância mínima para que a parte saia do *bounding box* das partes em que contato. A parte com menor distância é removida de S e adicionada ao grafo, junto com arestas ligando ela a todas as outras partes que estão em contato (e que já estavam no grafo). O algoritmo termina quando todas as partes já tiverem sido inseridas no grafo. A maneira com que o algoritmo constrói o grafo de explosão garante que o relacionamento entre os nós respeite as restrições de movimento.

3.2.1 Partes cercadas

Um caso importante que é tratado pelo sistema é quando há "partes cercadas" (como na Figura 3).

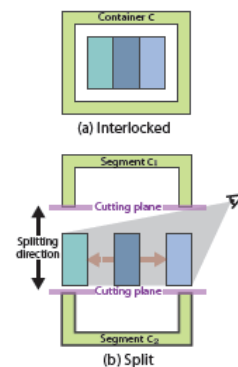


Figura 3: Partes cercadas ([Li et al. 2008])

Nesses casos, há a necessidade de se partir o recipiente (*container*) em duas partes (c_1 e c_2). O particionamento ocorrerá em um dos três possíveis eixos de explosão. Para cada eixo de explosão (x , y

e z), será determinada uma distância d que corresponde ao deslocamento das partes c_1 e c_2 de tal modo que as seguintes condições sejam respeitadas:

1. c_1 e c_2 estão fora do *bounding box* das partes cercadas.
2. As partes cercadas estão visíveis.

Das três distâncias calculadas (d_x , d_y , d_z), o eixo de explosão será aquele correspondente à menor distância d .

Como se pode perceber através da condição 2, a determinação do eixo de explosão de um recipiente depende da posição da câmera. É necessário então gerar diversos grafos, cada um com uma posição de câmera diferente. O artigo de referência calcula 26 diferentes grafos, correspondentes às faces, arestas e cantos de um cubo, e faz uma troca automática de acordo com a posição da câmera do usuário na hora da visualização.

3.3 Visualização

Para visualizar o modelo explodido, o usuário deve escolher uma de suas partes, que estará visível assim que todos os seus descendentes sejam explodidos. Para que as partes não violem restrições, as explosões são feitas seguindo uma ordem topológica reversa, ou seja, os descendentes são explodidos primeiro. O colapso das partes é feita de maneira oposta: os descendentes são colapsados por último.

Um problema que pode surgir durante a visualização é a obstrução da visão de uma determinada parte. As informações de obstrução não são guardadas no grafo de explosão, e são calculadas durante a própria visualização. Para impedir que partes de interesse sejam obstruídas, o seguinte algoritmo é utilizado:

```

Dados: G: Grafo de explosão
Dados: T: partes a serem explodidas (escolhidas pelo usuário)
/* Visita os nós em ordem topológica */
para cada  $p_i \in G$  e  $p_i \notin T$  faça
    /* Verifica se  $p_i$  obstrui algum nó ascendente */
    enquanto  $p_i$  obstrui algum  $p_j$ ,  $j < i$  faça
        Move  $p_i$  na sua direção de explosão, e também seus descendentes;
    fim
fim

```

Algoritmo 2: Deslocamento das partes que obstruem uma parte de interesse

4 Implementação

Para a implementação do sistema, foram utilizados o *OpenScene-Graph*, para a renderização e carregamento dos modelos 3D, e *PQP* para a detecção de colisões entre as partes do modelo. A Figura 4 apresenta uma visão geral dos módulos implementados, que serão discutidos posteriormente.

- **ExplodedView:** classe geral, responsável por tratar os dados de entrada (tanto o modelo 3D quanto o *input* do usuário).
- **Part:** classe que representa as partes do modelo.
- **SegmentedPart:** classe que herda de **Part** e representa os recipientes divididos.
- **CollisionData:** representa os dados de colisão.

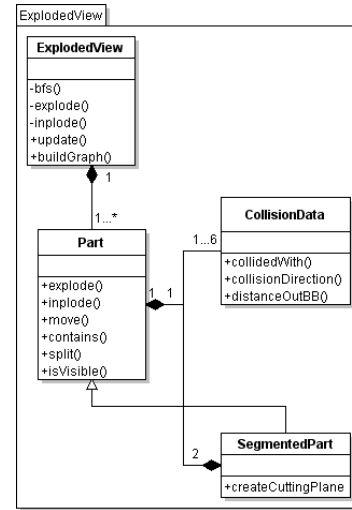


Figura 4: Visão geral da arquitetura

A geração do grafo de explosão é feita logo no início da execução do programa. As partes são extraídas do modelo 3D através de um **NodeVisitor** que procura pelos nomes dos nós através de uma expressão regular. Cada nó (parte) é então associado a um novo objeto do tipo **Part**.

Para a detecção das direções obstruídas de cada parte, foi empregada duas abordagens. A primeira, explorada em [Agrawala et al. 2003], constrói um *grafo de bloqueio direcional*

Considerando que o usuário quer explodir o nó p , o sistema implementado irá executar uma busca em largura (*BFS*) a partir de p e armazenar o nível de cada nó descendente. A Figura 5 mostra os níveis montados pela busca em largura para um modelo simples e a partir da parte A.

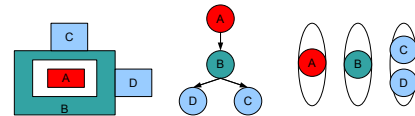


Figura 5: Exemplo de níveis da BFS

A explosão e a implosão do modelo será feita então com base nessas níveis, explodindo os níveis 1 até n , ou então, de forma inversa, implodindo de n até 1.

A divisão dos recipientes (*containers*) foi feita com o uso de um **ClipNode** do *OSG*, que irá determinar o plano de corte para a parte ser renderizada.

O *loop* do sistema pode ser resumido da seguinte forma:

```

Dados:  $G$ : grafo de explosão
Dados:  $T$ : parte escolhida pelo usuário para observar
Dados:  $A_{i,j}$ : níveis de uma BFS
enquanto Usuário não saiu do sistema faça
  se  $T \neq \emptyset$  então
     $A = BFS(T)$ 
  fim
  /* Explode partes */
  se  $T \neq \emptyset$  e  $A \neq \emptyset$  então
    para cada  $p_{i,j} \in A_{i,j}$  faça
      se  $deslocamento(p_{i,j}) < deslocamento para$ 
        sair do bounding box então
        Desloca  $p_{i,j}$  em  $\Delta d$  na sua direção de
        explosão;
      fim
    fim
  fim
  /* Implode partes */
  se  $T = \emptyset$  e  $A \neq \emptyset$  então
    para cada  $p_{i,j} \in A_{i,j}$  faça
      se  $deslocamento(p_{i,j}) > 0$  então
        Desloca  $p_{i,j}$  em  $-\Delta d$  na sua direção de
        explosão;
      fim
    fim
  fim
  /* Verifica visibilidade de T */
  se Todas as partes em A foram explodidas então
    se  $T$  não está visível então
      para cada  $p_{i,j} \in A_{i,j}$  faça
        Desloca  $p_{i,j}$  em  $\Delta d$  na sua direção de
        explosão;
      fim
    fim
  fim
fim

```

Algoritmo 3: Algoritmo geral do sistema

4.1 Características não abordadas

O sistema proposto em [Li et al. 2008] aborda algumas características que não foram implementadas, como o tratamento de grafos de explosão hierárquicos, que permite a explosão de grupos de partes independentemente. Além disso, os autores também demonstram um modo onde o usuário pode, com o *mouse*, manipular diretamente a explosão das partes. Há também uma integração com outro trabalho ([Li et al. 2007]) que permite a visualização de modelos explodidos juntamente com técnicas de *cutaways*.

Uma outra simplificação foi o uso de apenas um grafo de explosão. Ao contrário do artigo, que constrói 26 grafos, esta implementação constrói apenas um. Como o ponto de vista só é utilizado para determinar o plano de corte de partes envolventes, a simplificação não afetou o funcionamento geral do sistema. Os cortes continuam ocorrendo, só que não necessariamente no plano que resulta em uma menor distância para sair do *bounding box*.

Apesar de serem características importantes, o trabalho feito aqui se propôs, principalmente, a implementar as características fundamentais do trabalho de referência.

5 Resultados

Durante o desenvolvimento do sistema, alguns modelos 3D foram construídos com o objetivo de testar e expor as principais características do sistema. Dentre eles, cinco modelos cobrem de maneira consistente todos os aspectos desenvolvidos. O resultado dos testes e uma discussão sobre cada modelo pode ser visto nas Seções seguintes.

5.1 Modelo 1

O primeiro modelo, Figura 6, possui apenas quatro partes, dispostos de forma simples. Quando explodido, as partes que obstruem a parte central se movem na mesma direção que a direção de explosão, como visto a direita da Figura 6.

5.2 Modelo 2

O modelo número dois apresenta uma configuração mais complexa, como visto na Figura 7. O objetivo principal foi testar a direção em que duas partes (as tampas inferior e superior) iriam explodir. O mais sensato seria que elas explodissem no eixo Z, o que de fato ocorreu.

5.3 Modelo 3

O modelo três é similar ao modelo anterior, mas as duas tampas foram substituídas por duas divisões em seis pedaços. Novamente, o objetivo era notar o comportamento da explosão dessas partes. Como é possível notar na Figura 8, as partes se movem ao longo de sua direção de explosão para manter a parte central sempre visível.

5.4 Modelo 4

O modelo quatro apresenta uma parte cercada por outra parte, como apresentado na Figura 9. O sistema então dividiu a parte envolvente em duas outras partes. A mudança na posição da câmera determina o quanto as duas metades irão se mover ao longo de sua direção de explosão. Obviamente, as metades devem ter direções de explosão opostas.

5.5 Modelo 5

O modelo 5 apresenta uma parte central cercada por diferentes partes. A disposição das peças é um pouco mais complexa do que a exibida no modelo 1.

5.6 Modelo 6

O último modelo adiciona uma nova parte ao modelo 5, que encobre todas as partes. Porém, essa parte possui uma abertura lateral. Como há uma direção livre, não há a necessidade de se dividir nenhuma parte de modelo, as partes simplesmente se deslocam ao longo da direção livre, saindo da cobertura.

6 Conclusão e Trabalhos Futuros

As principais características propostas em [Li et al. 2008] foram implementadas neste trabalho. Algumas características menos importantes foram deixadas de lado, mas isso não comprometeu o resultado final atingido.

Um grande problema durante o desenvolvimento foi a falta de modelos 3D para o teste do sistema. Apesar dos modelos criados representarem bem as características e recursos do sistema, eles cer-

tamente possuem uma complexidade bem inferior aos modelos 3D reais, seja na quantidade de partes ou na disposição das mesmas.

Um problema que pode ser explorado é a explosão de peças ao longo de mais de um eixo, possibilitando que modelos mais complexos sejam explodidos.

Na visão explodida, há outros problemas que também podem ser explorados, além da disposição das peças. Como um dos principais objetivos da vista explodida é dar ao usuário um senso global das disposições das peças, certos *features* gráficos podem ser utilizados, como linhas ligando a posição original da parte até o seu destino.

Finalmente, um outro aspecto a ser explorado é a divisão do modelo 3D em partes. O artigo de referência já considera que o modelo de entrada está bem dividido, algo que não ocorre necessariamente.

Conclusão e trabalhos futuros - Falar sobre vistas explodidas na visão de informação, como nós da internet, etc. - Falar da tese que utiliza realidade aumentada.

Referências

- AGRAWALA, M., PHAN, D., HEISER, J., HAYMAKER, J., KLINGNER, J., HANRAHAN, P., AND TVERSKY, B. 2003. Designing effective step-by-step assembly instructions. In *SIGGRAPH '03: ACM SIGGRAPH 2003 Papers*, ACM, New York, NY, USA, 828–837.
- BRUCKNER, S. 2006. Exploded views for volume data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 12, 5, 1077–1084. Member-Groller, M. Eduard.
- CARPENDALE, M. S. T., CARPENDALE, T., COWPERTHWAIT, D. J., AND FRACCHIA, F. D. 1996. Distortion viewing techniques for 3-dimensional data. In *INFOVIS '96: Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS '96)*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 46.
- ELMQVIST, N., AND TSIGAS, P. 2008. A taxonomy of 3d occlusion management for visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 14, 5, 1095–1109.
- LI, W., RITTER, L., AGRAWALA, M., CURLESS, B., AND SALESIN, D. 2007. Interactive cutaway illustrations of complex 3d models. *ACM Trans. Graph.* 26, 3 (July).
- LI, W., AGRAWALA, M., CURLESS, B., AND SALESIN, D. 2008. Automated generation of interactive 3d exploded view diagrams. *ACM Trans. Graph.* 27, 3, 1–7.
- MCGUFFIN, M. J., TANCAU, L., AND BALAKRISHNAN, R. 2003. Using deformations for browsing volumetric data. In *VIS '03: Proceedings of the 14th IEEE Visualization 2003 (VIS'03)*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 53.
- NIEDERAUER, C., HOUSTON, M., AGRAWALA, M., AND HUMPHREYS, G. 2003. Non-invasive interactive visualization of dynamic architectural environments. In *I3D '03: Proceedings of the 2003 symposium on Interactive 3D graphics*, ACM, New York, NY, USA, 55–58.
- VIOLA, I., AND GRÖLLER, M. E. 2005. Smart visibility in visualization. In *Proceedings of EG Workshop on Computational Aesthetics Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*, B. G. L. Neumann, M. Sbert and W. Purgathofer, Eds., 209–216.



Figura 6: *Modelo 1 antes e depois da explosão da parte central.*

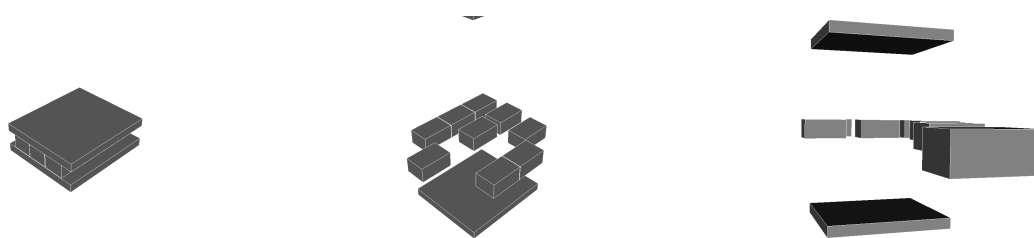


Figura 7: *Modelo 2 antes e depois da explosão da parte central.*

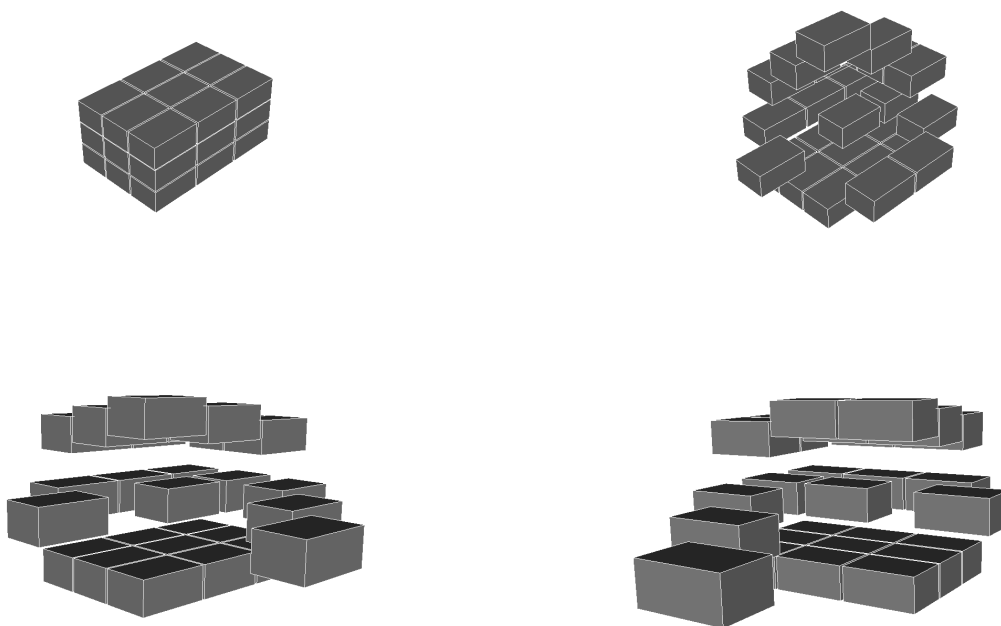


Figura 8: *Modelo 3 antes e depois da explosão da parte central.*

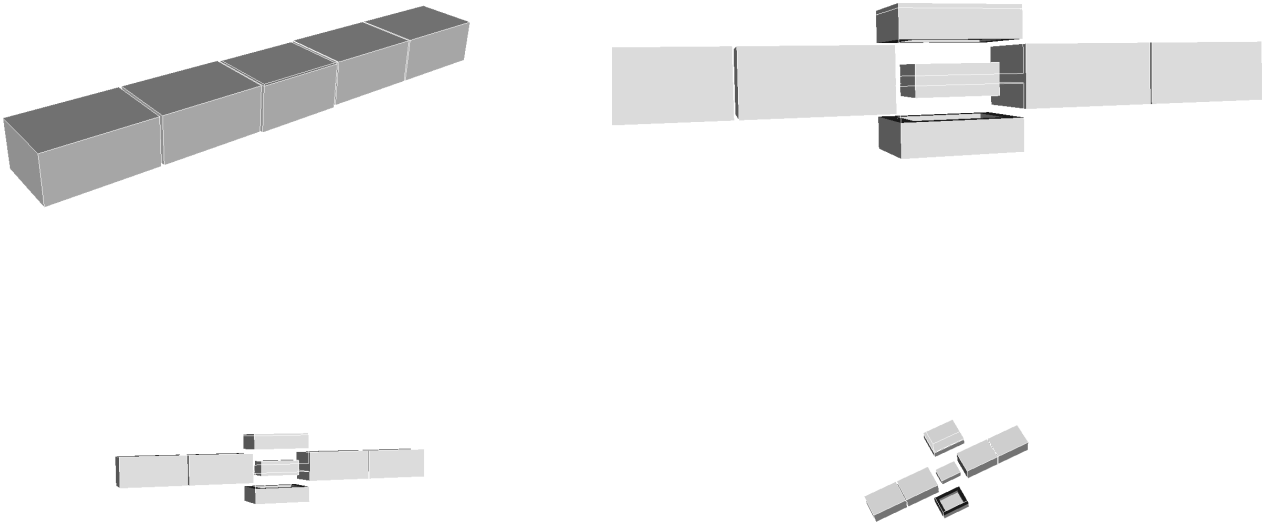


Figura 9: *Modelo 4 antes e depois da explosão da parte central.*



Figura 10: *Modelo 5 antes e depois da explosão da parte central.*

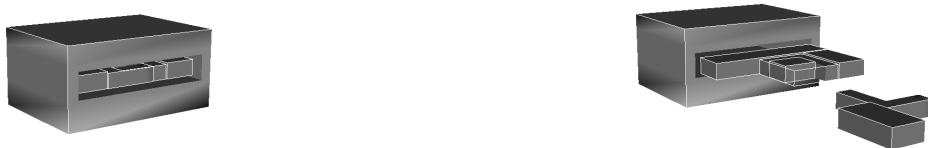


Figura 11: *Modelo 6 antes e depois da explosão da parte central.*