

RECOMENDAÇÕES PARA MODELAGEM EM SISTEMAS CAD-3D

José Aguiomar Foggiatto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC), Centro de Inovação Tecnológica da UTFPR (CITEC), Núcleo de Prototipagem e Ferramental (NUFER), Campus Curitiba - 80230-901 - Curitiba - PR - Brasil, foggiatto@utfpr.edu.br

Neri Volpato

UTFPR, DAMEC, CITEC, NUFER, Campus Curitiba - 80230-901 - Curitiba - PR - Brasil, nvolpato@utfpr.edu.br

Ana Carolina Bueno Bontorin

UTFPR, DAMEC, CITEC, NUFER, Campus Curitiba - 80230-901 - Curitiba - PR - Brasil, acarolinabb@yahoo.com.br

Resumo. *A utilização de ferramentas computacionais para modelagem de peças (sistemas CAD) faz parte da realidade da maioria dos setores de desenvolvimento de produtos das empresas. Uma das vantagens na utilização de sistemas CAD 3D é que os modelos são paramétricos, o que possibilita ganho de tempo durante as modificações do projeto. No entanto, um problema encontrado nessa área é a falta de uma metodologia durante a fase da modelagem, que, muitas vezes, leva a geração de modelos inadequados para utilização. Isto dificulta a realização das modificações e dos possíveis reaproveitamentos dos modelos. Além disso, muitas vezes inviabiliza o uso do modelo por outras aplicações de engenharia, como os de simulação e manufatura auxiliados por computador (sistemas CAE/CAM). Tais problemas aumentam o tempo de desenvolvimento, atrasando a entrada dos novos produtos no mercado. Este trabalho tem por objetivo propor algumas recomendações para orientar a modelagem 3D, permitindo assim, que os modelos sejam facilmente utilizados por todos os envolvidos no desenvolvimento do produto. Realizou-se uma análise em duas peças para evidenciar a importância da utilização dos critérios propostos durante a modelagem.*

Palavras-chave: *Modelagem 3D, CAD, Processo de Desenvolvimento de Produto.*

1. INTRODUÇÃO

O tempo utilizado para o desenvolvimento de produtos diminuiu bastante nos últimos anos devido ao uso de ferramentas computacionais. Para cada etapa do projeto, existem diferentes ferramentas disponíveis, destacando-se as utilizadas para o desenho, análise e manufatura. Esses sistemas, denominados CAx (*Computer Aided "x"*), devem estar integrados entre si. Um determinado procedimento adotado em uma fase, pode aumentar o tempo requerido em outra. Portanto, saber realizar todas as etapas de criação de um produto de forma que o processo como um todo seja beneficiado é fundamental para a redução do tempo de desenvolvimento de um produto.

Os sistemas CAD (*Computer Aided Design*) 2D foram desenvolvidos para substituir o desenho manual que era demorado e de difícil reaproveitamento. No início, foi considerado um substancial avanço, que permitiu a digitalização de grande parte dos projetos e forçou os desenhistas e projetistas a se adequarem a esta nova tecnologia. No entanto, este sistema continuava não sendo

produtivo devido à grande similaridade com os procedimentos do processo manual. Com a chegada dos primeiros sistemas que permitiam a modelagem tridimensional de forma paramétrica e baseada em *features*, a forma de conceber um projeto mudou substancialmente. Mais uma vez, as empresas tiveram que investir recursos em treinamentos e vencer a natural resistência às modificações do *modus operandis* dos profissionais da área de projetos. A grande versatilidade dos modelos tridimensionais justifica toda a energia gasta na transição entre os dois sistemas.

Uma das principais vantagens na utilização dos sistemas de CAD-3D está na interatividade com outras áreas. O modelo pode ser utilizado para calcular o seu volume, propriedades de massa e momentos de inércia, realizar montagens, verificar interferências, gerar os desenhos de fabricação, simular o seu comportamento mecânico, prototipagem rápida, usinagem por CNC, entre outros.

Atualmente, os programas comerciais de CAD-3D são considerados essenciais para o desenvolvimento rápido de novos produtos. Entretanto, para que a modelagem seja realizada de forma a permitir que outros usuários possam modificar e reutilizar o modelo inicial, é importante observar determinadas recomendações.

2. REVISÃO TEÓRICA

Vários estudos já foram realizados sobre aspectos da modelagem CAD-3D. Speck⁽¹⁾ relata que o primeiro sistema de Computação Gráfica, denominado *Sketchpad*, foi desenvolvido no Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 1963. Para Bogado⁽²⁾, até o início dos anos 80, a Computação Gráfica era um campo pequeno e especializado, principalmente devido ao alto custo dos equipamentos e da escassez de programas gráficos fáceis de utilizar e com preços acessíveis.

Em 1982, surgiu o AutoCAD, um sistema 2D que trazia na sua concepção os princípios dos desenhos realizados em pranchetas. Apesar de sua popularidade, este sistema apresentava limitações e não atendia convenientemente as necessidades dos projetistas. Os sistemas de CAD-3D surgiram para atender de forma mais adequada estas necessidades. Eles podem ser classificados pelo tipo de representação dos modelos tridimensionais em *wireframe*, superfície e sólido. Existem ainda os modelos híbridos que possuem características tanto dos modelos sólidos como dos por superfície.

A modelagem por *wireframe* (armação em arame) se baseia na união de linhas entre pontos no espaço 3D, criando modelos espaciais. Não há superfícies em um modelo *wireframe*, só vértices, linhas, retas e curvas que representam as arestas de um objeto 3D. Este tipo de modelagem utiliza menos processamento do que as outras, porém, segundo Chang *et al.*⁽³⁾, não é completa e livre de ambigüidades, nem é possível a determinação de seções, volume ou massa do objeto a partir do modelo. Os modeladores *wireframe* foram os primeiros que surgiram, porém, hoje não são mais utilizados, dando lugar aos outros dois.

A modelagem por superfícies é indicada quando o modelo possui curvas complexas ou superfícies livres. Zeid⁽⁴⁾ confirma sua aplicação para a representação de objetos com geometrias complexas, pois desta forma, pode-se descrever o objeto mais precisamente. Para Alves⁽⁵⁾, uma superfície pode ser definida como um elemento matemático que separa o interior do exterior de um objeto. Os objetos tridimensionais gerados pela técnica de modelos de superfície diferem dos modelos por *wireframe*, por usarem superfícies tridimensionais, definindo um volume ou contorno de um objeto.

A modelagem por sólidos é realizada a partir de formas simples bidimensionais como polígonos, círculos ou a combinação destes. Dependendo da geometria desejada, o sólido pode ser gerado fazendo-se a forma bidimensional percorrer uma trajetória ou ainda pela conexão de duas ou mais destas formas, desenhadas em planos diferentes. Para a modelagem de sólidos mais complexos, é possível a utilização de comandos baseados em operações booleanas como união, subtração e interseção. A modelagem sólida não armazena só a geometria do objeto final, mas também todas as formas primitivas e operações usadas para a sua construção. Zeid⁽⁴⁾ define um modelo sólido como uma representação completa, única e livre de ambigüidades.

Existem vários métodos de modelagem sólida, sendo que os principais são: CSG (*Constructive Solid Geometry*), *B-Rep* (*Boundary Representation*), Híbrida, por *Features* e Paramétrica. A maioria dos sistemas de CAD-3D atuais incorporaram em seus núcleos os métodos de modelagem por *features* e paramétrica. As *features* (características) podem ser definidas como elementos físicos das peças que tem algum significado para a engenharia. Segundo Speck⁽⁶⁾, a modelagem sólida paramétrica permite a geração de modelos com dimensões vinculadas à variáveis, permitindo a regeneração automática do modelo após cada modificação.

Embora este sistema esteja se estabelecendo como padrão na maioria das empresas, existe uma carência de informações sobre a maneira correta de se gerar os modelos. Isto tem levado muitos profissionais da área a produzir modelos tridimensionais sem nenhum critério, o que resulta em perda de tempo na reutilização dos mesmos por outros projetistas. Este trabalho buscará enumerar algumas recomendações que devem ser observadas durante a geração de peças através de sistemas de CAD 3D baseadas na experiência acadêmica dos autores, em relatos de usuários de empresas e em 10 anos de experiência em modelagem 3D nos laboratórios da UTFPR.

3. METODOLOGIA

Para que os modelos tridimensionais produzidos em sistemas de CAD 3D sejam produzidos de maneira a agilizar o desenvolvimento de produtos, permitindo uma fácil manutenção e re-utilização, recomenda-se que sejam obedecidas algumas recomendações, listadas abaixo na Tabela 1.

Tabela 1. Principais recomendações para a modelagem 3D

-
- 1- Planejar a Modelagem 3D
 - 2- Referenciar os modelos 3D nos planos principais
 - 3- Utilizar um sólido básico (simples) como *feature* inicial
 - 4- Utilizar geometrias 2D simples como *sketch* dos modelos 3D
 - 5- Usar restrições geométricas na geração das geometrias 2D
 - 6- Evitar relações de parentesco desnecessárias entre *features*
 - 7- Utilizar níveis (*layers*) para organizar a modelagem
 - 8- Usar as peças ou *features* disponíveis em bibliotecas
 - 9- Utilizar famílias de peças e de montagens
-

3.1. Planejar a Modelagem 3D

O planejamento da modelagem é fundamental para garantir a versatilidade do modelo. A escolha da *feature* base inicial, a seqüência das demais *features*, a criação de planos, curvas e/ou pontos de referência e o seu posicionamento adequado devem ser realizados segundo determinados critérios.

No estabelecimento de critérios para a modelagem é importante prever as aplicações futuras do modelo, como na manufatura, montagem, simulações do comportamento mecânico, entre outras. No planejamento visando a manufatura, o projetista considera o processo utilizado para a fabricação da peça durante a construção do modelo 3D. Desta forma, pode-se antecipar possíveis problemas na fabricação e corrigir a geometria da peça para solucioná-los. Por exemplo, no caso de peças fabricadas pelo processo de moldagem por injeção é importante que seja previsto um ângulo de saída no início da modelagem.

No planejamento visando a montagem, devem ser previstas referências que possibilitem a montagem e os movimentos relativos dos componentes. Depois que a montagem é realizada, é possível ter uma visão de todo o conjunto, com possibilidade de simular o movimento relativo entre as peças e verificar possíveis interferências. Se for necessário simular o comportamento mecânico da peça é importante que *features* como arredondamentos e chanfros possam ser suprimidas sem

afetar o restante da geometria. Isto permite a geração de modelos de análise mais simples e, conseqüentemente, uma economia no tempo de processamento.

3.2. Referenciar os Modelos 3D nos Planos Principais

Os programas de modelagem normalmente iniciam o arquivo de uma nova peça apresentando três planos principais (*defaults*): XY, YZ e XZ. Ao longo da modelagem, as *features* devem ser criadas com referências nestes planos, mesmo quando houver a possibilidade de referência em outras *features* existentes. Desta forma, a flexibilidade para as modificações será maior, permitindo a supressão ou deleção de detalhes da geometria sem interferir nas demais. Se a geometria da peça apresentar simetria, recomenda-se posicionar os seus planos ou eixos de simetria nos planos principais, caso contrário, devem ser escolhidos planos representativos da peça coincidentes com os planos principais. Uma alternativa, para quando os planos principais não puderem ser utilizados para referenciar alguma *feature*, é criar planos auxiliares paralelos, perpendiculares ou inclinados aos principais.

3.3.– Utilizar um Sólido Básico (Simples) como *Feature* Inicial

A primeira *feature*, também denominada de *feature* base, deve ser escolhida como a mais simples possível. Na maioria das vezes, quando não é possível referenciar as *features* seguintes nos planos principais ou auxiliares, é recomendável que estas sejam referenciadas na primeira *feature*. Desta forma, são criadas relações de parentesco desta primeira *feature* (pai), com as demais (filhos), dificultando uma eventual necessidade de modificação, exclusão ou supressão, sem comprometer o restante da modelagem. Escolhendo-se sólidos básicos, como cilindros ou paralelepípedos, para iniciar uma nova peça, é possível minimizar o efeito destas relações, visto que as modificações nestas geometrias são mais simples. Deve-se também ter o cuidado de escolher uma geometria simples, que tenha alguma similaridade com a forma final do modelo 3D e que seja posicionada nos planos de referência numa disposição tal, que permita a visualização do maior número de detalhes da peça.

3.4. Utilizar Geometrias 2D Simples como *Sketch* dos Modelos 3D

Os sólidos são normalmente gerados a partir de geometrias 2D (*sketches*) e é bastante comum e intuitivo, para os usuários iniciantes, construir *sketches* com o maior nível de detalhamento possível. Este procedimento deve ser evitado, pois dificulta as futuras modificações. É muito mais produtivo trabalhar com *features* geradas a partir de formas geométricas simples (círculos e retângulos) do que com geometrias bidimensionais complexas. Isto é justificado pelo fato da maioria dos programas terem regras bastante rígidas para os *sketches*, não permitindo a conclusão desta fase enquanto existirem inconsistências na geometria. A Figura 1 exemplifica o exposto com dois possíveis *sketches* que podem ser utilizados para iniciar a geração do mesmo sólido.

Na Figura 1(b), o número de *features* será maior (*feature* básica, furo central, corte inferior, etc.), mas a flexibilidade e facilidade de alteração serão maiores. Detalhes como arredondamentos, chanfros e furos, devem ser modelados separadamente como *features* e, preferencialmente, na fase final da modelagem.

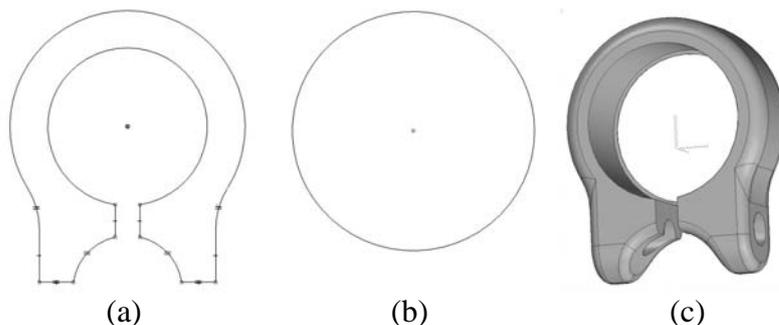


Figura 1. (a) *Sketch* inicial não recomendado por possuir muitos detalhes construtivos; (b) *Sketch* inicial recomendado pela sua simplicidade; (c) Sólido gerado

3.5. Usar Restrições Geométricas na Geração das Geometrias 2D

Recomenda-se o uso de restrições geométricas (também chamadas de relações) para evitar que a geometria se altere quando forem feitas modificações dimensionais. Assim sendo, restrições como paralelismo, perpendicularidade, igualdade, entre outras, são geralmente utilizadas antes da cotagem visando garantir uma estabilidade geométrica do *sketch*. A cotagem é considerada uma restrição dimensional e não é obrigatória em muitos sistemas de CAD 3D. Nesses casos são assumidos os valores que o próprio programa atribui no momento que o usuário desenha as entidades geométricas.

Segundo Anderl *et al.*⁽⁷⁾, existem duas maneiras de aplicar as restrições geométricas ao *sketch*: diretamente pelo projetista ou detectadas automaticamente pelo próprio programa CAD. Como a imposição de todas as restrições pelo projetista pode consumir muito tempo, a maioria dos programas atuais tem a opção de captar a intenção do usuário, impondo-as automaticamente. Porém, as vezes pode haver uma interpretação errada do programa, forçando o usuário a fazer as correções e impor manualmente as restrições corretas. Alguns programas possuem uma forma de aumentar ou diminuir a sensibilidade para captar a intenção do usuário, mas como esta regulagem é global, acaba afetando algumas restrições que antes funcionavam bem.

3.6. Evitar Relações de Parentesco entre *Features*

As relações de parentesco surgem toda vez que uma *feature* é criada utilizando-se elementos, tais como arestas, faces, centros, perfis, etc., de uma das *features* anteriores como referência. Isto pode ocorrer quando se usam comandos (tipo: *use edge*, *include*, etc.) que aproveitam a geometria anterior como base de construção para um novo *sketch*. Como visto anteriormente, recomenda-se que as referências sejam os planos principais e auxiliares ou a *feature* base. Quando isto não for possível, deve-se ter o cuidado de estabelecer estas relações prevendo que, no caso de necessidade de suprimir ou excluir esta *feature*, que serviu de referência (pai), o mesmo acontecerá com as *features* que utilizaram as referências (filhos). Em certas *features*, como arredondamentos e chanfros, não se pode evitar estas relações, sugere-se, então, que sejam as últimas a serem incorporadas ao modelo.

No dimensionamento dos *sketches*, deve-se evitar a cotagem em relação as geometrias já existentes. Recomenda-se utilizar os planos principais ou a *feature* base para impedir relações de parentesco indesejáveis. Para ajudar, alguns sistemas possuem comandos que possibilitam a seleção de entidades que estão sobrepostas às outras, permitindo a escolha adequada das referências.

3.7. Utilizar Níveis para Organizar a Modelagem

Os *layers* são níveis que podem ser utilizados durante a construção de um modelo para separar e agrupar entidades específicas. O uso destes níveis permite uma maior organização e é muito útil, por exemplo, se as peças forem ser usadas em análises estruturais. É recomendável colocar todos os arredondamentos e chanfros em um mesmo nível. Pois, caso a geometria precise ser simplificada, basta suprimir o nível e gerar um arquivo mais apropriado aos sistemas CAE. Para melhorar a visualização do modelo é usual suprimir o nível que contenha todos os planos e eixos de referência. Infelizmente, nem todos os programas de CAD permitem a criação destes níveis.

3.8. Usar as Peças ou *Features* Disponíveis em Bibliotecas

Antes de iniciar uma modelagem, o projetista deve fazer uma consulta à biblioteca de peças padronizadas que cada programa apresenta, ou aos diretórios de outros projetos para ver se esta peça já não está modelada. Mesmo não encontrando a geometria exata, muitas vezes é possível aproveitar uma peça existente e adaptá-la a necessidade com algumas modificações. Outra ação que pode economizar tempo durante a modelagem é a consulta de bibliotecas de *features* (UDF–*User Defined Features*). Nestas bibliotecas o usuário pode armazenar e recuperar as *features* que são mais usadas no seu dia a dia.

3.9. Utilizar Famílias de Peças e de Montagens

É recomendável a utilização do conceito de família de peças e de montagens quando existirem poucas diferenças geométricas e dimensionais entre os modelos. Uma das facilidades, é que a associação de um conjunto de dimensões e *features* com variáveis do programa, permite a criação de novos membros com a simples alteração dos valores destas variáveis. Este procedimento garante um mesmo padrão para os membros das famílias de peças ou montagens e economiza trabalho de modelagem durante as eventuais modificações.

4. ESTUDOS DE CASO

4.1. Comparação Entre Duas Modelagens de Uma Mesma Peça

Este estudo ilustra duas formas diferentes de modelar a mesma peça. A primeira situação (Figura 2) mostra uma maneira muito comum utilizada pelos usuários iniciantes em modelagem 3D. O modelo é iniciado a partir de um desenho 2D da seção da peça com todos os detalhes construtivos que forem possíveis de incluir para posterior extrusão. O uso de *sketches* complexos compromete a integridade do modelo quando este necessitar de modificações, pois, na maioria dos casos, as alterações realizadas no *sketch* são mais difíceis do que as realizadas diretamente nas *features*.

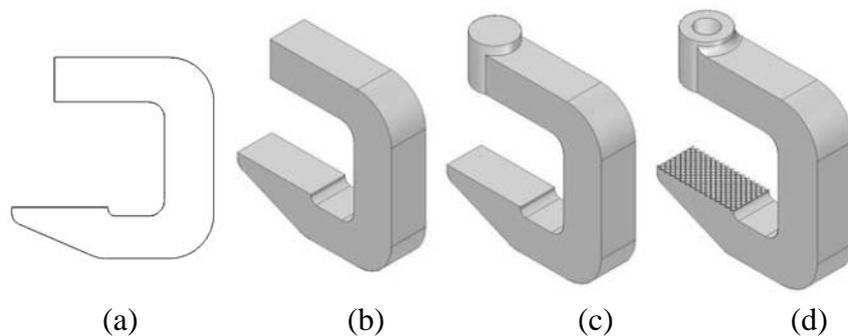


Figura 2. (a) *Sketch* complexo; (b) Perfil extrudado contendo cortes e arredondamentos; (c) Inserção das demais *features*; (d) Geometria final

A recomendação para este caso é iniciar o modelo com um sólido básico (Figura 3b), e, a partir dele, executar as demais operações de adição ou retirada de material, sempre utilizando *sketches* com formas bidimensionais simples.

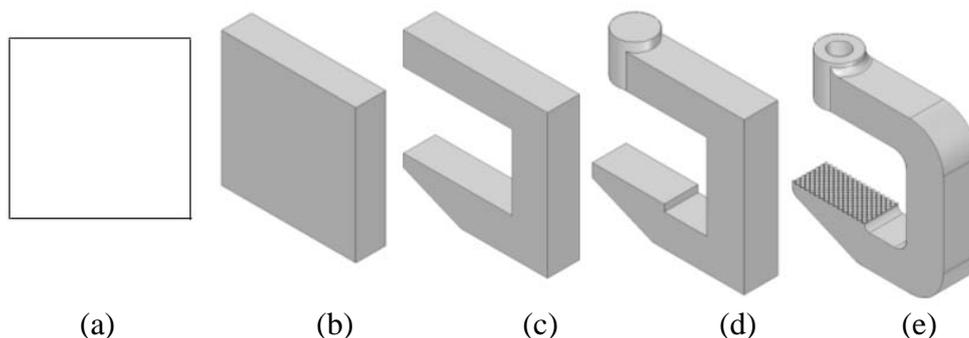


Figura 3. (a) *Sketch* simples; (b) *Feature* base; (c) Sólido gerado após os cortes; (d) Inserção de duas protrusões; (e) Geometria final

4.2. Modelagem de Peça Complexa a Partir de Geometrias Bidimensionais Simples

Este estudo visa mostrar que uma peça de geometria considerada complexa pode ser modelada a partir de geometrias bidimensionais simples (*sketches*), facilitando tanto a construção do modelo quanto uma posterior atualização do mesmo. A Figura 4 ilustra que foi utilizado um semi-cilindro como *feature* base, depois um retângulo percorreu uma trajetória composta de um segmento de reta e um arco, em seguida um outro retângulo maior e paralelo ao primeiro gerou a região do bocal. Na

seqüência, as demais *features* utilizadas foram: Casca (*Shell*), arredondamentos (*rounds*), aba (*protrusion*), Furo (*hole*), cópia dos furos (*pattern*) e espelhamento da aba e furos (*mirror*).

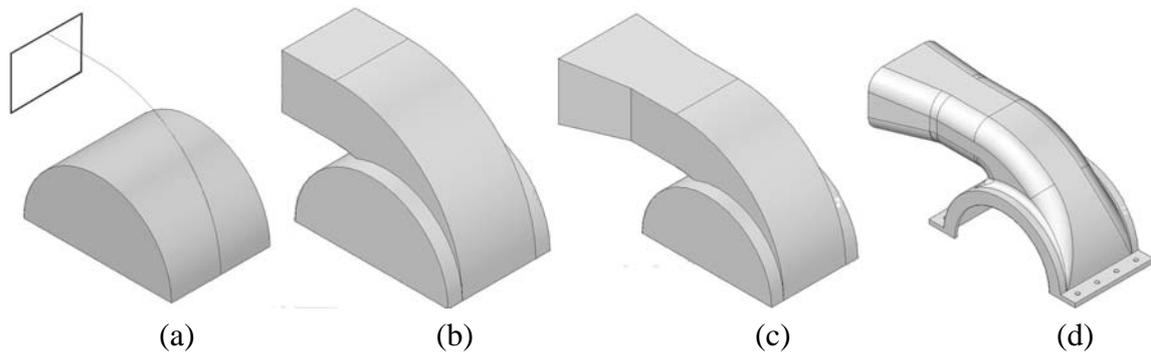


Figura 4. (a) Semi-cilindro como *feature* base; (b) sólido gerado pelo retângulo seguindo uma trajetória; (c) Conexão entre dois retângulos; (d) Geometria final após inserção das demais *features*

A construção deste sólido, utilizando as recomendações sugeridas, permite que futuras alterações, geométricas ou dimensionais nas *features* sejam realizadas rapidamente e sem comprometer a integridade do modelo. É importante destacar que muitas vezes a forma geométrica inicial induz o usuário a iniciar o modelo a partir de protrusões geradas de desenhos 2D que representem o máximo de detalhes da geometria. Isto deve ser evitado, já que dificulta as futuras modificações. Recomenda-se que seja investido tempo no planejamento do modelo levando em consideração as recomendações da Tabela 1 e as peculiaridades do produto que está sendo projetado.

5. CONCLUSÕES

O uso dos sistemas de CAD 3D para auxiliar o desenvolvimento de novos produtos vem se consagrando dentro da maioria das empresas. O que ainda falta sedimentar, é o estabelecimento de metodologias que permitam tornar os modelos gerados mais flexíveis e reutilizáveis de forma eficiente. Com isto, seria possível implementar modificações nas peças de forma rápida e sem a necessidade de remodelagem. A geração de novas peças, a partir de outras existentes, também seria beneficiada resultando num aumento da produtividade dos projetistas e no processo de desenvolvimento do produto como um todo.

Este trabalho procurou enumerar uma série de recomendações consideradas relevantes para a geração de modelos tridimensionais com o intuito de utilizá-las futuramente, no desenvolvimento de uma metodologia adequada a este processo.

6. REFERÊNCIAS

1. SPECK, H. J. **Proposta de método para facilitar a mudança de técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (CAD) para empresas de engenharia de pequeno e médio porte**. 2005. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
2. BOGADO, W. H. **Customização de Sistemas Comerciais de CAD**. 1997, Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.
3. CHANG, T., WYSK, R. , WANG, H. **Computer-Aided Manufacturing**. 2005, 670p.
4. ZEID, I. **Mastering CAD/CAM**. New York: McGraw Hill, 2005, 962p.
5. ALVES, R. **Técnicas de CAD**. 2002. 58f. – Apostila Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
6. SPECK, H. J. **Avaliação Comparativa das Metodologias Utilizadas em Programas de Modelagem Sólida**. 2001. 203 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

7. ANDERL, R , MENDGEN R. **Parametric Design and its Impact on Solid Modeling Applications**. Proceedings of the third ACM symposium on Solid modeling and application. 1995.

3D CAD MODELING RECOMMENDATIONS

José Aguiomar Foggiatto

Federal University of Technology – Paraná (UTFPR), Department of Mechanical Engineering (DAMEC), Technological Innovation Center of UTFPR (CITEC), Prototyping and Tooling Group (NUFER), Campus Curitiba – 80230-901– Curitiba - PR – Brasil, foggiatto@utfpr.edu.br

Neri Volpato

UTFPR, DAMEC, CITEC, NUFER, Campus Curitiba – 80230-901– Curitiba - PR – Brasil, nvolpato@utfpr.edu.br

Ana Carolina Bueno Bontorin

UTFPR, DAMEC, CITEC, NUFER, Campus Curitiba – 80230-901– Curitiba - PR – Brasil, acarolinabb@yahoo.com.br

Abstract. *The use of computational tools to aid part design (CAD systems) is common in the majority of the companies which develops products. One advantage of using 3D CAD system is the parametric characteristic of the model, which speed up design changes. However, one problem in this area is the lack of a methodology during modeling that, some times, generates inadequate models. This make it difficult to carry out changes and to reuse the model for other modeling. Additionally, this can pose problems downstream in the process, such as in engineering analysis or manufacturing (CAE/CAM), increasing the product development process time. This work aims to propose some recommendations for 3D modeling that will allow the model to be used by all involved in the product development process. A study was carried out with two parts in order to show the importance of the proposed recommendations during the 3D modeling.*

Keywords: *3D modeling, CAD, Product Development Process*