

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG

ENGENHARIA MECÂNICA

Ulisses Fernandes Laurindo

**A APLICABILIDADE DO SOFTWARE CAD SOLIDWORKS PARA
DESENVOLVIMENTO E OBTENÇÃO DE UM PRODUTO PELOS PRINCIPAIS
MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA**

Varginha - MG

2011

FFDFSMTG

ULISSES FERNANDES LAURINDO

**A APLICABILIDADE DO SOFTWARE CAD SOLIDWORKS PARA
DESENVOLVIMENTO E OBTENÇÃO DE UM PRODUTO PELOS PRINCIPAIS
MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA**

Tese de conclusão de curso apresentada
ao Centro Universitário do Sul de Minas
– UNIS/MG por Ulisses Fernandes
Laurindo como requisito para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Varginha - MG

2011



ULISSES FERNANDES LAURINDO

**A APLICABILIDADE DO SOFTWARE CAD SOLIDWORKS PARA
DESENVOLVIMENTO E OBTENÇÃO DE UM PRODUTO PELOS PRINCIPAIS
MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA**

Tese de conclusão de curso apresentada a Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS-MG, como requisito para finalização do curso de Engenharia Mecânica.

() Aprovado

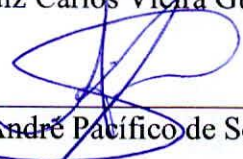
() Reprovado

Data / /



Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes

Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes



Prof. Esp. André Pacífico de Souza

OBS.:

Dedico este trabalho aqueles que contribuíram e acreditaram na sua realização. Principalmente a minha família e minha namorada que me deram todo apoio para que pudesse concluir mais uma etapa estudantil de minha vida. Agradeço também a Deus que me guiou e orientou durante esses cinco anos.

Agradeço aos meus pais, namorada,
professores, amigos e colegas pôr terem
contribuído na execução deste trabalho

Não te irrites se te pagarem mal um benefício; antes cair das nuvens que de um terceiro andar.

(Memórias póstumas de Brás Cubas)

RESUMO

Este trabalho avalia a aplicação de ferramentas CAD (*Computer Aided Design*) para modelagem/desenvolvimento de um produto 3D, juntamente com a aplicação das principais tecnologias de prototipagem rápida para a produção de peças, um processo que visa agilizar e baratear o desenvolvimento de produtos e projetos. Serão apresentadas técnicas e ferramentas de modelagem 3D para o software *SolidWorks*, ferramentas que são capazes de fazer uma análise virtual e funcional em diversos casos. Para o desenvolvimento de produto na fase de projetos estaremos utilizando o software *Solidworks* que é uma ferramenta voltada para o desenvolvimento de projetos 3D que podem criar automaticamente desenhos detalhados eliminando o processo demorado de criação, manipulação e manutenção para a visualização dos desenhos, ele também pode mostrar o projeto em diversos ângulos e aplicar detalhes de componentes específicos com apenas simples cliques no mouse. Para o desenvolvimento do produto iremos utilizar as principais tecnologias de prototipagem rápida, que precisa apenas que o arquivo gerado no *Solidworks* seja salvo numa extensão específica para iniciar a execução do projeto, sem a necessidade de gerar os desenhos 2D normalmente utilizado pelas empresas para a fabricação de peças e conseqüentemente agilizando e barateando muito a etapa de qualquer desenvolvimento de um produto novo.

Palavras-chave: SolidWorks, Tecnologias e Prototipagem Rápida.

ABSTRACT

This paper evaluates the application of CAD tools (Computer Aided Design) for modeling/development of a 3D product, along with the application of key technologies of rapid prototyping to production parts, a process that aims to expedite and cheapen the product development and projects. Will be presented techniques and 3D modeling tools for the SolidWorks software, tools that are able to do a virtual analysis and functional in many cases. For the product development phase of projects will be using SolidWorks software is a tool aimed at the development of 3D designs that can automatically create detailed drawings eliminating the lengthy process of creation, manipulation and maintenance for the display of the drawings, it can also show the project at various angles and apply the details of specific components with just simple mouse clicks. For product development we will use the main rapid prototyping technologies, which need only the file generated in SolidWoks is saved in a specific extension to begin execution of the project without the need to generate 2D drawings often used by companies to manufacture part and therefore speeding up and cheapening the very stage of any development of a new product.

Key Words: *SolidWorks, Technologies and Rapid Prototyping.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Computador Univac	11
Figura 02 – Tela inicial do SolidWorks 2010.....	12
Figura 03 – Modelos bidimensionais numa visão 2D	15
Figura 04 – Modelos tridimensionais, apresentação “Wireframe”.....	16
Figura 05 – Modelos tridimensionais, apresentação “Modelo de Superfície”	16
Figura 06 – Exemplo de análise feita com a utilização de um software CAE	18
Figura 07 – Etapas da análise do CAE	19
Figura 08 – Exemplos de simulação feita com a utilização de um software CAM.....	20
Figura 09 – Interface AutoCAD 2011	21
Figura 10 – Recurso Base Extrudado SolidWorks 2010	23
Figura 11 – Recurso Base por Loft SolidWorks 2010.....	24
Figura 12 – Recurso Base Revolucionado SolidWorks 2010.....	24
Figura 13 – Recurso Corte Extrudado SolidWorks 2010	25
Figura 14 – Recurso Corte por Loft SolidWorks 2010	25
Figura 15 – Recurso Corte por Revolução SolidWorks 2010	26
Figura 16 – Recurso Chanfro SolidWorks 2010	26
Figura 17 – Recurso Filete SolidWorks 2010	27
Figura 18 – Recurso Casca SolidWorks 2010	27
Figura 19 – Recurso Base Varrido SolidWorks 2010	28
Figura 20 – Recurso Corte por Varredura SolidWorks 2010	28
Figura 21 – Recurso Definição dos Materiais SolidWorks 2010	29
Figura 22 – Ferramenta Soldagem de Estruturas SolidWorks 2010	30
Figura 23 – Ferramenta Chapa Metálica SolidWorks 2010	31
Figura 24 – Peça Planificada SolidWorks 2010	31
Figura 25 – Ferramenta de Molde e Matriz SolidWorks 2010.....	32
Figura 26 – Ferramenta Tubulação e Rota Elétrica SolidWorks 2010.....	33
Figura 27 – Ferramenta Análise de Interferência e Problemas SolidWorks 2010	34
Figura 28 – Ferramenta Criação de Desenhos 2D SolidWorks 2010.....	35
Figura 29 – Ferramenta de Simulação SolidWorks 2010.....	37
Figura 30 – Resultado da Simulação SolidWorks 2010	37
Figura 31 – Ferramenta Motion SolidWorks 2010.....	38
Figura 32 – Ferramenta Flow Simulation SolidWorks 2010.....	39
Figura 33 – Processo de Camadas	40
Figura 34 – Principio do Processo SL	43
Figura 35 – Exemplo de Peças Obtidas do Processo SL	44
Figura 36 – Principio do Processo IJP.....	45
Figura 37 – Exemplo de Peças Obtidas do Processo IJP.....	45
Figura 38 – Principio do Processo FDM	46
Figura 39 – Esquemática de uma camada por FDM	48
Figura 40 – Exemplo de Peças Obtidas do Processo FDM	48
Figura 41 – Principio do Processo SLS	49
Figura 42 – Exemplo de Peças Obtidas do Processo SLS	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAD – Desenho Auxiliado por Computador (Computer Aided Design)	11
CAM – Fabricação Assistida por Computador (Computer Aided Manufacturing)	11
CAE – Engenharia Auxiliada por Computador (Computer Aided Engineering)	12
2D – Bidimensional, duas dimensões	12
3D – Tridimensional, três dimensões	12
RP – Prototipagem Rápida	13
SL – Estereolitografia da 3D Systems (StereoLithography)	13
IJP – Impressão a Jato de Tinta (PolyJet da Objet)	13
FDM – Modelagem por Fusão e Deposição da Stratasys (Fused Deposition Modeling)	13
SLS – Sinterização Seletiva a Laser da 3D Systems (Selective Laser Sintering)	13
MIT – Instituto de Tecnologia de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology)	14
STL – Biblioteca Padrão de Gabaritos (Standard Template Library).....	17
FEM – Análise de Elementos Finitos (Finite Element Method)	17
UV – Ultravioleta.	41
LOM – Manufatura Laminar de Objetos (Laminated Object Manufacturing)	41
PLT – Tecnologia com Lâminas de Papel (Paper Lamination Technology)	41
EOS – Sinterização a Laser	42
LENS – Fabricação da Forma Final a Laser (Laser Engineered Net Shaping).	42
3DP – Impressão Tridimensional	42
EUA – Estados Unidos da América.....	42
SLA – Aparato Estereolitografia da 3D Systems (StereoLithography Apparatus)	42
CO ₂ – Dióxido de Carbono.	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 SISTEMAS CAD CAE E CAM.....	14
2.1 CAD (Computer Aided Design – Desenho Auxiliado por Computador).....	14
2.2 CAE (Computer Aided Engineering – Engenharia Auxiliada por Computador).....	17
2.3 CAM (Computer Aided Manufacturing – Fabricação Assistida por Computador)	19
3 PROGRAMA 2D - AUTOCAD.....	21
4 PROGRAMA 3D - SOLIDWORKS	22
4.1 Ferramentas de Modelagem Especializadas do SolidWorks.....	29
4.1.1 Soldagem de Estruturas	30
4.1.2 Peças de Chapas Metálicas	30
4.1.3 Ferramentas para Moldes e Matrizes.....	32
4.1.4 Tubulação Rígida e Rota Elétrica.....	33
4.1.5 Análise de Interferências e Problemas.....	34
4.1.6 Criação de Desenhos 2D a partir de um modelo	35
4.2 Ferramentas de Simulação e Validação do SolidWorks	36
4.2.1 SolidWorks Simulation.....	36
4.2.2 SolidWorks Motion	38
4.2.3 SolidWorks Flow Simulation	39
5 PROTOTIPAGEM RÁPIDA	40
5.1 Sistemas de Prototipagem Rápida.....	42
5.1.1 Estereolitografia da 3D Systems (SL)	42
5.1.2 Impressão a Jato de Tinta (IJP).....	44
5.1.3 Modelagem por Fusão e Deposição da Stratasys (FDM).....	46
5.1.4 Sinterização Seletiva a Laser da 3D Systems (SLS)	49
6 CONCLUSÃO.....	51
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	53

1 INTRODUÇÃO

Antigamente perdia-se muito tempo e dinheiro com o desenvolvimento de produtos, tudo isso começou a mudar por volta dos anos 60 quando começaram a surgir os primeiros computadores comerciais.



Figura 01: Computador Univac.

FONTE: <http://uepbcomputacao.blogspot.com/2010/08/historia-do-computador.html>

Com a globalização e o advento da informática, isto é o computador, foram desenvolvidos diversos programas específicos que tinham a finalidade de sanar problemas encontrados no mercado de trabalho naquela época, esses programas foram adaptados para diversas áreas que ainda são atualizados e utilizados até hoje, vai de acordo com a necessidade das empresas e do mercado de trabalho.

Com a evolução dos computadores e a exigência do mercado de trabalho foram aprofundados os estudos dos programas CAD¹ (*Computer Aided Design*), CAM² (*Computer*

¹ **CAD - Computer Aided Design:** (Desenho Auxiliado por Computador), sistema computacional que visa facilitar o projeto e desenhos técnicos utilizados na engenharia, geologia, arquitetura e design.

² **CAM – Computer Aided Manufacturing:** (Fabricação Assistida por Computador), sistema computacional que se refere a todo e qualquer processo de fabricação controlado por computador

Aided Manufacturing) e CAE³ (*Computer Aided Engineering*). Evoluções e programas “revolucionários” demoraram certo tempo até chegar ao Brasil, pois naquela época as leis protegiam as indústrias brasileiras da informática, dificultando muito a chegada de novidades tecnológicas desenvolvidas no exterior.

Com o passar dos anos e o crescente uso da informática, ocorria em paralelo uma grande evolução tecnológica, os softwares CAD, na década de 70 foi quando tiveram grande impulso no exterior, permitindo gerar os primeiros desenhos 2D com o auxílio do computador, apesar das diversas limitações já podia se observar que num futuro próximo não haveria mais a necessidade da utilização de lápis, papel e prancheta, objetos consagrados naquela época.

Em meados da década de 80, começaram a surgir às primeiras versões em 3D, foi quando nos anos 90 começaram a aparecer os softwares que permitiam o desenvolvimento dos protótipos digitais, com recursos que possibilitavam fazer virtualmente análises cinemáticas e cálculos estruturais das peças.

Nessa época que surgiu o software CAD *SolidWorks*⁴, desenvolvido pela *SolidWorks Corporation*⁵, tendo a sua primeira versão em 1993. O *SolidWorks* baseia-se em computação paramétrica, criando formas 3D a partir de formas geométricas elementares. No ambiente do programa, a criação de um sólido inicia a partir da definição de um esboço 2D ou 3D.

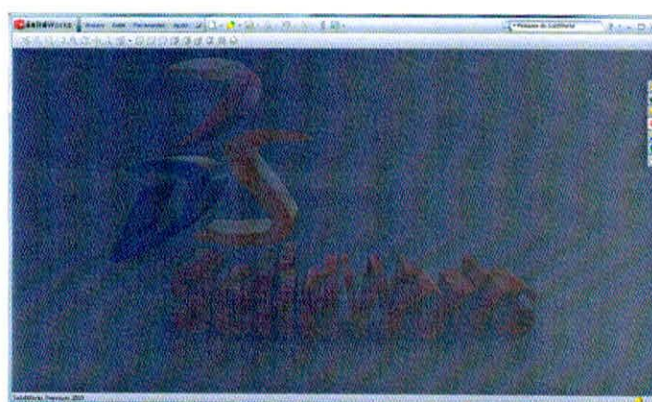


Figura 02: Tela Inicial do SolidWorks 2010. FONTE: O autor

³ **CAE – Computer Aided Engineering:** (Engenharia Auxiliada por Computador), sistema computacional utilizado para cálculos de engenharia em projetos desenvolvidos via CAD.

⁴ **SolidWors:** É um software CAD 3D paramétrico, baseado em sólidos e recursos desenvolvido para o sistema operacional Windows.

⁵ **SolidWors Corporation:** Empresa responsável pela criação do SolidWorks em 1993.

A RP⁶ (prototipagem rápida) surgiu decorrente dos softwares CAD 3D, que permitem fabricar modelos físicos 3D utilizando um programa CAM. Os objetos são construídos camada a camada. Os sistemas de RP afeta diretamente no desenvolvimento de novos produtos. Com os produtos desenvolvidos pela prototipagem rápida podemos obter ferramentas para produção, fazer ensaios nos componentes, ou seja, menor custo em menor tempo. São diversos os tipos de processo em prototipagem rápida, os principais são: Processos Baseados em Líquido: *Estereolitografia* da 3D Systems (SL – *StereoLithography*)⁷, Impressão a Jato de Tinta (IJP – *PolyJet da Objet*)⁸. Processos Baseados em Sólidos: Modelagem por Fusão e Deposição da *Stratasys* (FDM – *Fused Deposition Modeling*)⁹. Processos Baseados em Pó: Sinterização Seletiva a Laser da 3D Systems (SLS – *Selective Laser Sintering*)¹⁰.

⁶ **RP – Prototipagem Rápida:** Conjunto de tecnologia usado para a fabricação de objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador.

⁷ **SL – StereoLithography:** (Estereolitografia), Tecnologia utilizada em prototipagem rápida para a produção de peças em partes de alta precisão.

⁸ **IJP – PolyJet da Objet:** (Impressão a Jato de Tinta), processo que utiliza um sistema tipo jato de tinta depositando resina em pequenas gotas.

⁹ **FDM – Fused Deposition Modeling:** (Modelagem por Fusão e Deposição), impressão por deposição de um material extrudado.

¹⁰ **SLS – Selective Laser Sintering:** (Sinterização Seletiva a Laser), impressão que utiliza um laser de CO₂ de média potência para sinterizar um material em forma de pó.

2 SISTEMAS CAD CAE E CAM

2.1 CAD (Computer Aided Design – Desenho Auxiliado por Computador)

Em 1961 foi quando o primeiro software CAD teve sua apresentação decorrente das evoluções dos computadores, apresentado pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT)¹¹, criado por IVAN SUTHERLAND¹². Começou a ter sua instalação maciça na década de 70 pelas indústrias, inicialmente os softwares CAD tinham suas apresentações apenas em 2D iguais aos desenhos criados em pranchetas, apenas na década de 80 que começaram a aparecer os primeiros softwares CAD 3D, só que apenas na década de 90 que surgiram as tecnologias parametrizadas, que são sistemas pelos quais o software de CAD trabalha as relações entre o desenho tridimensional e suas medidas. O sistema CAD pode ser entendido como um conjunto de ferramentas para criação, manipulação e alteração interativa de projetos e desenhos.

Os softwares CAD podem ser vistos como uma aplicação da informática com objetivos de agilizar e facilitar a construção de desenhos em diversas áreas causando um grande impacto na engenharia, pois antigamente os projetistas perdiam muito tempo gerando os desenhos e diversas vezes fazendo cálculos. Com as ferramentas CAD de hoje os projetistas muitas vezes precisam se preocupar apenas com a modelagem do produto. Mais a rigor o software CAD não é necessariamente desenhar mais rapidamente do que como se feito a mão, embora ocorra uma economia considerável de tempo e modificações, esses softwares deram mais precisão, recursos para modificações, edição e cópia de desenho.

De acordo com Voisinet¹³ (1998),

“Reduzir o tempo de desenho numa companhia é de primordial importância. Considera-se a parte de desenho de projeto como o gargalo de uma garrafa.

¹¹ **MIT – Massachusetts Institute of Technology:** (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), centro universitário de educação localizado Cambridge, Massachusetts nos Estados Unidos.

¹² **IVAN SUTHERLAND:** Americano cientista da computação e um dos pioneiros da internet.

¹³ **Voisinet:** Escritor americano do livro: Cadd Projeto e Desenho Auxiliados por Computador.

Desenhistas técnicos usam praticamente dois terços de seu tempo para planejar e traçar. Somente um terço é gasto para todas as outras funções profissionais combinadas, incluindo o desenho. A implantação do CAD muda isso. Alterações em projetos são efetuadas muito mais rapidamente, resultando num rápido tempo de reciclagem. Conseqüentemente o projeto flui melhor através da companhia. O gargalo representado pelos projetistas tradicionais tende a ser eliminado”. (VOISINET, 1998 p.450)

O modelo geométrico CAD hoje tem sua apresentação de duas formas, 2D ou 3D. Um exemplo de 2D seria a geração de qualquer desenho como a planta de uma casa ou prédio, onde ambos são apresentados apenas em um plano, ou seja, o desenho é apresentado em duas coordenadas (X e Y, por exemplo).

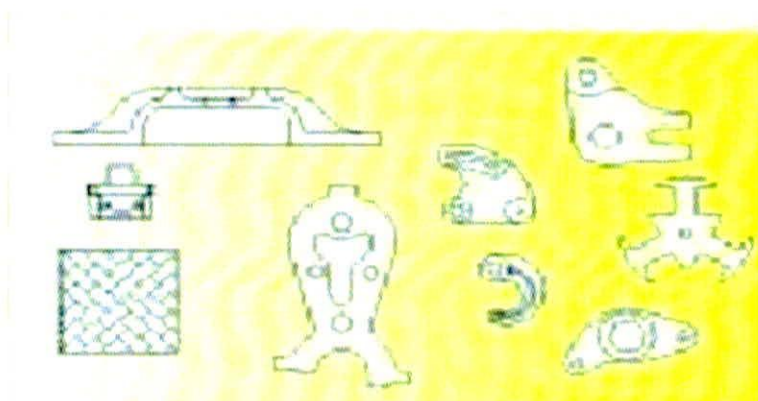


Figura 03: Modelos Bidimensionais numa visão 2D.

FONTE: <http://dc399.4shared.com/doc/o7rUchcR/preview.html>

No modelo 3D a peça apresenta em três coordenadas (X, Y e Z, por exemplo) essa terceira dimensão nos permite visualizar o produto de diferentes formas, dando ao desenho a noção de volume, a geração desse desenho é denominado como modelagem geométrica.

Segundo Proença¹⁴ (1995) existe três tipos de representação para modelagem geométrica: estrutura de arame *wireframe*¹⁵, modelo de superfície e modelo de sólido.

A apresentação do modelo estrutura de arame pode ser confusa dependendo da complexibilidade dos arquivos, nessa situação o produto é apresentado com as linhas interconectadas apresentando todos os seus lados.

¹⁴ **Proença, Adriano:** Doutor e pesquisador da instituição UFRJ.

¹⁵ **Wireframe – Estrutura de Arame:** Destinada a representação de objetos onde são apresentados um conjunto de arestas que definem as bordas dos objetos.

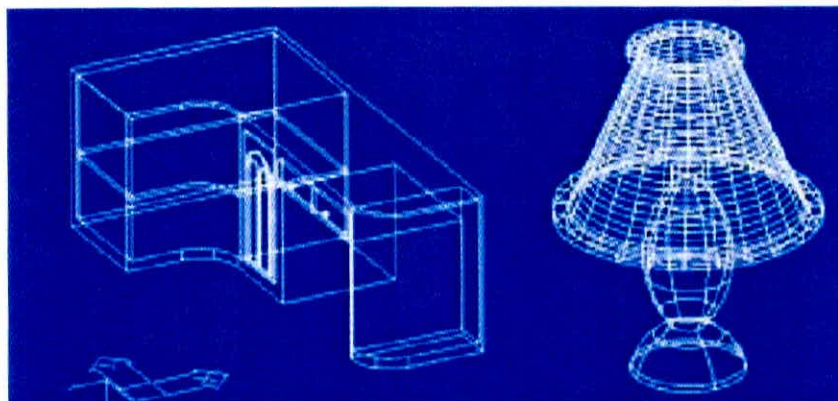


Figura 04: Modelos Tridimensionais, apresentação “wireframe”.
 FONTE: <http://dc399.4shared.com/doc/o7rUhcR/preview.html>

A apresentação do modelo de superfície o produto é apresentado apenas pelas superfícies externas e internas, o que já melhora e muito a confusão muitas vezes causada pela representação *wireframe*. Nesse tipo de arquivo os produtos são apresentados por “casca”, ou seja, não possuem um interior sólido e as superfícies não precisam possuir espessura.

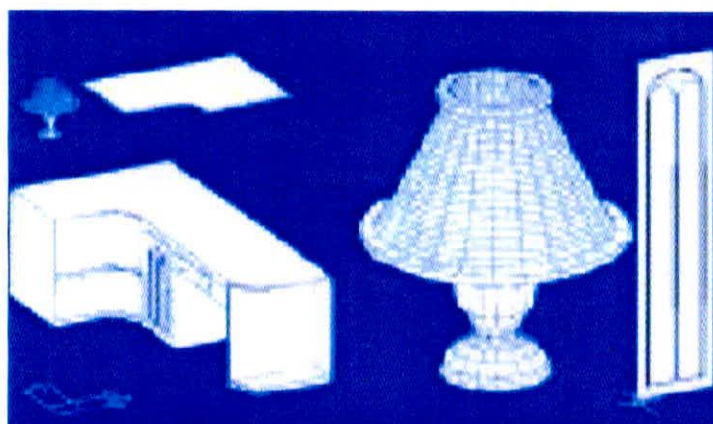


Figura: 05: Modelos Tridimensionais, apresentação “modelo de superfície”.
 FONTE: <http://dc399.4shared.com/doc/o7rUhcR/preview.html>

No modelo sólido, a peça é representada da mesma maneira que o modelo de superfícies só que nesse caso o produto é um sólido real, permitindo calcular volume, massa, centro de gravidade, verificar a interferência entre um produto e outro, determinar material e etc.

Outra grande vantagem do CAD é que pode interagir com os outros sistemas CAE e CAM, sejam eles por meio de simulações ou então por exportação de arquivos no formato da extensão STL¹⁶ que é utilizado na interpretação do software da máquina RP que irá fazer os procedimentos para prototipar a peça que foi modelada no CAD.(Tipo de extensão utilizado por diversos equipamentos inclusive equipamentos de RP).

2.2 CAE (Computer Aided Engineering – Engenharia Auxiliada por Computador)

Os softwares CAE é um conjunto de técnicas utilizadas para fazer a avaliação de um produto geralmente desenvolvido através de um CAD, utilizados para verificar o funcionamento de máquinas/produtos de maneira virtual, a fim de evitar perda de tempo e dinheiro. Os softwares CAE são utilizados para verificar o comportamento real de operação de um produto, permitindo o engenheiro avaliar com precisão o produto desenvolvido no CAD, sem precisar fabricar protótipos. O software CAE é baseado no (FEM)¹⁷ que são utilizados para calcular as tensões mecânicas, distribuição de temperatura, vibrações, escoamento de fluidos, deslocamentos, fluxo de calor na peça e etc. No mercado de trabalho encontramos alguns tipos de CAEs específicos:

CAEs baseados no FEM – Método que divide o arquivo em pequenas partes gerando uma malha, resolvendo num conjunto de equações algébricas para se obter um resultado em função de cargas que são aplicadas nos produtos.

CAEs destinados a simulação dinâmica de mecanismos permitindo simular o funcionamento de um robô, calculando as velocidades e acelerações de suas diferentes partes considerando os torques dos motores de acionamento, carga a ser movimentada e etc. “É uma simulação mais fiel a realidade, ao contrário do CAD onde é feita uma animação do funcionamento do robô” (SILVA, 2001).

¹⁶ **STL – Standard Template Library:** Extensão que transforma o arquivo modelado em um modelo 3D contínuo e uniforme, utilizado por diversas máquinas na parte de programação.

¹⁷ **FEM – Finite Element Method:** (Análise de Elementos Finitos), método numérico que pode ser usada para uma aproximação através de equações diferenciais finitas para cálculo de estrutura e sistemas mecânicos.

Antes de ser feito qualquer avaliação dos arquivos deve ser especificados os materiais das peças especificando suas propriedades físicas (Modulo de elasticidade, densidade entre outros).

Em muitos casos, a utilização do CAE faz-se indispensável, devido à grande dificuldade no uso da abordagem tradicional. Essa tecnologia vem-se disseminando rapidamente pela indústria brasileira por causa dos benefícios desta tecnologia (PROENÇA, 1995).

Ao escolher uma ferramenta CAE deve-se levar em consideração a sua capacidade de integração com o sistema CAD a ser utilizado. Hoje os softwares CAEs já se integram facilmente com o CAD, um grande exemplo disso é o *CosmosWorks*¹⁸ que é totalmente integrado ao software *SolidWorks*.

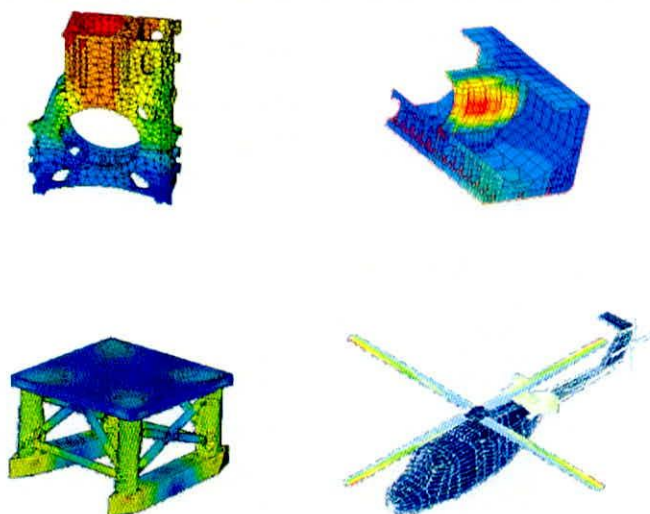


Figura 06: Exemplos de análise feita com a utilização de um software CAE.
FONTE: Apostila Projeto Licenciatura em Computadores e Sistemas Pag. 46

¹⁸ **CosmosWorks:** Ferramenta integrada ao SolidWorks utilizado para fazer análises de estática, dinâmica e vibração de peças e montagens.

A análise de CAE é composta por três etapas:

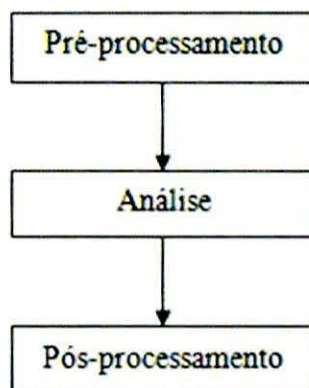


Figura 07: Etapas da Análise do CAE.

FONTE: <http://dc399.4shared.com/doc/o7rUchcR/preview.html>

Pré-processamento – Nessa etapa é construído ou importado o modelo, determinado o material, gerado a malha do modelo e determinado as aplicações de cargas e as restrições, ou seja, deslocamentos, temperaturas etc.

Análise – Essa etapa é feita pelo software que tem a função de resolver as equações complexas de matemática que descrevem o comportamento físico da peça.

Pós-processamento – Nessa etapa é obtido o resultado do modelo, como distribuição das tensões mecânicas, deslocamentos, distribuição de temperaturas e etc.

2.3 CAM (Computer Aided Manufacturing – Fabricação Assistida por Computador)

Os softwares CAM são utilizados para fazer simulações, programações e controle de peças, as principais tarefas realizadas pelo CAM são: Estimar custos de peças (material e produção), definir processo de produção, equipamentos e sua seqüência de utilização, cálculo de parâmetros ótimos para produção das peças, gerar programa em alguns casos automaticamente, definir tempo de fabricação das peças, gerar relatórios e etc. O software

CAM tem a interface que gera a imagem gráfica da simulação, mostrando todas as etapas de fabricação. A simulação é feita visualmente mostrando o caminho da ferramenta e como será feita a remoção do material, permitindo ao engenheiro uma análise virtual do processo eliminando possíveis dúvidas e possibilitando as melhores escolhas dentre as possíveis. Abaixo um exemplo de simulação.

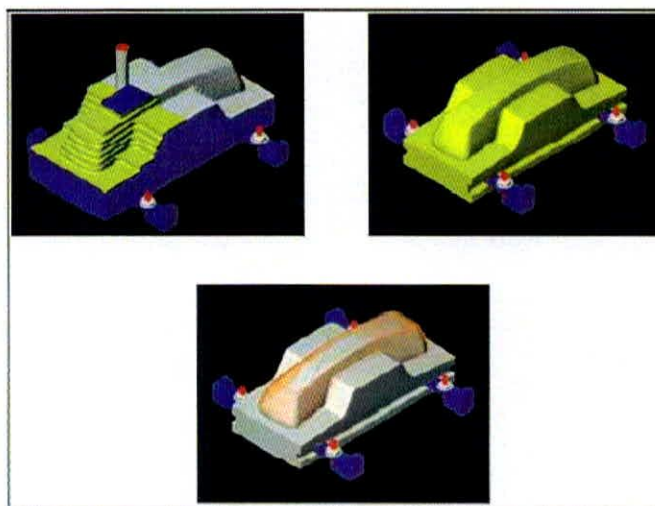


Figura 08: Exemplo de simulação feita com a utilização de um software CAM.
FONTE: Apostila de Bacharelado Customização para Acrescentar Atributos em Sólidos do SolidWorks Pag. 21

Os softwares CAM fazem simulações de diversos equipamentos nos dias de hoje, cada um utiliza sua linguagem de programação dentre esses equipamentos temos as máquinas de RP, tornos, fresas, máquinas a laser, corte a jato d'água, corte a plasma, eletroerosão a fio e etc.

3 PROGRAMA 2D - AUTOCAD

Software criado e comercializado pela *Autodesk, Inc*¹⁹, desde 1982 podemos dizer que o AutoCAD foi o pai dos softwares CAD. Quando criado o software era utilizado para o desenvolvimento de peças e desenhos 2D, que dominou o mercado de trabalho chegando até ser utilizado como o software padrão mundial na área de CAD até a chegada dos CAD 3D, mesmo assim este é utilizado até hoje por diversas áreas, arquiteturas, engenharia mecânica, engenharia civil, esquemas elétricos, tubulações entre outros. Com o passar dos anos o AutoCAD teve diversas atualizações e melhorias chegando ao patamar de programas 3D, não com muita eficiência, pois a *Autodesk* já possui outro software 3D o *Mechanical Desktop*²⁰ tornando incoerente a evolução do AutoCAD 3D.

Com o grande domínio do *AutoCad* tivemos diversos “clones/genéricos”, softwares mais baratos que tinham como principal intenção tirar o total domínio do *AutoCad* naquela época, só que nenhum deles chegaram a ter a mesma eficiência e o mesmo desenvolvimento.

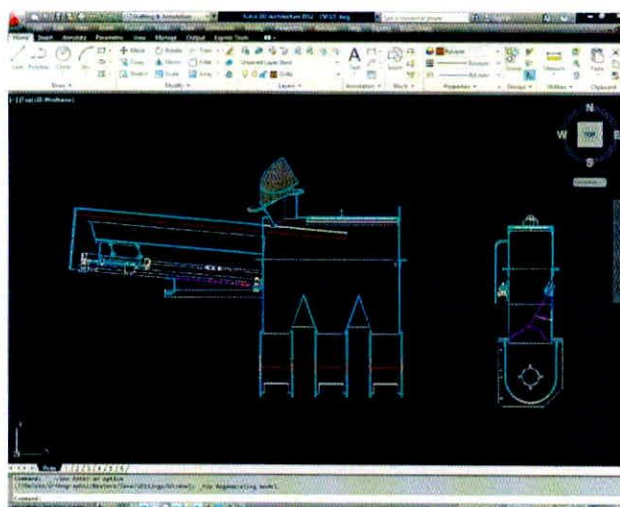


Figura 09: Interface AutoCAD 2011. FONTE: O autor

¹⁹ **Autodesk Inc:** Empresa responsável pela criação do AutoCAD/Inventor em 1982.

²⁰ **Mechanical Desktop:** Solução de CAD para projeto mecânico que trabalha na plataforma 2D do AutoCAD e com poder da modelação paramétrica 3D.

4 PROGRAMA 3D - SOLIDWORKS

Segundo Sicot²¹ (2011), o *SolidWorks* oferece soluções completas em 3D para que você possa traduzir suas idéias em realidade, empurrar os limites do design, e alcançar seus objetivos.

De acordo com a *Dassault Systemes SolidWorks Corporation* que adquiriu a *SolidWorks* em 1997, o *SolidWorks*,

“Oferece ferramentas de softwares 3D que permite que você crie, simule, publique e gerencie seus dados. Os produtos da *SolidWorks* são fáceis de aprender e de usar e trabalham juntos para ajudá-lo a criar melhor e de forma mais rápida e econômica seus produtos. O foco da *SolidWorks* na facilidade de uso permite mais do que nunca que mais engenheiros, projetistas e outros profissionais de tecnologia aproveitem a tecnologia 3D para darem vida aos seus projetos”. (http://www.solidworksbrasil.com.br/sw/6453_PTBR_HTML.htm)

O *SolidWorks* é um software de CAD, que trabalha com três ambientes gráficos distintos: o ambiente *part*²², *drawing*²³ e *assembly*²⁴. O *SolidWorks* modela suas peças parametricamente, após as peças modeladas ele permite a partir do modelo 3D, gerar as vistas ortográficas automaticamente e também gerar montagem de peças transformando-o em conjuntos. (SOUZA, 2001).

O *SolidWorks* trabalha com ferramentas que visam criar, simular, publicar e gerenciar dados, maximizando e inovando os recursos da engenharia, todas essas soluções trabalham juntas, onde permitem as organizações para desenvolvimento de produtos melhores, mais rápidos e econômicos.

O *SolidWorks* constitui um conjunto de ferramentas básicas que permitem a modelagem do sólido, onde essas ferramentas podem ser divididas em dois grupos; os comandos básicos de construção: (Base Extrudado, Base Revolucionado, Base Varrido, Base por Loft, Corte Extrudado, Corte por Revolução, Corte por Varredura, Corte por Loft entre

²¹ **Bertrand Sicot:** Chefe oficial executivo da SolidWorks Corporation

²² **Part:** Ambiente de trabalho do SolidWorks responsável pela criação das peças.

²³ **Drawing:** Ambiente de trabalho do SolidWorks responsável pela geração dos desenhos 2D.

²⁴ **Assembly:** Ambiente de trabalho do SolidWorks responsável pela geração das montagens de peças.

outros), todos esses comandos acrescenta ou retira material, esses comandos necessitam de um ou mais desenho ou qualquer esquema 2D, que é executado sobre um plano auxiliar ou sobre a própria superfície da peças. Sendo o segundo grupo as ferramentas básicas de edição: (Filete, Chanfro, Casca, Assistente de Perfuração entre outros), todas essas ferramentas modificam o modelo sem a necessidade do desenho ou esquema 2D, atuam diretamente na peça. Abaixo segue uma demonstração e algumas aplicações dessas principais ferramentas.

Para a demonstração das ferramentas iremos desenvolver um copo descartável com canudo, a demonstração é apenas um modo de mostrar o funcionamento das ferramentas e não necessariamente mostrar como fazer a modelagem do copo descartável com o canudo. A modelagem sempre se inicia de um plano qualquer, mais o ideal é fazer a escolha de um plano onde o produto modelado apresente melhor os seus detalhes.

Primeira Etapa - Iniciaremos a demonstração pela base do copo onde vamos utilizar o recurso “Base Extrudado” esse recurso adiciona material a partir de um esboço 2D, em seguida determinaremos uma adição do material com uma altura X, passando o modelo para um arquivo 3D.

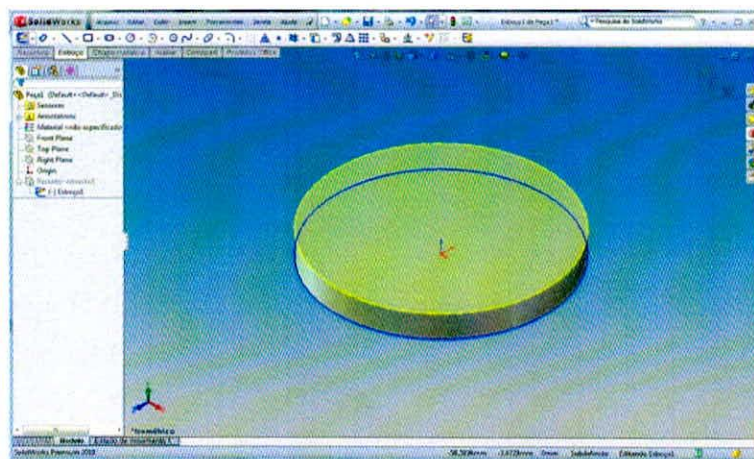


Figura 10: Recurso Base Extrudado SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Segunda Etapa – Agora demonstraremos o corpo do copo onde vamos utilizar o recurso “Base por Loft” esse recurso adiciona material entre dois ou mais perfis para criar um recurso solido arquivo 3D.

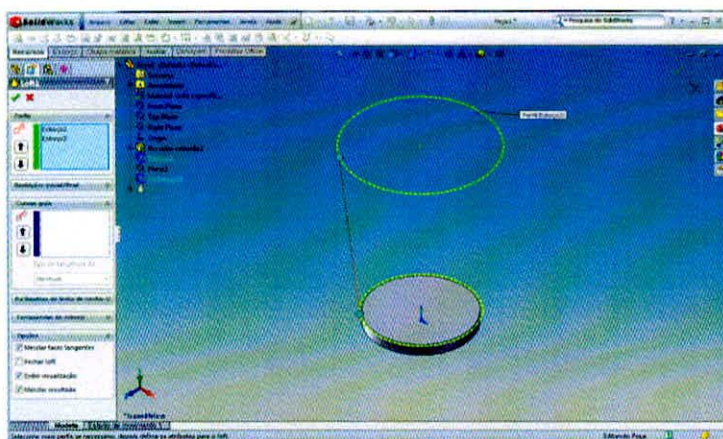


Figura 11: Recurso Base por Loft SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Terceira Etapa – Agora demonstraremos a parte superior do copo onde tem o acabamento arredondado, para esse recurso vamos utilizar o recurso “Base Revolucionado” esse recurso adiciona material girando o esboço em torno do seu eixo para criar um recurso solido arquivo 3D.

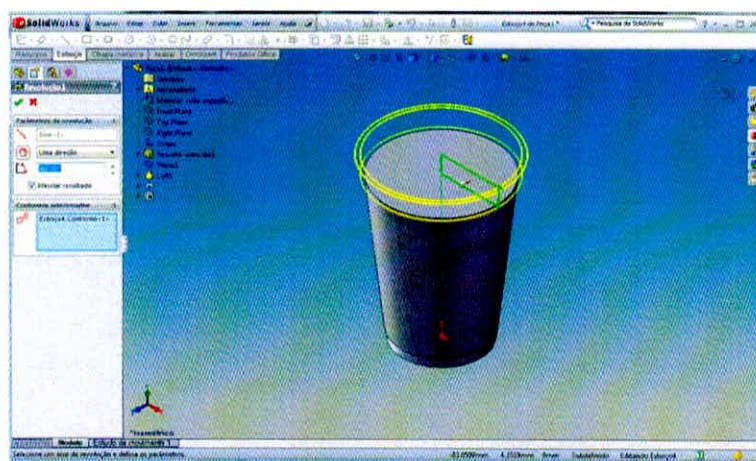


Figura 12: Recurso Base Revolucionado SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Quarta Etapa – Agora demonstraremos a parte superior do copo onde tem um rebaixo dando detalhe ao copo para esse recurso vamos utilizar o recurso “Corte Extrudado” esse recurso remove material a partir de um esboço.

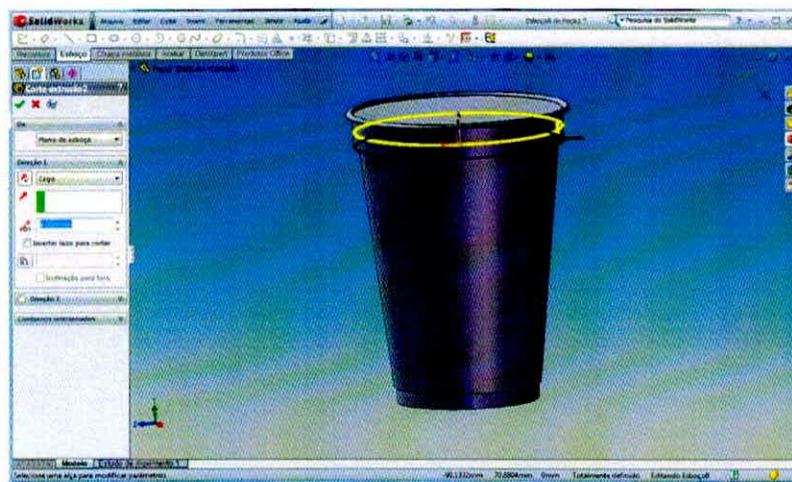


Figura 13: Recurso Corte Extrudado SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Quinta Etapa – Agora será demonstrado a parte inferior do copo onde tem um rebaixo estrutural para esse recurso, vamos utilizar o recurso “Corte por Loft” esse recurso removerá o material entre dois perfis e conseqüentemente irá fazer um recorte em um determinado ângulo.

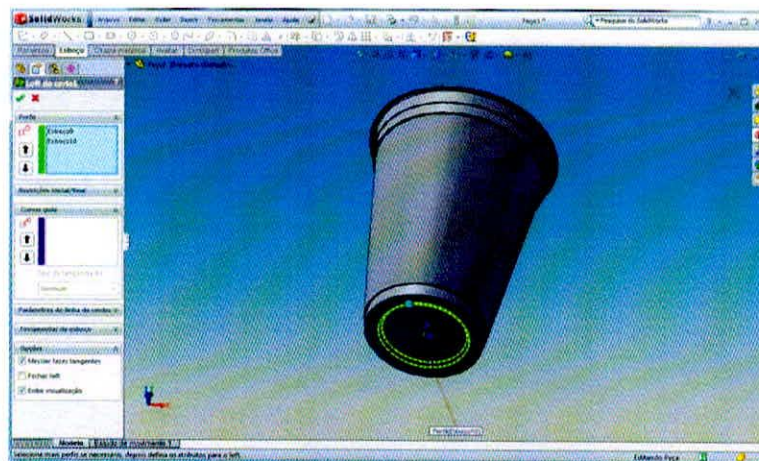


Figura 14: Recurso Corte por Loft SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Sexta Etapa – Agora será demonstrado as ranhuras que contem no corpo do copo, para esse recurso será utilizado o recurso “Corte por Revolução” esse recurso removerá o material girando o esboço em torno do seu eixo

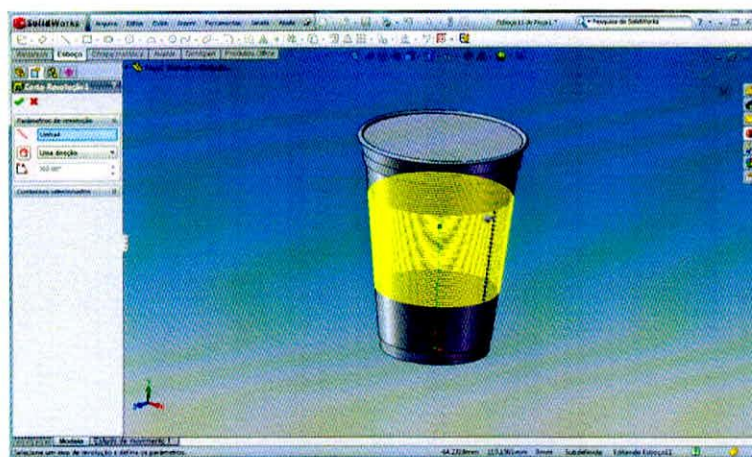


Figura 15: Recurso Corte por Revolução SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Sétima Etapa – Agora demonstraremos uma quebra de quina, para esse recurso será utilizado o recurso “Chanfro” esse recurso fará chanfros em todos os cantos que foram selecionados.

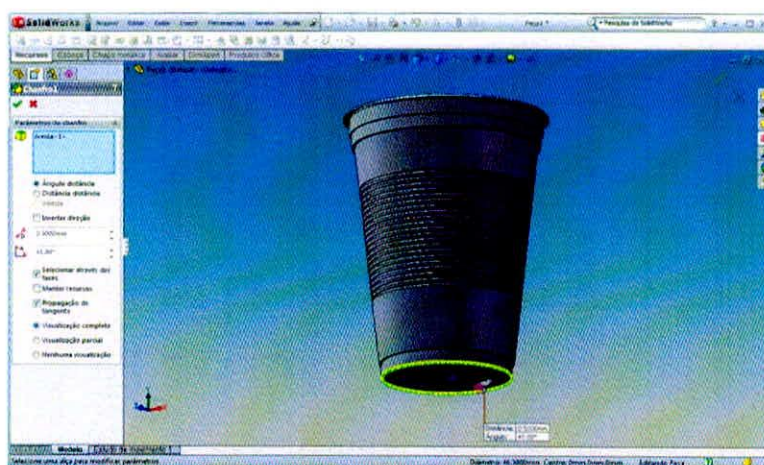


Figura 16: Recurso Chanfro SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Oitava Etapa – Agora demonstraremos o arredondamento de canto, para esse recurso será utilizado o recurso “Filete” esse recurso arredondara todas as quinas selecionadas.

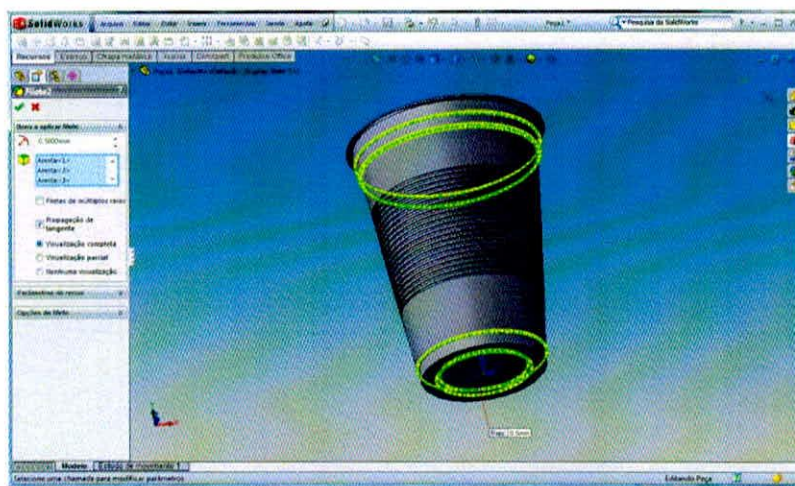


Figura 17: Recurso Filete SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Nona Etapa – Agora demonstraremos a cavidade interna do copo para esse recurso vamos utilizar o recurso “Casca” esse recurso remove o material de um corpo sólido para criar um recurso de parede fina.

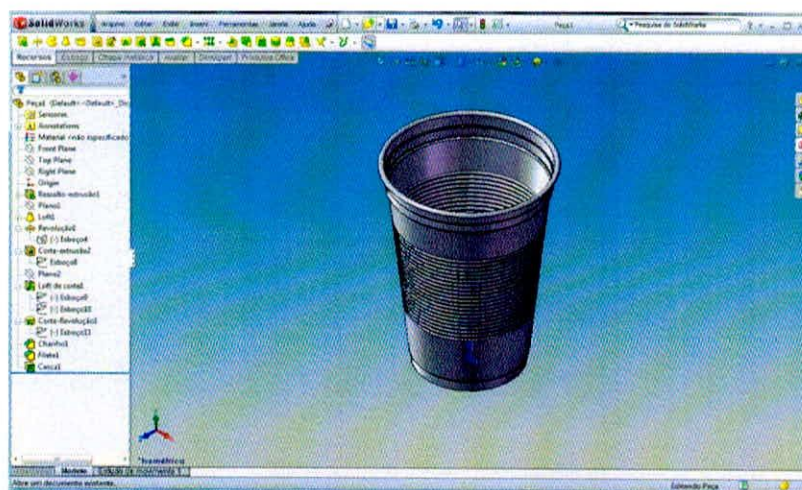


Figura 18: Recurso Casca SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Décima Etapa – Agora demonstraremos a primeira etapa do canudo, para esse recurso vamos utilizar o recurso “Base Varrido” esse recurso se utiliza de um esboço fechado que é o perfil e um esboço aberto que é o caminho que será feito, gerando um corpo sólido.

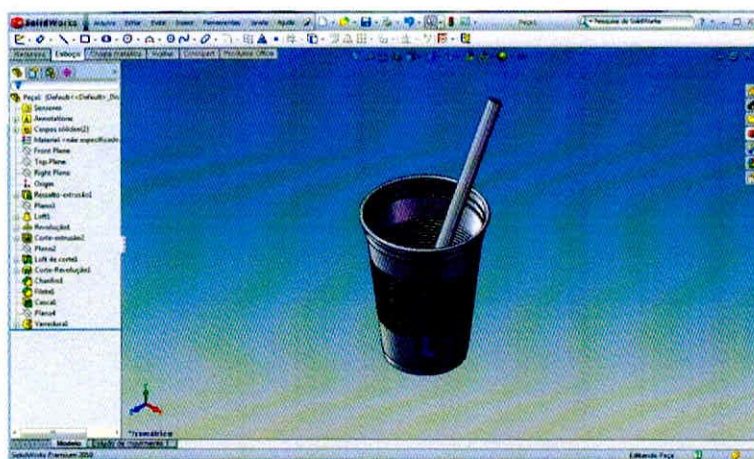


Figura 19: Recurso Base Varrido SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Décima Primeira Etapa – Agora demonstraremos a segunda etapa do canudo, para esse recurso vamos utilizar o recurso “Corte por Varredura” esse recurso se utiliza de um esboço fechado que é o perfil e um esboço aberto que é o caminho que será feito, recortando o corpo sólido.

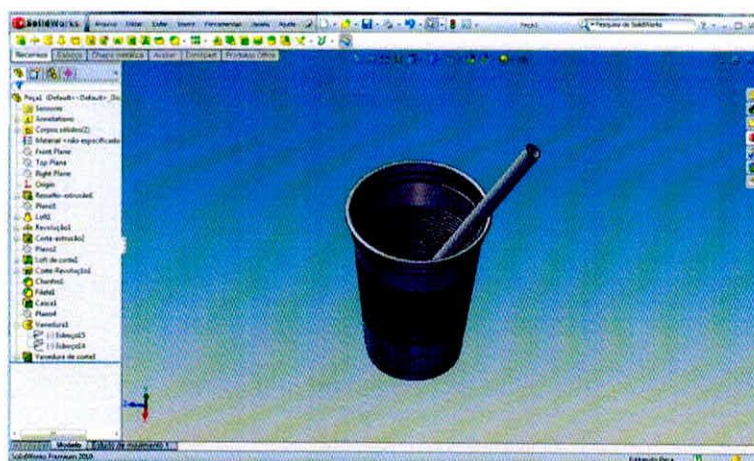


Figura 20: Recurso Corte por Varredura SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

Décima Segunda Etapa – Para ficar mais realístico será adicionado o respectivo material do copo e do canudo, após a aplicação desse recurso conseguimos visualizar diversos detalhes do produto, tais como, centro de massa, peso, densidade e etc.

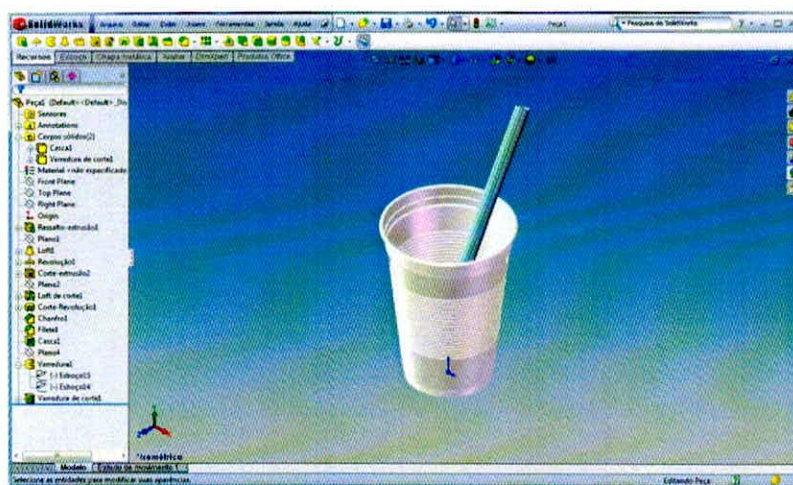


Figura 21: Recurso Definição dos Materiais SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

4.1 Ferramentas de Modelagem Especializadas do SolidWorks

As ferramentas citadas abaixo de modelagem especializadas do *SolidWorks* são ferramentas que visam facilitar e melhorar as construções dos produtos, com ferramentas intuitivas, de uso fácil e comunicações claras com recursos de projetos robustos orientando o desenvolvimento dos projetos de maneira rápida e inteligente.

4.1.1 Soldagem de Estruturas

Esta ferramenta permite que você crie uma estrutura soldada como uma única peça de múltiplos corpos, utilizando a biblioteca com perfis padronizados que contém no *SolidWorks*. Após que o *layout* da estrutura for determinado você vêm selecionado as seções do esboço e determinado o tipo de perfil, este recurso também permite a aparagem de elementos e criação de soldas, tampas de extremidades e cantoneiras. No recurso de solda podemos criar e dimensionar soldas corretamente nos projetos, de modo a determinar o tamanho adequado sem a necessidade de testes físicos ou construção de protótipos.

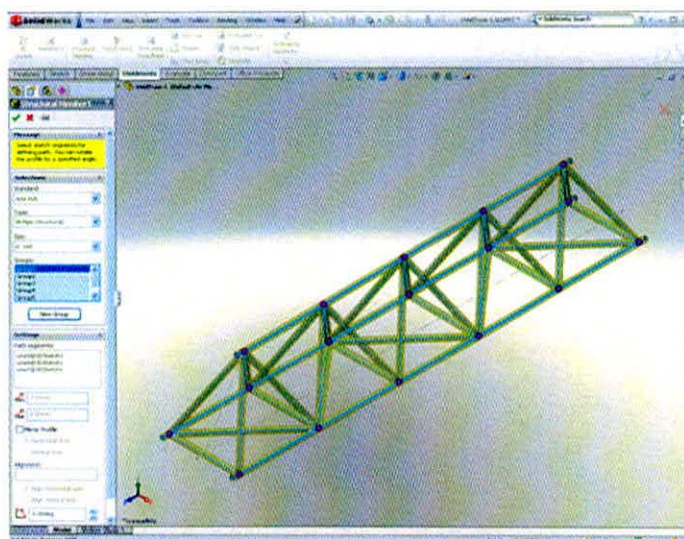


Figura 22: Ferramenta Soldagem de Estruturas SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

4.1.2 Peças de Chapas Metálicas

Esta ferramenta tem diversos recursos de dobras, primeiramente deve-se gerar um esboço e determinar os parâmetros de dobra; espessura da chapa, o fator K^{25} e o tipo de alívio, após determinado esses dados podemos gerar as dobras a partir de uma aresta, e inserir dobras em todas as arestas, dobrar e desdobrar seletivo. Esta ferramenta possui um recurso de

²⁵ **Fator K:** É um valor X que determina a posição da linha neutra de dobra, responsável em fazer a correção do desenvolvimento da chapa.

“converter em chapa metálica” que nos permite através desse comando transformar um corpo solido em chapa metálica apenas com um clique. Após a peça modelada podemos planifica - lá, essa planificação é feita automaticamente onde o software já calcula instantaneamente o comprimento total da peça com excelente precisão.

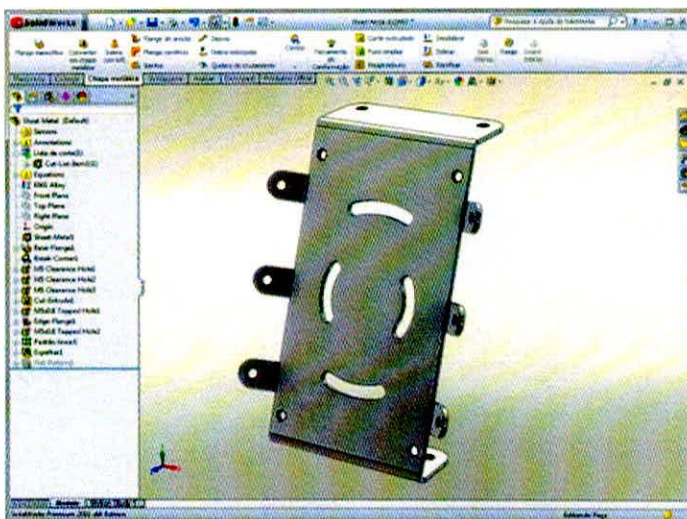


Figura 23: Ferramenta Chapa Metálica SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

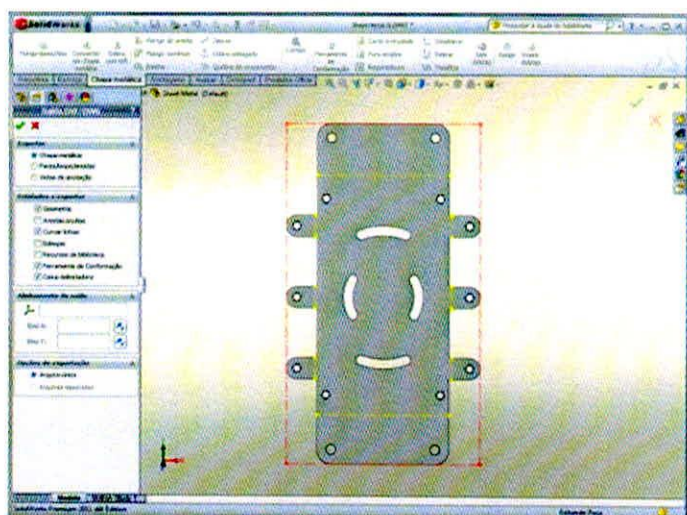


Figura 24: Peça Planificada SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

4.1.3 Ferramentas para Moldes e Matrizes

Esta nos permite desenvolver ferramentas para moldes e matrizes automaticamente de uso genérico através de um arquivo importado ou gerado diretamente no *SolidWorks*. A ferramenta permite uma visualização onde podemos reparar inclinações, identificar e corrigir problemas de rebaixamento e de espessura, além de localizar as linhas de partição e superfícies para a extração de maneira muito simples e rápida. O resultado gerado é uma peça com múltiplos corpos, contendo corpos separados para a peça modelada, tanto para o núcleo quanto para a cavidade.

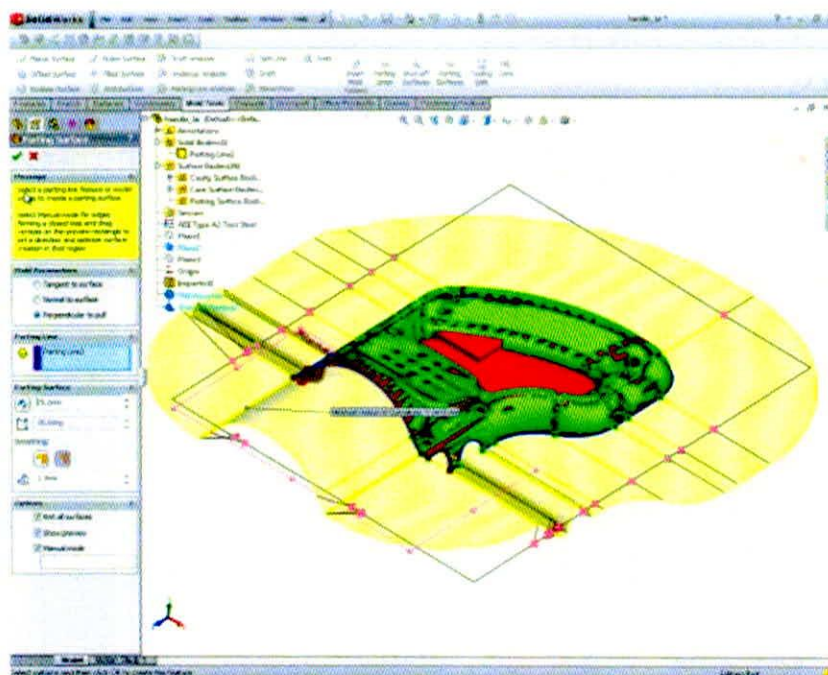


Figura 25: Ferramenta de Molde e Matriz SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

4.1.4 Tubulação Rígida e Rota Elétrica

Esta ferramenta executa roteamento de tubulações, cabos e chicotes elétricos, podendo desfrutar de uma maior eficiência de design, podendo projetar com melhor qualidade e precisão. O *SolidWorks* também contém internamente uma biblioteca de acessórios disponíveis totalmente integrada. No caso do roteamento de cabos e chicotes elétricos após totalmente definido e apto para a fabricação você pode planificá-los automaticamente, para a criação de desenhos detalhados, contendo listas de especificações dos itens discriminados em uma tabela que também é gerada automaticamente. Com essa ferramenta você reduz erros de projeto devido a interferências existentes na montagem, muitas vezes causados pelas conexões.

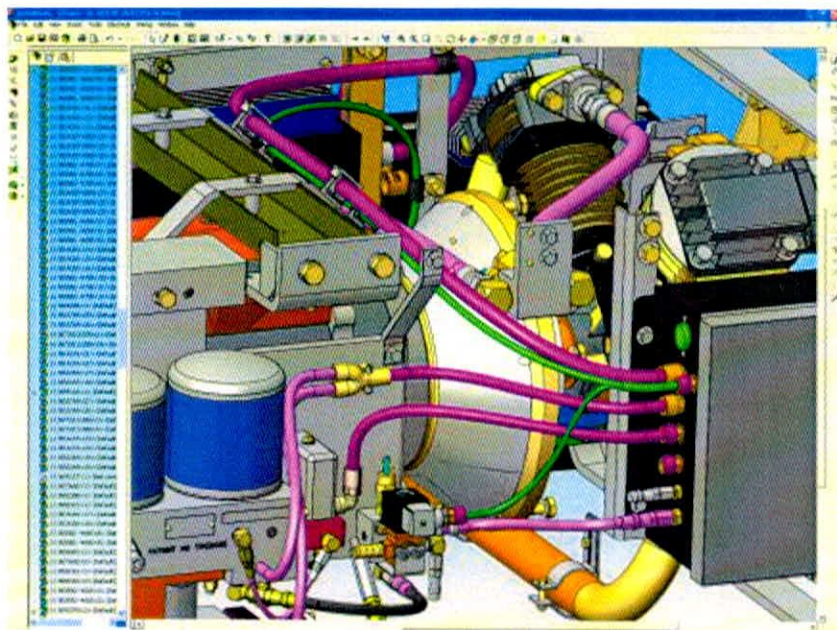


Figura 26: Ferramenta Tubulação e Rota Elétrica SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

4.1.5 Análise de Interferências e Problemas

O *SolidWorks* contém ferramentas que detecta interferências e possíveis problemas.

A ferramenta de detecção de interferência nos permite após o término do projeto e liberação para a fabricação, submetê-lo a um verificador automático de interferências entre os componentes, ajudando a examinar e avaliá-las. Muito utilizado em montagens complexas e simples, o *SolidWorks* mostra a interferência até mesmo com componentes móveis, caso haja uma possível colisão na sua articulação.

A ferramenta de análise de problemas nos permite analisar folgas entre os componentes mecânicos móveis ou estáticos, também mostra se as furações entre uma peça e outra estão desalinhadas nas montagens, apenas selecionando os componentes que pretende fazer a análise.

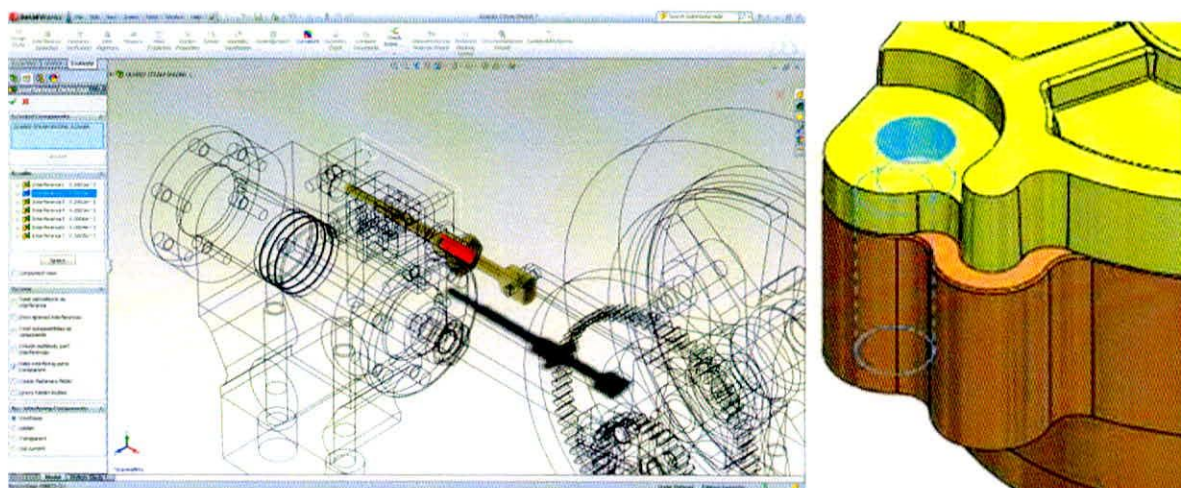


Figura 27: Ferramenta Análise de Interferência e Problemas SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

4.1.6 Criação de Desenhos 2D a partir de um modelo

Após a criação do modelo, há a necessidade de gerar um desenho 2D para a fabricação da peça ou até mesmo gerar um desenho para auxílio de montagem na linha de produção, muito utilizado pela engenharia de processo. Com essa ferramenta você pode padronizar as folhas podendo utilizá-las diversas vezes.

As imagens da peça modelada são geradas rapidamente e elas sempre ficam referenciadas ao modelo, caso haja mudança no modelo o desenho se atualizará automaticamente. Com esse recurso você poderá gerar os desenhos 2D com mais rapidez e facilidade além de conseguir colocar um alto nível de detalhes para facilitar a fabricação do produto na maioria dos casos.

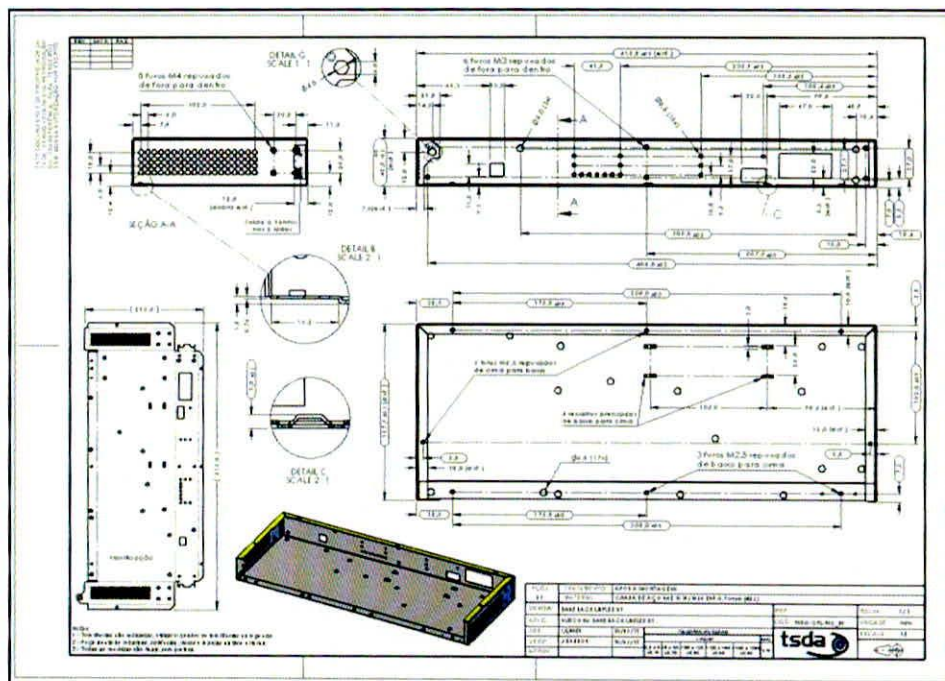


Figura 28: Ferramenta Criação de Desenhos 2D SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

4.2 Ferramentas de Simulação e Validação do SolidWorks

As ferramentas de simulações e avaliações citadas abaixo têm a finalidade de garantir a qualidade e o desempenho do projeto antes da fabricação dos produtos. São ferramentas de análise abrangentes que permitem testar os modelos digitalmente e obter uma perspectiva valiosa no início do projeto. Com essas ferramentas você poderá facilmente tomar providências de melhorias dos produtos para atender melhor os clientes e suas exigências tudo rapidamente, sendo redução de peso, custos de materiais, melhora de durabilidade e capacidade de fabricação, otimizar margens de segurança.

4.2.1 SolidWorks Simulation

Esta ferramenta permite que você defina e garanta a vida de um projeto, oferecendo recursos de análises de tensão, deformação e deslocamento das peças nas montagens. Ferramenta de validação e otimização de projetos, melhora das áreas sujeitas a fraquezas e falhas fazendo a identificação dessas áreas, assim aprimorando a qualidade do produto. O *SolidWorks Simulation* permite que após a escolha do material, acabamento superficial você faça análises de carregamento axial, torção e cisalhamento, assim verificando quais as áreas mais críticas e já tomando providências contra as possíveis falhas.

A figura a seguir mostra uma análise da peça sendo submetida a um esforço X. Após a determinação desse esforço, deve ser gerada a malha sólida da peça, através de parâmetros pré-definidos do programa.

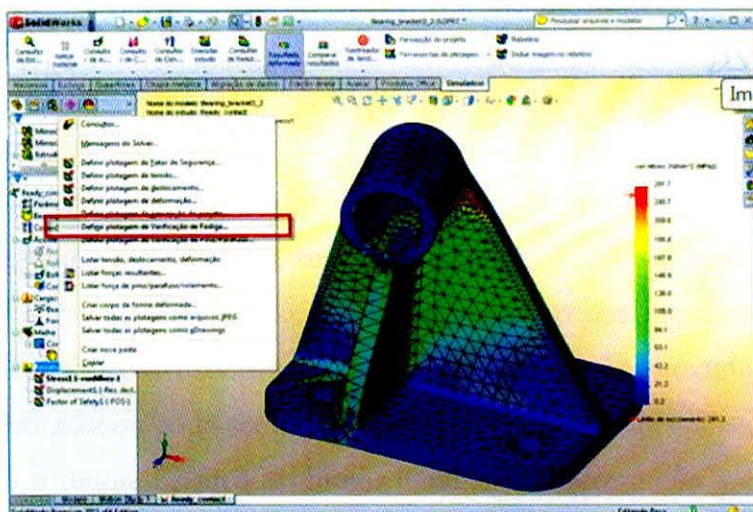


Figura 29: Ferramenta de Simulação SolidWorks 2010.
 FONTE: O autor

A figura abaixo mostra o resultado após todos os parâmetros determinados. De acordo com o resultado da análise é possível observar que existem problemas potenciais no projeto que requerem uma atenção maior na área destacada em vermelho.

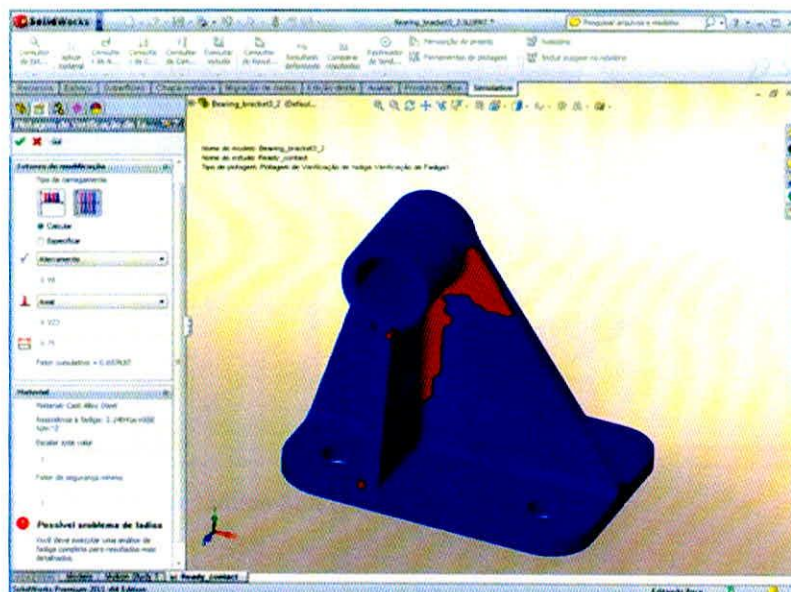


Figura 30: Resultado da Simulação SolidWorks 2010.
 FONTE: O autor

4.2.2 SolidWorks Motion

Com esta ferramenta é permitido fazer uma análise física de montagens em movimento, conseguindo reduzir os custos de prototipagem do produto, com a ferramenta é possível verificar as peças em contato e o comportamento das mesmas reduzindo riscos, também simula as condições reais de operação ao combinar os movimentos baseados em física. O *SolidWorks Motion* pode ser usado em um grande leque de aplicações das indústrias tais como: estimar o torque de pico do motor e atuadores, determinar consumo de energia, análises robóticas durante a operação do robô, dimensionar molas e amortecedores entre outros.

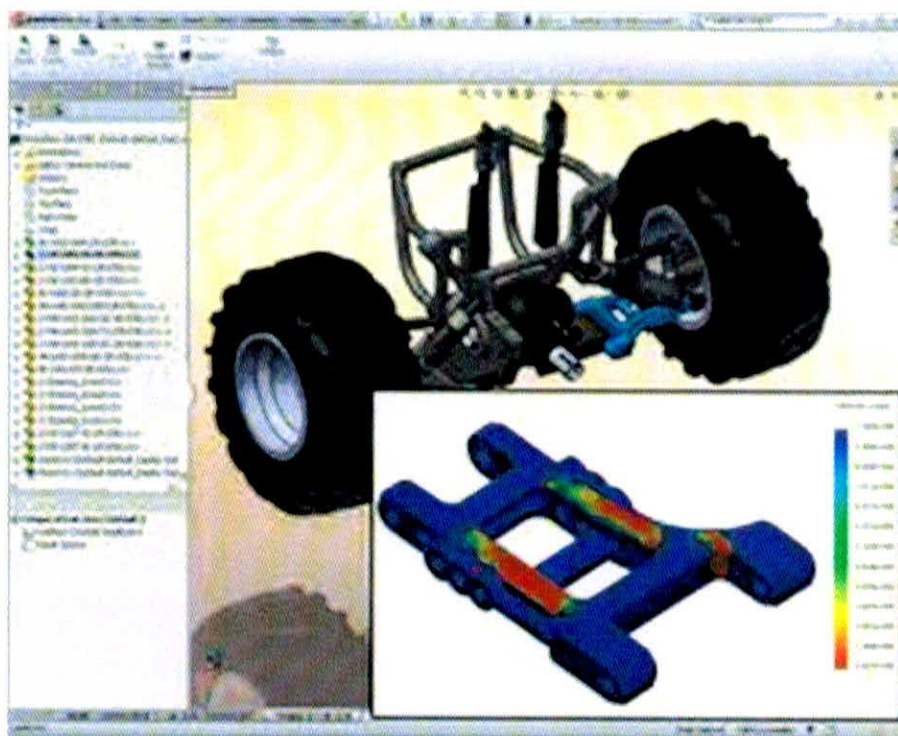


Figura 31: Ferramenta Motion SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

4.2.2 SolidWorks Flow Simulation

Esta ferramenta é usada para simular forças e fluxo de fluídos e transferência de calor, que são muitas vezes críticos para o sucesso do design, a simulação gerada dos fluxos tem um alto índice de precisão, não sendo necessário um especialista na área de simulação para estar usando esta ferramenta, podendo rapidamente analisar seus efeitos. A ferramenta pode ser utilizada numa gama bem diversificada de aplicações, pois é bem flexível podendo ser usada para simular o fluxo de ar de um carro, asas de um avião ou até mesmo uma válvula de escape entre outras, a ferramenta tem sido muito utilizada pelos designs, pois com ela pode ser feito diversos comparações de design e assim tomar as melhores decisões, resultando em produtos com desempenho superior.

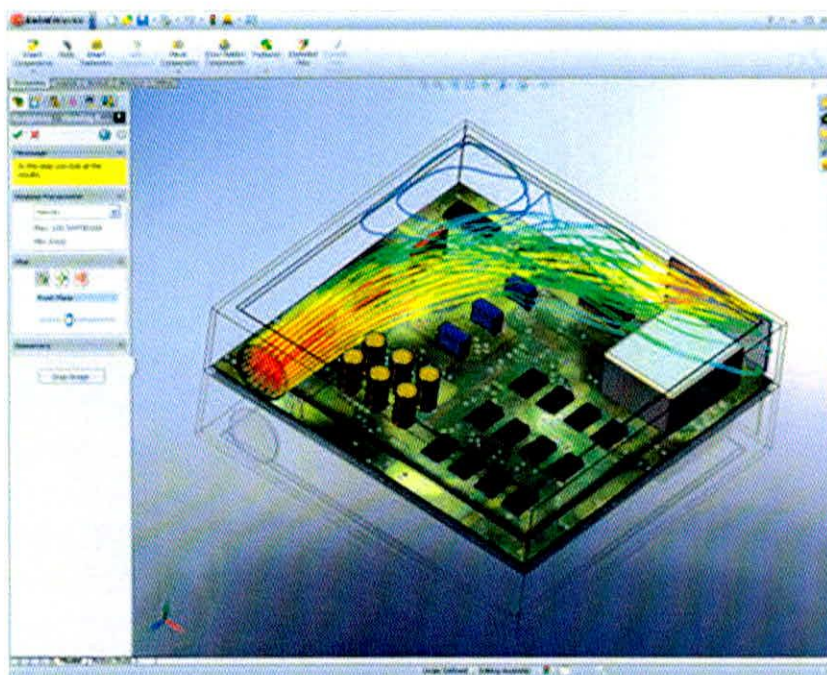


Figura 32: Ferramenta Flow Simulation SolidWorks 2010.
FONTE: O autor

5 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Processo que teve suas primeiras gerações no século XIX, com o surgimento da primeira máquina comercial em 1987, a fabricação das peças é baseada na adição de materiais em camadas planas e sucessivas, onde para a obtenção da peça é gerado um programa que deriva de uma peça modelada em 3D no CAD, o programa fatiará a peça camada a camada, processo que tem crescido muito nos últimos anos devido à economia de tempo de fabricação especialmente para geometrias complexas. O aparecimento da RP tem sido considerado um marco em termos de tecnologias de manufatura. Hoje existem várias tecnologias de RP no mercado que trabalham com a deposição de diferentes métodos, utilizando matérias prima sólida, líquida ou em pó, mas que tem o mesmo princípio de adição de camadas, cada um com suas peculiaridades inerentes ao processo.

Segundo Volpato (2007), A RP

“Pode ser definida como um processo de fabricação através da adição de material em forma de camadas planas sucessivas, isto é, baseado no princípio da manufatura por camada. Esta tecnologia permite fabricar componentes (protótipos, modelos, etc.) físicos em 3 dimensões (3D), com informações obtidas diretamente do modelo geométrico gerado no sistema CAD, de forma rápida, automatizada e totalmente flexível”. (VOLPATO, 2007, Pág. 3)

Para a utilização da RP primeiramente devemos fazer a obtenção de um modelo 3D gerado em um software CAD, a partir deste modelo, deve ser gerado um arquivo no formato STL. Esse arquivo representará a forma aproximada do modelo sólido, posteriormente inicia-se o processo com o modelo 3D, sendo “fatiado” com o auxílio do software do próprio equipamento, onde serão obtidas todas as curvas de cada camada e se existe ou não material a ser adicionado em cada região. As camadas serão geradas seqüencialmente uma sobre a outra, iniciando na base até o topo.



Figura 33: Processo de Camadas.

FONTE: Prototipagem Rápida, Tecnologia e Aplicações

Segundo Kai *et al*, “existem mais de 20 sistemas de RP no mercado, que apesar de utilizarem diferentes tecnologias de adição de material, se baseiam no mesmo princípio de manufatura por camadas planas”. Os processos de RP atualmente mais importantes, considerando equipamentos instalados e processos promissores, podem ser agrupados pelo estado ou forma inicial da matéria-prima utilizada para fabricação. Nesse sentido podendo classificar os mesmos em processos baseados em Líquido, Sólido e Pó.

Processo Baseado em Líquido - Neste processo a matéria prima utilizada para fabricar a peça/produto encontra-se no estado líquido antes do processamento. Nesta categoria encontram-se as tecnologias que envolvem a polimerização de uma resina líquida por um *laser* UV (Ex. Estereolitografia), ou jateamento de resina líquida por um cabeçote tipo jato de tinta e cura pela exposição à luz UV (Ex. Impressão a Jato de Tinta – IJP) entre outros.

Processo Baseado em Sólido – Neste processo a matéria prima utilizada para fabricar a peça/produto encontra-se no estado sólido, podendo estar na forma de filamento, lâmina, ou outra qualquer. Alguns dos processos fundem o material, antes da sua deposição (Ex. Modelagem por Fusão e Deposição – FDM). Outros somente recortam uma lâmina do material adicionado.

Processo Baseado em Pó – Neste processo a matéria prima utilizada para fabricar a peça/produto encontra-se no estado de pó antes do processamento. Pode-se utilizar *laser* para o seu processamento (ex. Sinterização Seletiva a Laser – SLS), ou um aglutinante aplicado por um cabeçote tipo jato de tinta neste caso para outros processos.

Conforme acima mencionado existem diversos outros sistemas de RP, porém no presente trabalho serão explicados apenas os mais utilizados no mercado de trabalho, mais para o conhecimento temos: Processo Baseado em Sólido: Manufatura Laminar de objetos (LOM)²⁶, Tecnologia com Lâminas de Papel (PLT)²⁷ e alguns processos de Impressão a Jato de Tinta (IJP)²⁸ da *ThermoJet e Benchtop*. Processo Baseado em Pó: Sinterização a *Laser*

²⁶ **LOM – Laminated Object Manufacturing:** (Manufatura Laminar de Objetos), impressão baseada na deposição sucessiva de folhas de materiais contendo adesivo em um dos lados para construir a peça camada a camada.

²⁷ **PLT – Paper Lamination Technology:** (Tecnologia com Lâminas de Papel), impressão semelhante ao de LOM só que o tamanho das folhas já vem cortado no tamanho adequado.

²⁸ **IJP – MultiJet Modeling:** (Impressão a Jato de Tinta), impressão por deposição do material em forma de gotas, similar ao processo que ocorre Impressora Jato de Tinta da Invision.

(EOS)²⁹, Fabricação da Forma Final a *Laser* (LENS)³⁰ e Impressão Tridimensional (3DP)³¹ da *Z Corporation* e da *ProMetal da Ex One Corporation*. Processo Baseado em Líquido: São conhecidos apenas esses dois processos sendo que o de Impressão a Jato de Tinta (IJP) temos o processo da *PolyJet* e *InVision*.

5.1 Sistemas de Prototipagem Rápida

Os sistemas de RP estão demonstrando grande interesse no desenvolvimento de novos produtos, pois tem servido para testes de design e a funcionalidade dos componentes que foram projetados, numa fase mais avançada é possível ter a obtenção de ferramentas de produção, com menor custo e tempo, destinadas a fabricação e para ensaios de componentes e projetos de ferramentas.

5.1.1 Estereolitografia da 3D Systems (SL)

Foi o primeiro processo de prototipagem rápida disponível comercialmente, sendo apresentado em 1988 na feira *US Autofact*, pela empresa *3D Systems Inc.* dos EUA, é também conhecido como SLA (*StereoLithography Apparatus*), que significa Equipamento ou Aparato de Estereolitografia, para se referir à tecnologia de Estereolitografia.

De acordo com Volpato (2007),

Esse processo utiliza uma resina líquida fotocurável sendo que um feixe de laser geralmente UV (Ultravioleta) endurece a camada superior da resina. A resina fotocurável é inserida dentro de um recipiente que contém uma plataforma no seu

²⁹ **EOS – Sistemas EOSINT:** (Sinterização Seletiva a Laser), impressão semelhante ao da tecnologia SLS com o espalhamento e nivelamento do material.

³⁰ **LENS – Laser Engineered Net Shaping:** (Fabricação da Forma Final a Laser), impressão inicia-se por um laser de alta potência sobre a superfície da peça sendo fabricada, formando uma poça fundida.

³¹ **3DP – 3DP:** (Impressão Tridimensional), impressão diferente das outras tecnologias pois não utiliza laser para processar o material em forma de pó, o material é agregado por um aglutinante depositado por impressão tipo jato de tinta.

interior que se desloca para baixo gerando a camada. O feixe do laser é movimentado através de um conjunto óptico que reproduz a geometria. A resina quando exposta ao feixe de laser, a resina polimeriza onde é repetido para camada imediatamente acima que então adere à camada anterior até a peça ser construída por completo. Após o término a peça ela se apresenta no estado verde, ou seja, não está completamente curada, a peça é limpa com um solvente para remoção da resina não curada e em seguida é levada a um forno para a cura total da resina, aumentando a sua resistência mecânica. Acabamento superficial é aplicado se necessário. Para peças nas quais há partes desconectadas as peças requerem estruturas que de suporte evitando que as peças afundem ou flutuem na resina. (VOLPATO, 2007, pág.57)

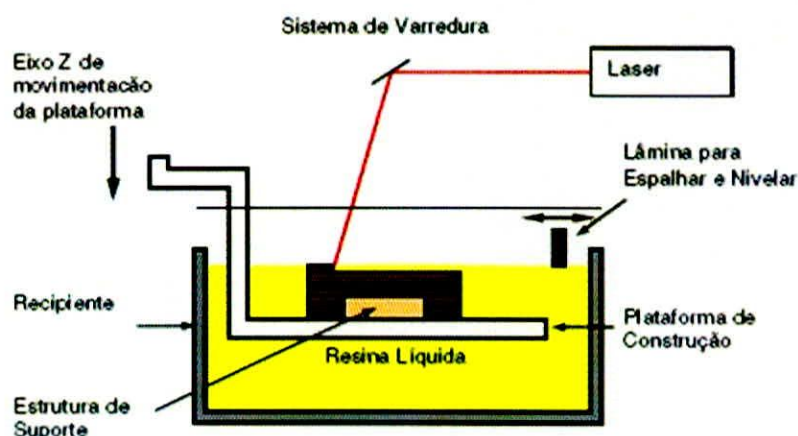


Figura 34: Princípio do Processo SL.

FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 58

Normalmente o diâmetro do feixe é de 0,25mm podendo variar dependendo de cada equipamento e resolução chegando a diâmetros de 0,075mm. A espessura das camadas geralmente são mantidas constantemente ao longo de toda a peça, podendo variar de 0,025 à 0,5mm. Os materiais fotocuráveis³² atualmente são de acrílica e epóxi, onde algumas pesquisas mostram fabricação de peças com fibras de carbono e cerâmica.

³² **Fotocuráveis:** São materiais utilizados para a preparação de placas de impressão flexográfica, muito utilizados na prototipagem rápida.

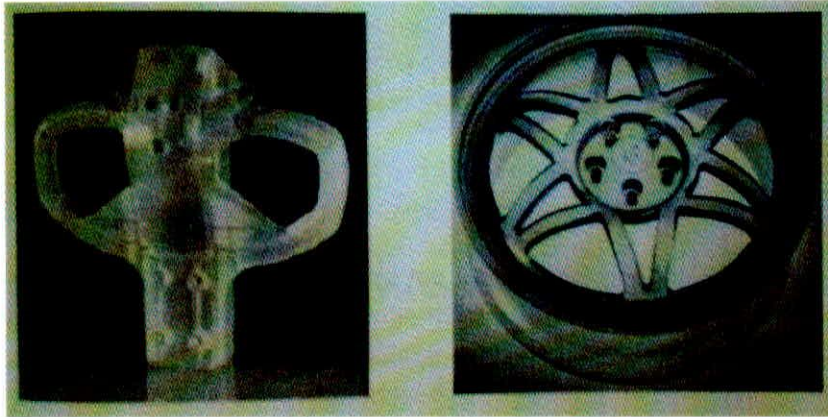


Figura 35: Exemplo de Peças Obtidas do Processo SL.
 FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 61

Este processo apresenta algumas vantagens e desvantagens são elas:

Vantagens: É um dos processos mais conhecidos, com assistência na maioria dos países, boa precisão tornando o uso viável em muitas aplicações e elevada qualidade superficial sendo considerada uma das melhores quando se trata de prototipagem rápida.

Desvantagens: Necessita de suportes em regiões não conectadas utilizando a mesma resina da peça causando um pós-processamento para remoção dos suportes, fato de necessitar pós-cura para completar o processo de polimerização, não há uma diversificação de materiais utilizados e resina é tóxica ao operador precisando ser manuseada com cuidado.

5.1.2 Impressão a Jato de Tinta (IJP)

Tecnologia recente e desenvolvida pela empresa *Objet Geometries Ltd*, de Israel, fundada em 1998. Tecnologia que também trabalha com resinas fotocuráveis, mais difere consideravelmente do princípio da Estereolitografia.

A tecnologia utiliza um sistema tipo jato de tinta onde deposita a resina em pequenas gotas sobre a bandeja e em seqüência lança uma luz UV para a cura da camada, a camada pode ter uma espessura de 16 microns, O sistema é composto por oito cabeças de jato de resina e um sistema de controle que controla de forma sincronizada a harmonia. São utilizados

dois materiais diferentes para fabricação de peças, a resina para a peça e um material tipo gel também fotocurável para o suporte.

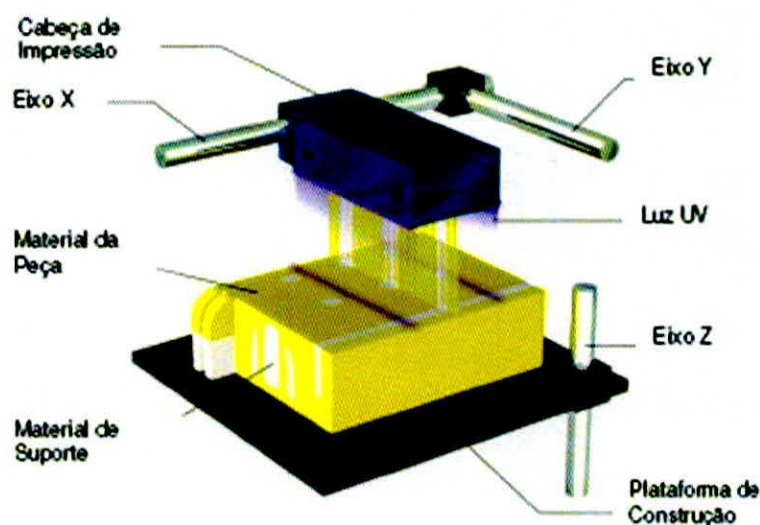


Figura 36: Princípio do Processo IJP.
 FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 62

Após o término do processo, o material de suporte é facilmente retirado normalmente com um jato de água ou até mesmo a remoção manual, não há a necessidade de tratamento pós-cura da peça. Equipamento que pode ser utilizado em um ambiente de escritório, pois as resinas utilizadas vêm em cartuchos selados e as peças totalmente curadas durante o processo.

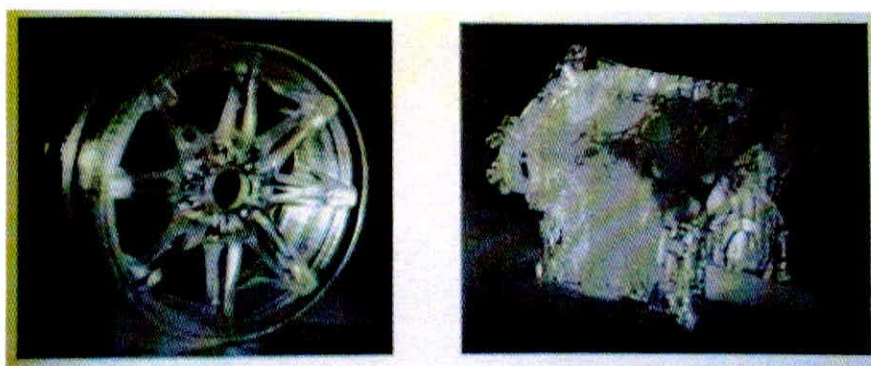


Figura 37: Exemplo de Peças Obtidas do Processo IJP.
 FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 63

Este processo apresenta algumas vantagens e desvantagens são elas:

Vantagens: Possui boa precisão, tornando viável em diversas aplicações, ótima qualidade superficial, não requer tratamento pós-cura e não utiliza laser.

Desvantagens: Necessita de suportes em regiões não conectadas utilizando a mesma resina da peça causando um pós-processamento para remoção dos suportes e poucos materiais disponíveis para a obtenção dos protótipos.

5.1.3 Modelagem por Fusão e Deposição da Stratasys (FDM)

Segundo Kai *et al*,

“A tecnologia de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM, de Fused Deposition Modeling) ter sido desenvolvida em 1988, o primeiro equipamento foi comercializado no início de 1992. O crescimento das vendas foi considerável, a ponto de que em 1996 ter vendido mais que a sua principal concorrente.”. (Pág. 66)

Como os outros processos o FDM constrói a peça depositando um material extrudado. A parte superior da cabeça de extrusão trabalha com movimentos no eixo X e Y, já a parte inferior, a mesa, trabalha apenas com movimentos no eixo Z. Um filamento de plástico desenrolado da bobina se aquece no bico até o ponto semilíquido ou pastoso, quando o material entra em contato com o material da superfície da peça ele se solidifica e adere à superfície. Esse procedimento é repetido até que a peça esteja completada.

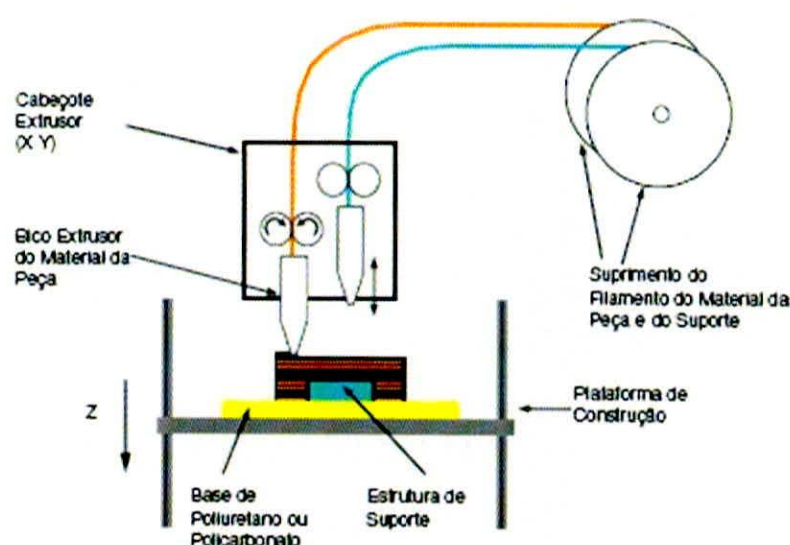


Figura 38: Princípio do Processo FDM.

FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 67

Neste caso a parte do filamento é constituída de duas bobinas, sendo que uma é o material extrudado e a outra bobina fica responsável apenas para peça suporte, possibilitando a construção de regiões desconectadas ao corpo da peça. Existem atualmente dois tipos de material para o suporte com remoções diferentes, um suporte frágil, facilitando a sua remoção após a finalização do processo e a outra mais firme sendo que a sua remoção seja feita por imersão em uma solução líquida aquecida. O procedimento por FDM solicita que antes de iniciar qualquer processo faça a adição de material base na base da mesa evitando que após o término da peça a mesma não se encontre fixada na base do equipamento. Os materiais utilizados para a criação de protótipos são: ABS400 (durável, resistente, boa resistência térmica e química e disponibilidade de cores), ABSi500 (aplicações médias), IC W06 wax (fundição de cera perdida) e *Elastomer* E20 (material elástico resistente e flexível, ideal para vedações e peças flexíveis). Os materiais utilizados como suporte base são de poliuretano poroso rígido ou placa de policarbonato.

Uma particularidade desse procedimento é que os bicos são substituídos podendo ter filamentos com outros diâmetros, o mercado de trabalho hoje disponibiliza bicos com diâmetros de 0,1778mm, até 0,406mm. Os principais parâmetros regulados nesse tipo de processamento são: espessura do filamento no preenchimento, fresta (*gap*) entre filamentos depositados, orientação de preenchimento das camadas, temperatura de construção.

Espessura do Filamento: A espessura do filamento está relacionada ao bico de utilização.

Fresta entre Filamentos: Termo usualmente definido como espaço existente entre os filamentos. Como padrão aplica-se o valor zero, podendo ser ajustado, o valor positivo significa maior o espaço e o negativo significa menor espaço. Variando esse parâmetro para um valor negativo de 0,08mm obtendo peças mais densas e robustas.

Orientação de Preenchimento das Camadas: Refere-se à direção das trajetórias de deposição do material.

Temperatura de Construção: É a temperatura de aquecimento do filamento para o modelo, sendo um parâmetro para controle da viscosidade do material derretido.

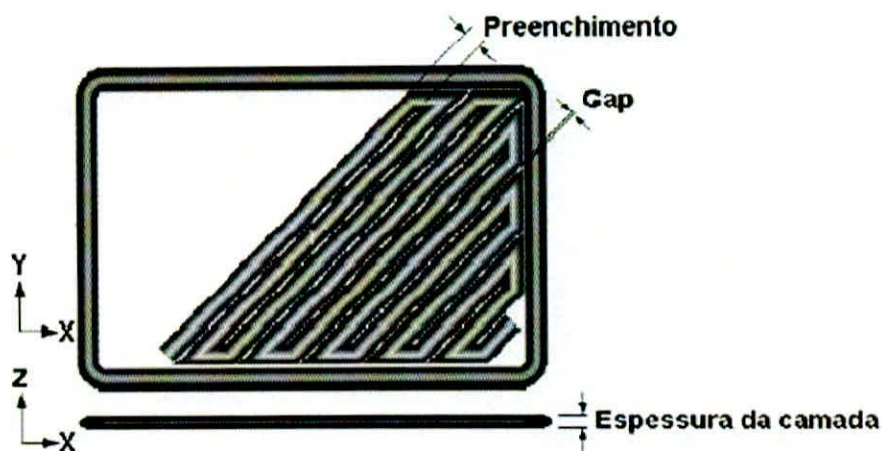


Figura 39: Esquemática de uma camada por FDM.
 FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 69

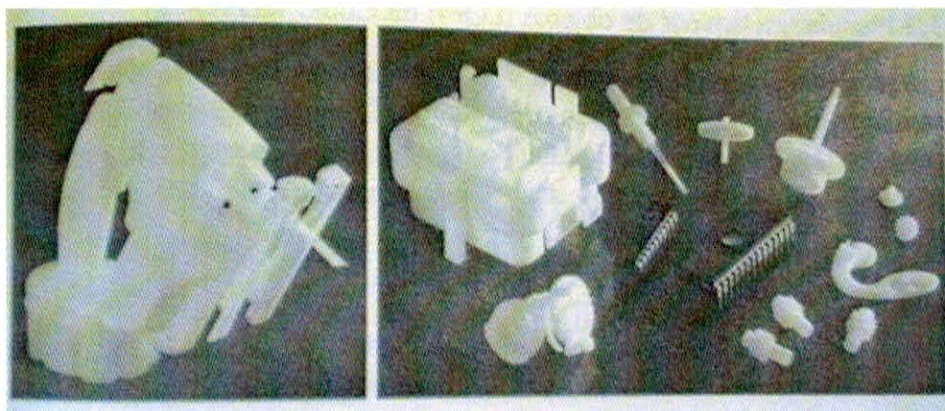


Figura 40: Exemplo de Peças Obtidas do Processo FDM.
 FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 69

Este processo apresenta algumas vantagens e desvantagens são elas:

Vantagens: Permite fabricação de peças que podem ser utilizadas em testes funcionais. Segundo Kai *et al*, as peças produzidas pelo processo de FDM possuem até 85% da resistência comparadas com peças injetadas com o mesmo material, não requer cura dos materiais, não utilizam laser e podem ser utilizado em um ambiente de escritório.

Desvantagens: Precisão não é muito boa, necessidade de suportes em regiões não conectadas, necessitando de pós-processamento para remoção dos suportes, poucos materiais para obtenção de protótipos e velocidade lenta limitada pela taxa de fluxo do material na cabeça da extrusão.

5.1.4 Sinterização Seletiva a Laser da 3D Systems (SLS)

Conforme relatado por Volpato (2007) “a tecnologia de Sinterização a Laser (SLS, de *Selective Laser Sintering*) foi desenvolvida e patenteada pela Universidade do Texas, EUA, e a empresa *DTM Corporation* foi fundada em 1987 para comercialização dessa tecnologia”.

Processo que se utiliza de um laser CO₂ de média potência (25 a 100w), para sinterizar o material em forma de pó, material que fica armazenado em reservatórios laterais. A construção física da peça inicia-se com o material sendo espalhado e nivelado por um rolo na câmara de construção do equipamento sobre a plataforma. A plataforma é aquecida a uma temperatura um pouco abaixo do ponto de fusão, em seguida é lançado um feixe do laser fazendo uma varredura sobre o que será a peça, fornecendo o restante de energia para “sinterizar” a plataforma de acordo com a geometria referente à camada 2D. Na seqüência a plataforma desce no eixo Z a certa medida determinando a altura da sua camada, repassando uma nova camada de pó sobre a anterior, iniciando novamente o laser na superfície resultando em uma nova sinterização. Esse ciclo é repetido até a obtenção total da peça.

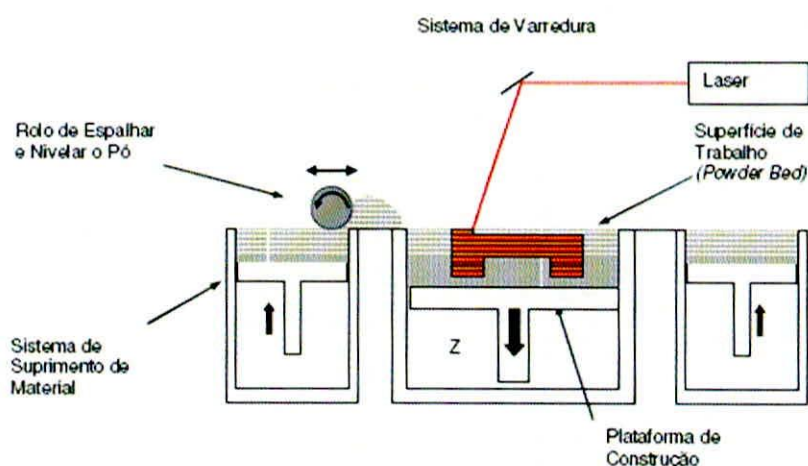


Figura 41: Princípio do Processo SLS.

FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 82

O diâmetro do feixe de laser varia na faixa de 0,4 a 0,45mm, a velocidade de deslocamento do laser sobre a superfície de trabalho, associada à potência do laser e ao diâmetro do feixe, definem a quantidade de energia que está sendo entregue as partículas do material para sinterizá-las

O pó não sinterizado pode ser removido após o término de todo o procedimento de fabricação da peça, a remoção pode ser feita com uma escova, ar comprimido, aspirador de pó e etc. Esse material não sinterizado pode ser utilizado novamente dentro de um limite pois degrada com o reuso ao longo do tempo.

Esta tecnologia se destaca pela diversidade de materiais que podem ser processados. Teoricamente qualquer material que possa ser transformado em pó pode ser empregado nessa tecnologia. Os materiais empregados nessa tecnologia são: náilon, poliamida, poliamida com microesferas de vidro, elastômero, cerâmica e metal com polímero para obtenção de peças e insertos metálicos. Para as peças metálicas há a necessidade de um pós-processamento em um forno de alta temperatura.



Figura 42: Exemplo de Peças Obtidas do Processo SLS.
FONTE: Neri Volpato – Tecnologia e Aplicações Pág. 84

Este processo apresenta algumas vantagens e desvantagens são elas:

Vantagens: Vários materiais podem ser utilizados, atua tanto para a fabricação de protótipo quanto para fabricação de peças funcionais, dependendo do material o processo exige pouco pós-processamento, não há necessidade de gerar suporte, possibilidade de empilhar várias peças para fabricação.

Desvantagens: Segundo Kai *et al*, “este processo tende a ter acabamento pois apresentam acabamento não muito bom devido ao tamanho das partículas utilizadas, custo elevado do equipamento, alto custo de energia para a sinterização das partículas”.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como foco principal à apresentação de duas novas ferramentas, voltadas para o desenvolvimento e criação de novos produtos (*SolidWorks* e Prototipagem Rápida), que em combinação essas novas tecnologias estão sendo cada vez mais utilizadas para o desenvolvimento de produtos e projetos.

Observei com o presente trabalho que estamos numa nova era tecnológica em constante inovação, com programas que auxiliam e reduzem em grande escala o tempo de desenvolvimento e criação de produtos/projetos, permitindo que no decorrer do desenvolvimento os projetos tenham maior confiabilidade, possibilitando fazer diversos tipos de análises e detalhamentos em qualquer etapa do projeto. Adquirindo com isso uma considerável redução de custos e protótipos com ótimas qualidades, permitindo fazer uma análise visual e funcional podendo fazer modificações para a sua melhoria antes de determinar sua produção, independente de sua alta complexibilidade.

Posso concluir que o *SolidWorks* é o software CAD 3D que sem dúvida é um dos líderes em projetos 3D. Contam com diversas ferramentas de fácil uso e bastante intuitivas dando maior flexibilidade para o desenvolvimento de projetos/produtos, permitindo que seus usuários criem produtos com maior qualidade e agilidade, resultando em uma maior eficiência de projetos com menos frustrações e avarias. Com constantes competições e pressão do mercado de trabalho a *SolidWorks* está sempre disposta a atender as necessidades dos clientes, interagindo para a sua melhor eficiência e sempre atento a novas ferramentas para modelagem e validação dos projetos, aprimorando e desenvolvendo novos recursos, tornando assim uma potência em softwares CAD 3D.

Diante do estudo conclui que os métodos de prototipagem rápida são um ótimo recurso quando se trata de desenvolvimento e validação de projetos/protótipos, porém os equipamentos têm um elevado custo e em muitos casos acaba não sendo viável sua aquisição, aderindo assim à utilização dos serviços de terceiros. A aquisição de um equipamento desses é recomendada para empresas que tenham uma diversificação de produtos e que desenvolvam uma grande quantidade de novos projetos, nesse caso a empresa se beneficiará com esse equipamento. No meu ponto de vista sua utilização foca mais a parte estética do produto, onde será feita avaliações de design e ergonomia.

Apesar de ser uma tecnologia recente ainda há limitações em algumas áreas, mais esses recursos estão tendo uma ótima aceitação por desenvolver produtos de alta complexibilidade em tempo reduzido e custos aceitáveis quando comparados com outros processos de fabricação. Por enquanto está sendo muito utilizado nas áreas de medicina e odontológica, por se tratar de desenvolvimento de pequenas peças, já na área de mecânica estão tendo sua utilização em moldes plásticos.

Acredito que num futuro próximo essas ferramentas nos reserva diversas surpresas, pois com as constantes melhorias de processos e novidades não é difícil de imaginar que cada um terá um equipamento desses em casa como se fosse uma impressora convencional.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

BERTRAND SICOT, SOLIDWORKS.

Disponível em: <<http://www.3ds.com/products/solidworks/overview/>>. Acesso em: 11 de Novembro. 2011, 20:55:07.

CAD/CAM/CAE – Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos Escola Politécnica da USP: Disponível em: < <http://dc399.4shared.com/doc/o7rUhcR/preview.html> >. Acesso em 02 de Novembro. 2011, 18:32:14.

DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION.

Disponível em: <http://www.solidworksbrasil.com.br/sw/6453_PTB_HTML.htm>. Acesso em: 11 de Novembro. 2011, 21:14:32.

HISTÓRIA DO COMPUTADOR.

Disponível em: <<http://uepbcomputacao.blogspot.com/2010/08/historia-do-computador.html>>. Acesso em: 08 de Novembro. 2011, 13:31:42.

KAI, C.C., Fai, L.K. and Sing, L.C. Rapid Prototyping: Principles and Applications (2^o Edition), Manufacturing World Scientific Pub Co, March, 2003, Pág. 448.

KOCHAN,D.Solid Freeform Manufacturing – Advanced Rapid Prototyping, Elsevier Science Publishers B.V., 1993.

KRUTH, J.P., Material Inccress Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques, Annals of the CIRP, v. 4/2/1991, pp.Pág. 603-614.

MARTINS (2005), **Manufatura Rápida – Avaliação das Tecnologias de Impressão 3D e FDM na Fabricação de Moldes Rápidos**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PROENÇA, Adriano ET AL. **Manufatura integrada por computador: sistemas integrados de produção: estratégia, organização tecnologia e recursos humanos**. 1. Ed. Organizadores Luis Sergio Salles Costa; Heitor M. Caulliraux. Rio de Janeiro: Campus: Senai: COPPE/UFRJ, 1995. Pág. 450.

SILVA, Emilio Carlos Neli. **Mecatrônica Atual, Automação Industrial de Processos e Manufatura**, nº 17. Editora Saber 2001.

SOUZA, Antônio Carlos de et al. **SolidWorks – Guia Prático para Modelagem Solida**. Florianópolis: Visual Books Editora, 2001. Pág. 220.

VOISINET, Donald D. **CADD – Projeto e Desenho Auxiliados por Computador: Conceitos e Aplicações** 1º Ed. Tradução Ricardo Bertini Renzetti. Revisão Técnica Roberto Klein. São Paulo: McGraw-Hill, 1998. Pág. 450.

VOLPATO, Neri (2007), **Prototipagem Rápida – Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007, Editora Blucher 2007, Pág. 3.

VOLPATO, Neri (2007), **Prototipagem Rápida – Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007, Editora Blucher 2007, Pág. 57-94.

WEINFURTEER 2003, **Customização para Acrescentar Atributos em Sólidos do SolidWorks**, Bacharelado – Universidade Regional de Blumenau 2003. Pág 21.