

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
PAULO ROGÉRIO GENGHINI**

**O PROCESSO DE ENGENHARIA REVERSA, COM A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE
DIGITALIZAÇÃO ÓPTICO SEM CONTATO DE SUPERFÍCIE E SUA APLICABILIDADE
NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.**

**São Caetano do Sul
2013**

PAULO ROGÉRIO GENGHINI

O PROCESSO DE ENGENHARIA REVERSA, COM A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE DIGITALIZAÇÃO ÓPTICO SEM CONTATO DE SUPERFÍCIE E SUA APLICABILIDADE NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.

Monografia apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Automotiva do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Leonardo Macarrão

São Caetano do Sul

2013

Genghini, Paulo Rogério

O processo de Engenharia Reversa, com a utilização de sistemas de digitalização óptico sem contato de superfície e sua aplicabilidade na Indústria Automotiva / Paulo Rogério Genghini. São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2013.

39p.

Monografia – Especialização em Engenharia Automotiva. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2013.

Orientador: Prof. Leonardo Macarrão

1. Engenharia Reversa 2. Digitalização de Superfícies 3. Indústria Automotiva
I. Genghini, Paulo Rogério. II. Instituto Mauá de Tecnologia. III. O Processo de Engenharia Reversa, com a utilização de sistemas de digitalização óptico sem contato e superfície e sua aplicabilidade na Indústria Automotiva.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha esposa Lucimara e minha filha Luana que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando nos momentos mais difíceis de minha carreira acadêmica e profissional.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e pela coragem durante esta longa jornada.

Agradeço também a todos os professores do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia que me acompanharam durante minha pós-graduação, em especial ao meu orientador Prof. Leonardo Macarrão pelo comprometimento, profissionalismo e conselhos que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Enfim gostaria de agradecer todos os profissionais da Indústria Automotiva com quem tive o prazer de trabalhar ao longo de minha carreira e que contribuíram com o enriquecimento de minha experiência profissional.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo de apresentar o processo de Engenharia Reversa com a utilização dos sistemas de digitalização óptico sem contato de superfícies, as etapas de execução do processo, os principais equipamentos de Digitalização de Superfícies utilizados para a coleta de dados, os principais softwares utilizados no processamento das informações e sua aplicação na Indústria Automotiva. Demonstrar através de exemplos práticos como a aplicação do processo de Engenharia Reversa nas diversas fases do desenvolvimento e/ou fabricação de um veículo tem apresentado excelentes resultados, principalmente quando associado a algum outro sistema de manufatura como equipamentos de Prototipagem Rápida e Centros de Usinagem CNC uma vez que todas as informações geradas pelo processo de Engenharia Reversa são compatíveis com os sistemas CAD e CAM utilizados pela Indústria Automotiva. E apresentar também a crescente utilização do processo de Engenharia Reversa em outras áreas fora da Indústria Automotiva, que vem a comprovar cada vez mais a eficácia do processo e a tendência cada vez maior de informações disponíveis em modelos matemáticos 3D facilitando o processamento e análise das informações.

Palavras-chave: Engenharia Reversa. Digitalização de Superfícies. Indústria Automotiva.

ABSTRACT

This paper aims to presents the reverse engineering process through non-contact surface scanning, its execution process steps, surface scanning equipment for data collection, the main software used for data processing and its application in the automotive industry. Demonstrates through practical examples how the reverse engineering process in several development/fabrication phases of the vehicle has achieved excellent results, mainly when associated to other manufacturing system such as rapid prototyping and CNC machining centers once all information is generated by the process are compatible with CAD/CAM systems used by the automotive industry. Also presents the increasing of this process out of the automotive industry, confirming the efficiency and the trend of available data through 3D models for processing and data analysis.

Keywords: Reverse Engineering. Surface Scanning. Automotive Industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	-	Cabeçote de Digitalização Laser – Perceptron V5	15
Figura 2	-	Sistema de Digitalização WLS – Atos Triple Scan	16
Figura 3	-	Coleta de Dados	17
Figura 4	-	Nuvem de Pontos	17
Figura 5	-	Malha Poligonal	18
Figura 6	-	Superfície NURBS	19
Figura 7	-	Cabeçotes de Digitalização - ScanWorks	19
Figura 8	-	Scanners Portáteis – Scan3D	20
Figura 9	-	Cognitens WLS – 3D Measurement Systems	20
Figura 10	-	Atos Triple Scan WLS – GOM	20
Figura 11	-	Software 3D – ATOS Professional	21
Figura 12	-	Software 3D – PolyWorks V12	21
Figura 13	-	Modelo Matemático 3D de veículos e conjuntos	23
Figura 14	-	Digitalização de modelo em Clay	24
Figura 15	-	Equipamento de Prototipagem Rápida	25
Figura 16	-	Conjunto do Radiador fabricado em Prototipagem Rápida	25
Figura 17	-	Programação de Usinagem 3D	26
Figura 18	-	Simulação de Usinagem 2D	26
Figura 19	-	Análise Dimensional do Produto	27
Figura 20	-	Análise Dimensional de Carroceria	27
Figura 21	-	Análise de Montagem Virtual	28
Figura 22	-	Robot Inspection Cell	29
Figura 23	-	Verificação Automatizada do Ajuste das Portas	29
Figura 24	-	Digitalização do Veículo Espacial da NASA X-38	30
Figura 25	-	Digitalização do Helicóptero Militar Black Hawk	31
Figura 26	-	Processo de Digitalização de um Avião Civil	31
Figura 27	-	Digitalização da fuselagem de um Avião Civil	31
Figura 28	-	Manipulação, visualização e medição de modelos	32
Figura 29	-	Digitalização de Turbina (5.4m) de Diâmetro	33
Figura 30	-	Digitalização e Análise de Turbina (2m) de Diâmetro	33

Figura 31	-	Análise de Distâncias em Pontes e Prédios	34
Figura 32	-	Digitalização de Templo em Taiwan	34
Figura 33	-	Digitalização da Obra de Aleijadinho – Profeta Joel	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Ranking Países: Automóveis + Comerciais Leves	13
----------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FENABRAVE	Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores
ER	Engenharia Reversa
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
NURBS	<i>Non Uniform Rational Basis Spline</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. ENGENHARIA REVERSA	14
1.2. SISTEMA DE DIGITALIZAÇÃO ÓPTICO SEM CONTATO DE SUPERFÍCIE	14
1.2.1. Sistema de Digitalização com Laser “ <i>RED LIGHT SCANNING</i> ”	15
1.2.1. Sistema de Digitalização com Luz Branca “ <i>WHITE LIGHT SCANNING</i> ”	16
1.3. O PROCESSO DE ENGENHARIA REVERSA	16
1.3.1. Coleta de Dados	17
1.3.2. Nuvem de Pontos	17
1.3.3. Malha Poligonal	18
1.3.4. Superfície <i>NURBS</i>	18
1.4. EQUIPAMENTOS DE DIGITALIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES	19
1.5. SOFTWARES DE ENGENHARIA REVERSA	21
2. A ENGENHARIA REVERSA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	22
2.1. ONDE PODEMOS APLICAR A ENGENHARIA REVERSA	22
2.1.1. Engenharia Avançada	22
2.1.2. Design do Produto	23
2.1.3. Engenharia Experimental	24
2.1.4. Qualidade Assegurada	26
2.1.5. Manufatura	28
3. A APLICAÇÃO DA ENGENHARIA REVERSA EM OUTRAS ÁREAS	30
3.1. AEROESPACIAL	30
3.2. MEDICINA DENTÁRIA	31
3.3. GERAÇÃO DE ENERGIA	32
3.4. CIVIL	33
4. CONCLUSÃO	35
REFERENCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

Conforme dados da FENABRAVE (2011). O Brasil está atualmente em uma posição de destaque no cenário Automotivo Mundial (Tabela 1), atualmente ocupa 4ª Posição no Ranking de Países com a quantia de 3.425.437 veículos (Automóveis + Comercial Leve) emplacados no ano 2011 e com a previsão de 3.600.000 emplacamentos no ano de 2012.

Tabela 1 – Ranking Países: Automóveis + Comerciais Leves

PAÍS	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003
1º China	14.234.740	1º 13.302.857	2º 9.848.074	2º 6.492.553	2º 6.072.000	3º 4.263.864	4º 3.131.456	5º 2.489.470	7º 2.149.456
2º Estados Unidos	12.778.646	2º 11.589.672	1º 10.418.730	1º 13.221.559	1º 16.122.438	1º 16.525.750	1º 16.963.166	1º 16.874.137	1º 16.663.452
3º Japão	4.170.276	3º 4.919.718	3º 4.577.288	3º 5.032.330	3º 5.297.956	2º 5.634.275	2º 5.696.301	2º 5.698.021	2º 5.713.624
4º Brasil	3.425.437	4º 3.328.254	5º 3.011.285	6º 2.670.852	9º 2.338.621	9º 1.883.773	9º 1.620.173	10º 1.479.725	10º 1.351.497
5º Alemanha	3.403.514	5º 3.109.659	4º 3.982.467	4º 3.318.311	4º 3.374.740	4º 3.669.837	3º 3.523.330	3º 3.456.062	3º 3.414.555
6º Índia	2.800.337	7º 2.640.018	9º 1.967.472	10º 1.675.021	12º 1.652.604	12º 1.427.815	14º 1.108.237	14º 1.041.922	15º 846.963
7º Rússia	2.653.725	10º 1.910.765	10º 1.465.925	5º 2.925.401	7º 2.561.100	10º 1.871.043	11º 1.298.342	11º 1.218.561	13º 898.325
8º França	2.633.487	6º 2.669.285	6º 2.642.657	7º 2.510.555	8º 2.526.005	7º 2.440.581	6º 2.487.854	7º 2.422.147	6º 2.390.680
9º Inglaterra	2.201.406	8º 2.253.761	8º 2.181.387	8º 2.421.256	5º 2.741.743	5º 2.672.026	5º 2.762.639	4º 2.896.853	4º 2.882.650
10º Itália	1.917.173	9º 2.143.131	7º 2.337.227	9º 2.385.630	6º 2.737.558	6º 2.565.203	7º 2.456.671	6º 2.488.930	5º 2.459.206
11º Canadá	1.587.158	11º 1.558.572	11º 1.459.735	11º 1.637.839	11º 1.653.364	11º 1.614.763	10º 1.583.395	9º 1.534.604	9º 1.593.479
12º Coreia	1.525.630	12º 1.503.994	12º 1.408.575	13º 1.170.640	13º 1.212.373	14º 1.152.970	12º 1.125.950	13º 1.064.924	11º 1.270.248
13º Austrália	979.171	14º 1.005.579	14º 908.047	15º 974.831	15º 1.011.157	15º 928.821	15º 953.013	15º 923.285	14º 883.946
14º Espanha	912.345	13º 1.099.965	13º 1.060.329	12º 1.324.639	10º 1.884.433	8º 1.895.736	8º 1.896.210	8º 1.829.350	8º 1.678.939
15º México	903.098	15º 832.685	15º 722.463	14º 1.015.298	14º 1.074.117	13º 1.157.509	13º 1.125.711	12º 1.093.310	12º 972.233
16º Turquia	857.246	17º 756.454	16º 555.057	22º 492.259	18º 594.379	16º 622.102	16º 717.491	16º 696.107	20º 364.623
17º Argentina	818.261	18º 634.695	20º 492.603	19º 572.448	21º 529.367	22º 416.160	22º 354.032	22º 269.136	22º 136.692
18º Tailândia	770.026	16º 776.116	17º 531.685	17º 597.084	17º 608.477	17º 659.543	17º 677.132	17º 596.727	18º 508.052
19º Bélgica	633.718	19º 599.917	18º 527.512	16º 600.691	19º 590.268	19º 584.350	19º 540.068	19º 541.683	17º 508.845
20º Holanda	614.518	21º 532.139	21º 436.878	18º 582.362	20º 583.940	20º 547.773	20º 533.863	18º 570.511	16º 565.772
21º Malásia	582.274	20º 587.644	19º 521.210	20º 529.252	22º 470.542	21º 471.914	21º 533.431	20º 463.671	19º 389.156
22º África do Sul	550.428	22º 471.273	22º 376.409	21º 498.507	16º 639.114	16º 669.269	18º 575.640	21º 429.009	21º 352.143

FONTE: FENABRAVE

A crescente procura por veículos no país, bem como o aumento das exportações obrigou aos fabricantes investir na modernização de suas linhas de montagem e consequentemente na modernização da frota, para que fossem capazes de produzir veículos de melhor qualidade e ao mesmo tempo atender a grande demanda do mercado nacional. A globalização também foi um fator determinante para a modernização da frota e a evolução tecnológica da Indústria Automotiva Nacional.

Almeida (2006, p. 136) destaca da seguinte forma as mudanças ocorridas na Indústria Automotiva durante a década de 90.

[...] As mudanças ocorridas na indústria automobilística, na década de 90, deram-se pelo acirramento da concorrência e pela saturação dos mercados dos países desenvolvidos, que culminaram no aumento da capacidade ociosa e na queda da rentabilidade do setor. Esses fatores geraram uma reestruturação produtiva caracterizada: (a) pela intensa globalização dessa indústria, com aumento dos fluxos de investimentos diretos externos (IDE); (b) pelo aumento da concentração produtiva, especialmente via fusões e aquisições (F&A); e (c) pelos esforços em termos de desenvolvimento de produto, com o objetivo de dinamizar a demanda.

Entre as mudanças ocorridas durante a década de 90, podemos destacar a introdução de novos sistemas, processos e ferramentas que contribuíram significativamente para uma evolução técnica no desenvolvimento e na fabricação dos veículos nacionais.

Este trabalho tem com objetivo demonstrar como o Processo de Engenharia Reversa, com a utilização do Sistema de Digitalização Óptico sem contato de superfície contribuiu para essa evolução, como pode atender de maneira mais eficiente as necessidades das áreas onde o processo de Engenharia Reversa é aplicado.

1.1. ENGENHARIA REVERSA

Segundo a Wikipédia, Engenharia Reversa (ER), é “o uso da criatividade para, a partir de uma solução pronta, retirar todos os possíveis conceitos novos ali empregados”. De acordo com Paulino (2012) a melhor definição para ER seria: “um processo de análise em um sistema existente, para a reprodução ou aperfeiçoamento de produtos, sistemas integrados ou processos”.

É um processo que vem crescendo e se desenvolvendo rapidamente, devido às novas tecnologias e equipamentos de digitalização disponíveis atualmente no mercado que possibilitam o desenvolvimento cada vez mais rápido e preciso das peças, ferramentas e dispositivos que utilizamos nas diversas etapas de planejamento, desenvolvimento e fabricação de veículos.

É uma ferramenta muito valiosa, principalmente quando temos que reproduzir um determinado produto a partir de um protótipo feito à mão, de produtos descontinuados, projetos muito antigos e/ou que não existam informações matemáticas disponíveis, quando necessitamos efetuar alterações em ferramentais ou processos de fabricação.

1.2. SISTEMA DE DIGITALIZAÇÃO ÓPTICO SEM CONTATO DE SUPERFÍCIE

Para a execução precisa de uma ER é necessário capturar de um produto físico suas características geométricas e transferir para um programa *Computer Aided Design* (CAD). Esse processo é executado utilizando-se um Sistema de Digitalização Óptico sem contato de superfície.

No mercado existem vários equipamentos de diferentes fabricantes que executam essa tarefa.

Todos possuem basicamente o mesmo princípio de funcionamento. Os sistemas mais utilizados na Indústria Automotiva são:

- Sistema de Digitalização com Laser (*Red Light Scanning*);
- Sistema de Digitalização com Luz Branca (*White Light Scanning*).

1.2.1. Sistema de Digitalização com Laser “*RED LIGHT SCANNING*”

A captura digital 3D de formas e superfícies utilizando o Sistema de Digitalização Laser é um processo muito preciso e que não requer esforço. O sistema sem contato captura com exatidão milhões de pontos em segundos. É um sistema muito prático, compacto e de fácil operação (Figura 1), pode ser acoplado em um Braço de Medição Portátil¹ o que aumenta ainda mais sua aplicabilidade no chão de fábrica. Na Indústria Automotiva o Sistema de Digitalização com Laser é utilizado principalmente para o controle de qualidade de geometrias e para ER.

O processo de coleta de dados é gerenciado através dos botões de controle disponíveis no braço e a velocidade é definida pelo usuário. Após a coleta dos dados um software os agrupa, gerando um conjunto de pontos medidos, chamado de nuvem de pontos que após alguns ajustes será transformada em um modelo matemático tridimensional.

Figura 1 – Cabeçote de Digitalização Laser – Perceptron V5



FONTE: HEXAGON METROLOGY

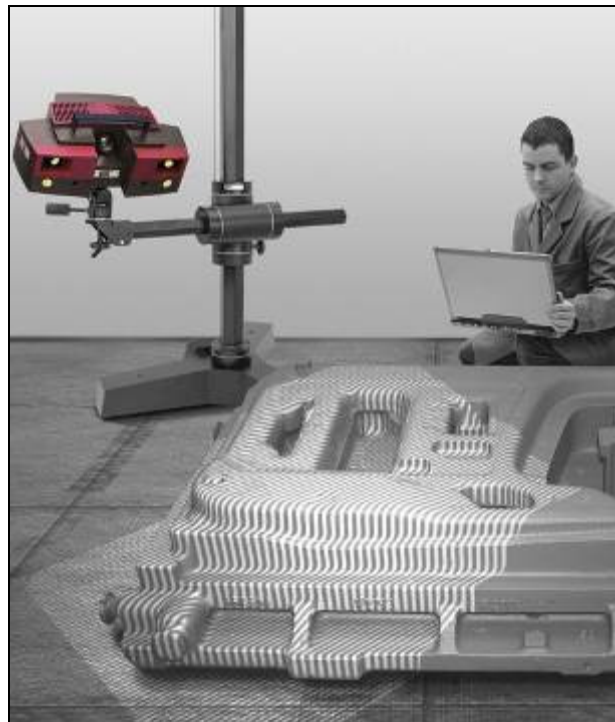
¹ Os braços de medição portáteis são equipamentos que permitem a execução de medições diretamente no ambiente de produção (chão de fábrica), resultando em melhorias no processo de produção. Esses equipamentos podem ser equipados com apalpadores de diferentes comprimentos e cabeçotes de digitalização para medir inclusive pontos dificilmente acessíveis, seja no modo ótico ou por contato.

1.2.2. Sistema de Digitalização com Luz Branca “*WHITE LIGHT SCANNING*”

Esse sistema é o mais avançado processo de digitalização de superfícies utilizado atualmente na indústria automotiva. Sua tecnologia inclui câmeras digitais de alta resolução, iluminação em LED e sistema de processamento de dados de alta capacidade. Permite a digitalização de grandes áreas com facilidade e precisão.

O sistema projeta um padrão aleatório sobre o produto e ativa uma captura automática da área através de suas câmeras (Figura 2). As imagens são processadas por um software, gerando uma nuvem de pontos que após alguns ajustes será transformada em um modelo matemático tridimensional.

Figura 2 – Sistema de Digitalização – Atos Triple Scan



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

1.3. O PROCESSO DE ENGENHARIA REVERSA

O Processo de execução de uma ER está dividido em 4 fases:

- Coleta dos Dados;
- Nuvem de Pontos;
- Malha Poligonal;
- Superfícies *Non Uniform Rational Basis Spline* (NURBS).

1.3.1. Coleta dos Dados

É a fase inicial o processo de ER, consiste basicamente em digitalizar um determinado produto (Figura 3) de forma que todos os detalhes sejam capturados pelo equipamento garantindo a qualidade e precisão do trabalho.

Figura 3 – Coleta de Dados

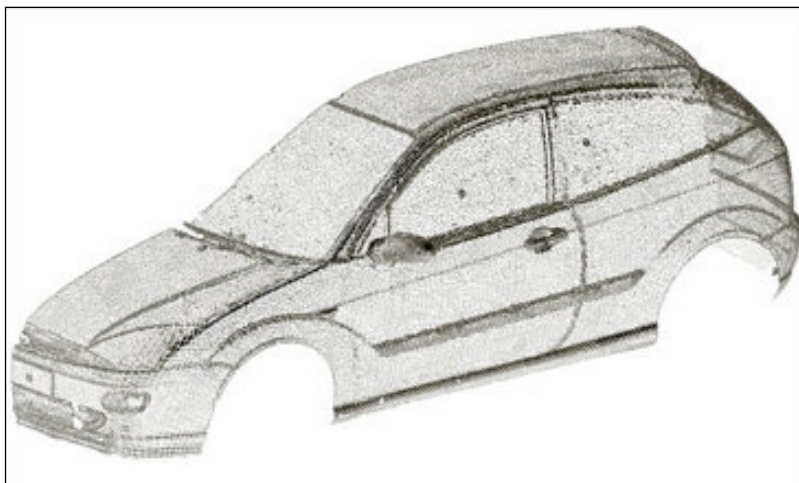


FONTE: CREAFORM

1.3.2. Nuvem de Pontos

Fase do processo onde é utilizado um software específico para ER, todos os pontos capturados são agrupados e processados para que seja criada uma Nuvem de Pontos (Figura 4), onde já é possível ter uma visão primária do produto digitalizado.

Figura 4 – Nuvem de Pontos



FONTE: RMN TRIDIMENSIONAL

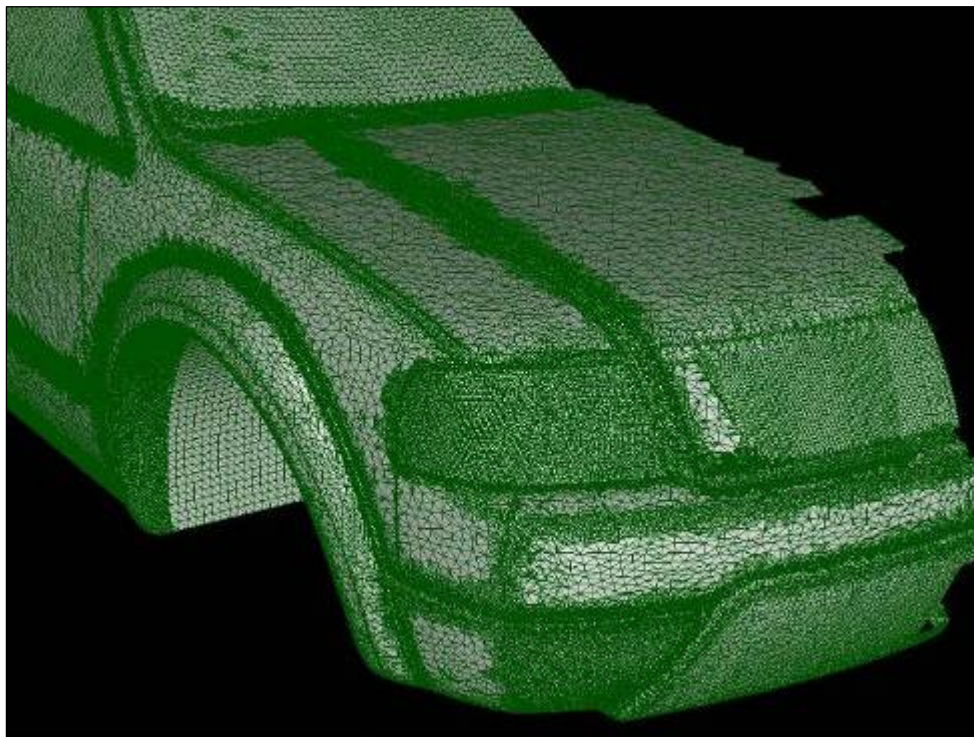
1.3.3. Malha Poligonal

Nesta fase os milhões de pontos de compõem a Nuvem de Pontos, a quantidade de pontos depende do tamanho da peça e/ou nível de detalhamento, são agrupados três a três, criando uma malha composta por milhares de pequenos triângulos (Figura 5).

Nesta etapa, também são executados os ajustes necessários para a correção de alguma falha no processo de captura dos pontos.

Para garantir a qualidade do processo de ER.

Figura 5 – **Malha Poligonal**



FONTE: INNOVMETRIC

1.3.4. Superfícies NURBS

Esta é a etapa final do processo de ER, após o processamento de todos os pontos, criação dos triângulos e execução de ajustes necessários, o software de ER executa o agrupamento destes milhares de pequenos triângulos criando Superfícies NURBS (Figura 6).

Esta superfície é uma copia fiel ao produto físico, sendo possível então enviá-la para um software CAD para execução de alguma análise de montagem, por

exemplo, ou até mesmo diretamente a um programa *Computer Aided Manufacturing* (CAM) para fabricação de um protótipo ou usinagem de ferramental.

Figura 6 - Superfície **NURBS**



FONTE: CREAFORM

1.4. EQUIPAMENTOS DE DIGITALIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES

Atualmente no mercado nacional e mundial existem diversos tipos de equipamentos de digitalização de superfícies.

Para cada tipo de aplicação, podemos encontrar um equipamento pronto para atender às necessidades do cliente seja ela qualidade, preço, tamanho, mobilidade e etc. Nas imagens abaixo (Figura 7 até Figura 10), vamos apresentar alguns dos equipamentos mais utilizados na Indústria Automotiva.

Figura 7 – **Cabeçotes de Digitalização – ScanWorks**



FONTE: PERCEPTRON

Figura 8 – **Scanners Portáteis – Scan3D**



FONTE: CREAFORM

Figura 9 – **Cognitens WLS – 3D Measurement Systems**



FONTE: HEXAGON METROLOGY

Figura 10 – **Atos Triple Scan WLS – GOM**



FONTE: FRAUNHOFER VISION

1.5. SOFTWARES DE ENGENHARIA REVERSA

O software é uma ferramenta essencial para que o resultado do processo de ER seja satisfatório.

Existem no mercado softwares que trabalham com equipamentos específicos (Figura 11). Normalmente esses softwares são desenvolvidos e comercializados juntamente com o equipamento de digitalização.

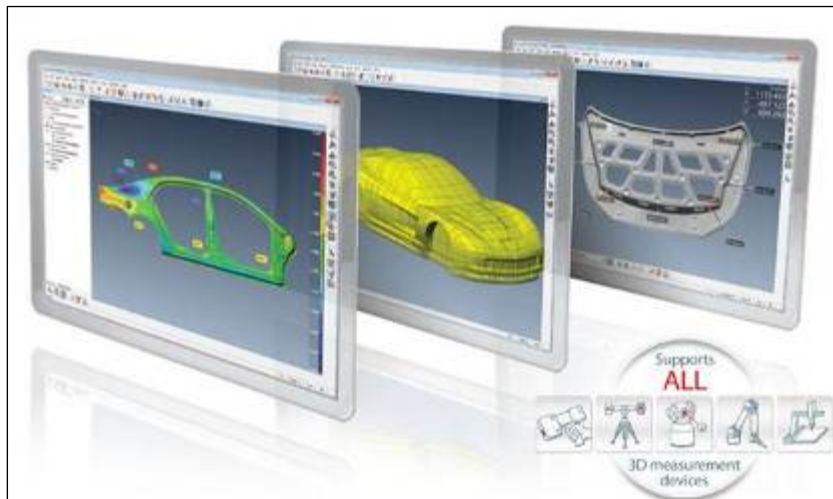
Figura 11 – **Software 3D – ATOS Professional**



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

Existem também softwares que trabalham com vários equipamentos (Figura 12), de diferentes modelos e marcas. São comercializados por empresas que se especializam no desenvolvimento de softwares e não de equipamentos de digitalização.

Figura 12 – **Software 3D – PolyWorks V12**



FONTE: INNOVMETRIC

2. A ENGENHARIA REVERSA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

O processo de ER era uma ferramenta pouco utilizada na Indústria Automotiva, no início da década de 90, devido principalmente à limitação dos equipamentos existentes naquela época.

Com o surgimento do Sistema de Digitalização Óptico sem contato de superfície, o processo foi expandido para diversas áreas da Indústria, como Design, Engenharia, Manufatura, Qualidade e outras.

Durante a fase de desenvolvimento é muito comum e até incentivado a utilização de peças já existentes em outros veículos, principalmente visando redução de custo e prazo do desenvolvimento. Nem sempre isso é possível sem a execução de pequenas alterações nas peças.

Atualmente é muito difícil encontrar uma peça que não tenha, em alguma fase de desenvolvimento e/ou processo de fabricação, passado por um ou mais processos de ER.

2.1. ONDE PODEMOS APLICAR A ENGENHARIA REVERSA

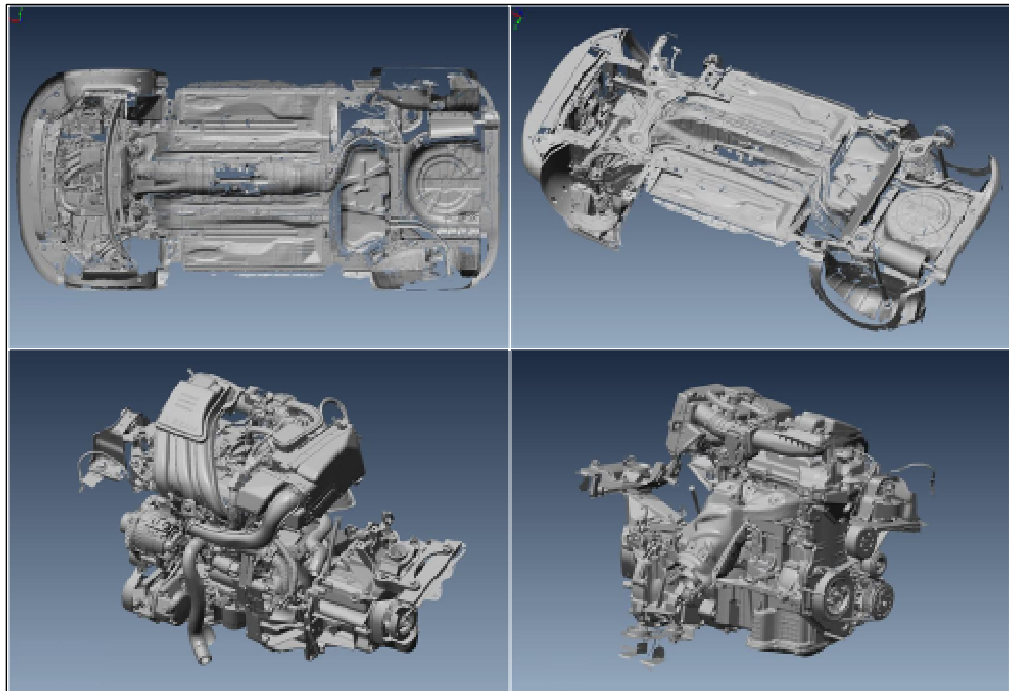
2.1.1. Engenharia Avançada

É a fase de desenvolvimento de um veículo em que são reunidas as informações sobre qual a necessidade do mercado, ou seja, o que o consumidor quer. Com essas informações são traçados objetivos referentes ao veículo a ser desenvolvido, qual sua categoria, público alvo e demais informações.

A partir destas informações é executado um processo chamado “*BENCHMARK*” que é basicamente conhecer detalhadamente os concorrentes disponíveis no mercado do veículo a ser desenvolvido.

É nesta fase que aplicamos a ER. Seria impossível obter essas informações com qualidade e precisão sem o processo de ER. Com ela é possível criar um banco de dados de modelos matemáticos 3D (Figura 13), de todos os veículos disponíveis no mercado e analisá-los de forma criteriosa para desenvolver veículos com melhor tecnologia, qualidade e menor custo.

Figura 13 – **Modelo matemático 3D de veículos e conjuntos**



FONTE: EUROPAC 3DIMENSIONAL

2.1.2. Design do Produto

Durante a fase de Design do Produto, as peças sofrem modificações constantes. Suas formas, dobras, furações estão sempre mudando de posição, sendo eliminadas e/ou inseridas, sempre pensando em melhorar a estética do veículo, visando atender às normas e especificações do produto.

O processo de ER é utilizado principalmente quando existe a necessidade de copiar ou transferir alguma modificação executada em uma peça para o modelo matemático 3D.

Essas modificações são executadas manualmente, normalmente em um modelo esculpido em Clay¹ (Figura 14), que após ser modificado de acordo com as necessidades é digitalizado e suas alterações transferidas do modelo esculpido e incorporadas ao modelo matemático 3D.

¹ Clay é uma argila polímera, geralmente macia e flexível e não seca quando exposta ao ar. Pode ser modelada na forma desejada e depois assada em um forno comum. Depois de esfriar, ela se transforma num material rígido e pode ser lixada, furada e pintada.

Figura 14 – Digitalização de Modelo em Clay



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

2.1.3. Engenharia Experimental

Nesta fase do desenvolvimento de um veículo tudo ainda é experimental, a fabricação das peças é executada, em sua maioria, manualmente com processos e materiais alternativos.

Normalmente são necessários ajustes em sua geometria para que a peça possa atender as especificações da Engenharia de Produto e/ou condições de montagem.

O Processo de ER é aplicado juntamente aos processos de Prototipagem Rápida e Usinagem com Comando Numérico Computadorizado (CNC).

Após um determinado produto ser desenvolvido manualmente e/ou de forma artesanal, é possível digitalizar e enviar as informações diretamente para uma máquina de Prototipagem Rápida (Figura 15), que possibilita a criação de um produto físico 3D na escala desejada, para que o mesmo seja montado e analisado no veículo.

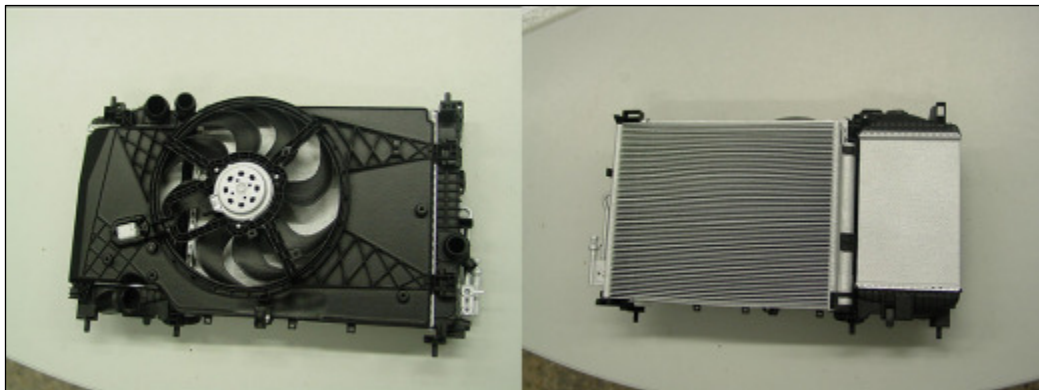
Figura 15 – Equipamento de Prototipagem Rápida



FONTE: ROBTEC

Esse processo diminui sensivelmente o tempo de desenvolvimento de um produto (Figura 16), pois antes mesmo da existência de um modelo matemático 3D validado pela Engenharia de Produto, o produto experimental já pode ser montado no veículo e sua funcionalidade pode ser analisada.

Figura 16 – Conjunto do Radiador fabricado em Prototipagem Rápida



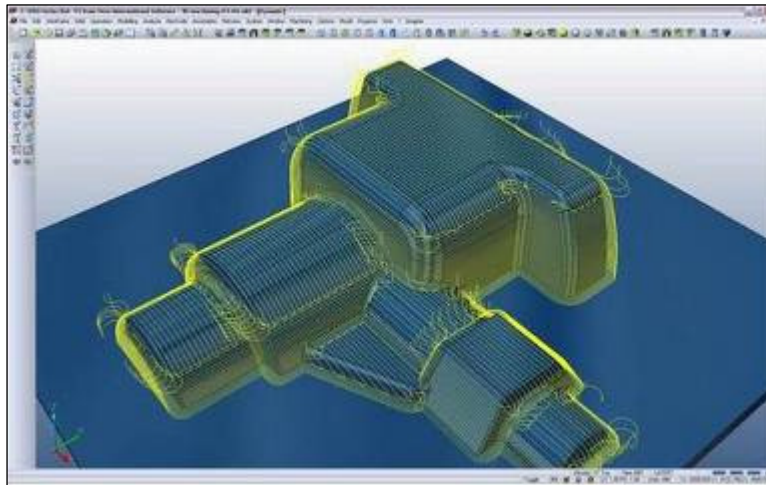
FONTE: INEO PROTÓTIPOS

Como vimos à associação da ER com a Prototipagem Rápida nesta fase do processo de desenvolvimento é extremamente positiva, pois conseguimos economizar tempo e diminuir a construção dos protótipos necessários para a validação de um determinado produto.

Muitas vezes existe a necessidade de uma quantidade maior do produto protótipo, para execução de diversos testes de validação.

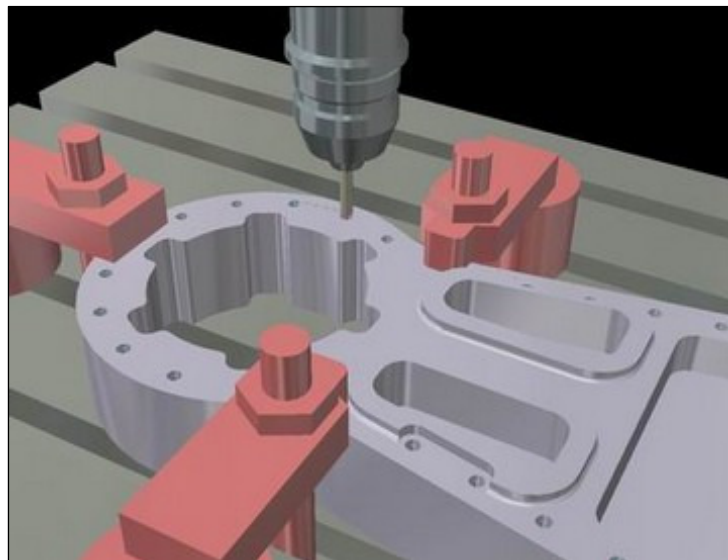
Com as informações obtidas pela ER é possível com a ajuda de um sistema CAM a criação de um ferramental virtual (Figura 17) para a construção do produto e posteriormente enviar essas informações para um centro de Usinagem CNC (Figura 18) para a fabricação do ferramental.

Figura 17 – **Programação de Usinagem 3D**



FONTE: METTALFORMA

Figura 18 – **Simulação de Usinagem 2D**



FONTE: METTALFORMA

2.1.4. Qualidade Assegurada

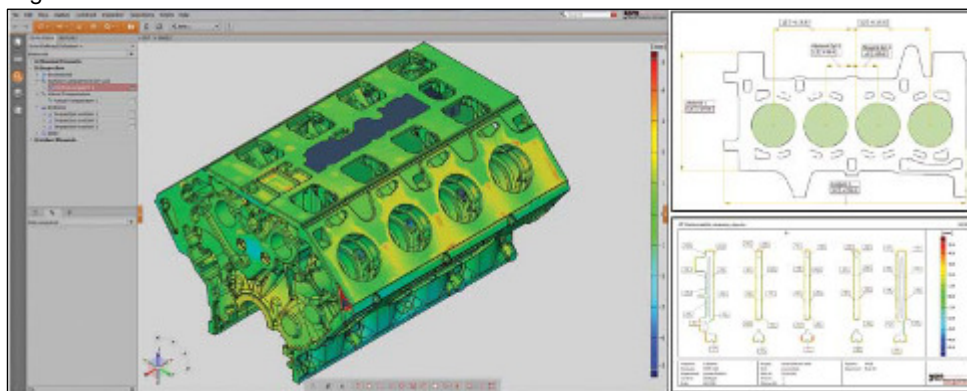
Quando comparamos o atual processo de análise dimensional, em uma peça individual ou em um conjunto ou até mesmo no veículo completo, com os métodos

utilizados anteriormente, chegamos à conclusão que a Qualidade Assegurada foi uma das áreas da Indústria Automotiva que mais se beneficiou com a ER.

Com a utilização da ER o processo de análise dimensional ficou mais preciso rápido e muito mais confiável.

Os métodos de análise são muito mais abrangentes, pois é possível analisar os desvios dimensionais de um produto através de uma única imagem, utilizando-se um método chamado “Mosaico de Cores” (Figura 19).

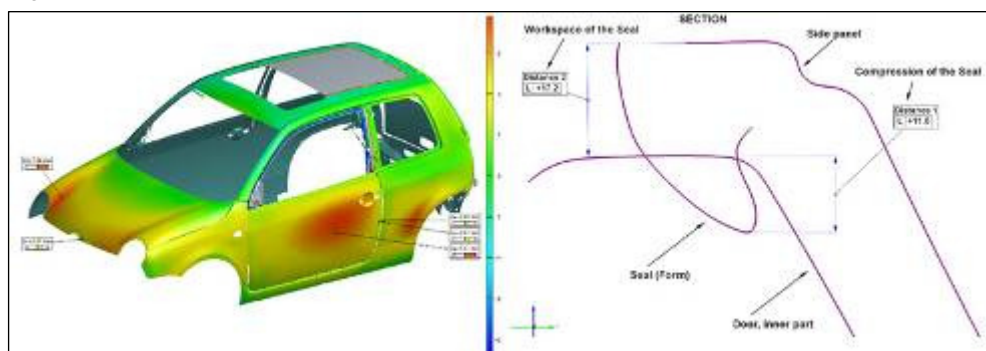
Figura 19 – **Análise Dimensional do Produto**



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

Quando a análise é feita em uma carroceria com as portas, capô e tampa traseira montadas (Figura 20), o sistema é mais abrangente ainda, pois é possível uma análise de todo o conjunto simultaneamente.

Figura 20 – **Análise Dimensional de Carroceria**



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

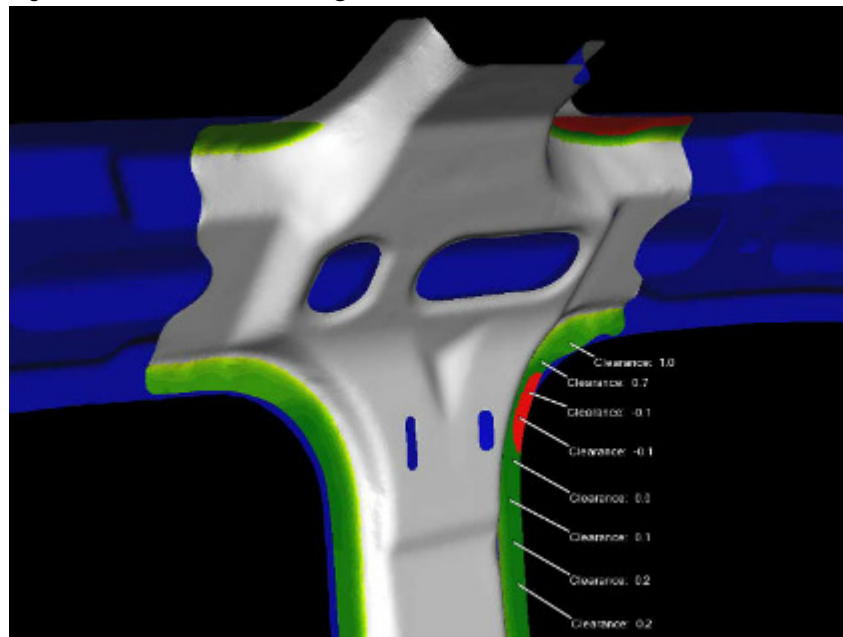
Outra aplicação da ER é a possibilidade de executar uma Montagem Virtual, de diversas peças e analisá-las utilizando um mesmo sistema de referência.

Após a digitalização das peças e execução do processo de ER, podemos analisar como vão se comportar quando estiverem montadas no carro.

Como podemos observar (Figura 21) é possível verificar na cor Verde as regiões onde a montagem entre as peças analisadas é satisfatória não gerando interferência e na cor Vermelha as regiões com interferência entre peças. Nessas regiões um produto está interferindo fisicamente no outro, que irá comprometer a montagem final do produto.

Com isso podemos prever possíveis problemas de fabricação, montagem e até possíveis erros no projeto do veículo, evitando com isso problemas nas fases seguintes de desenvolvimento.

Figura 21 – **Análise de Montagem Virtual**

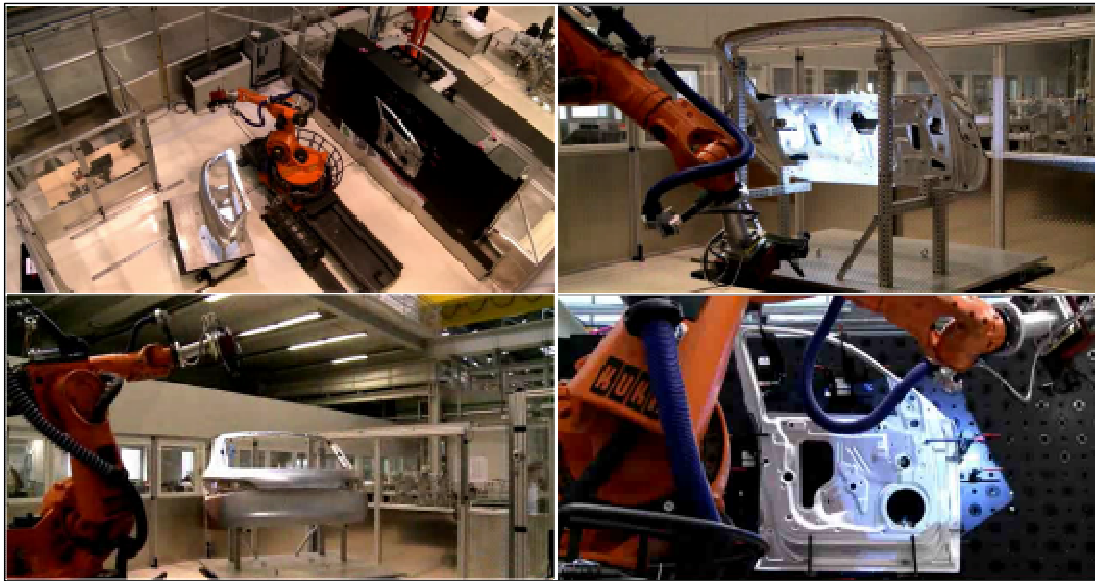


FONTE: INNOVMETRIC

2.1.5. Manufatura

Uma atividade cada vez mais utilizada no chão de fábrica é a automatização do Processo de medição de peças e conjuntos “*Robot Inspection Cell*” (Figura 22), onde um Sistema de Digitalização de Superfícies é acoplado a um ou mais Robôs que executam o processo de verificação dos produtos sem a necessidade de operador.

Figura 22 – **Robot Inspection Cell**



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

Pode-se também aplicar a automatização no processo de verificação dos ajustes finais da montagem de portas, tampa traseira e capô (Figura 23).

Figura 23 – **Verificação Automatizada do Ajuste das Portas**



FONTE: PERCEPTRON

3. A APLICAÇÃO DA ENGENHARIA REVERSA EM OUTRA ÁREAS

Além de ser muito aplicado na Indústria Automotiva, o processo de ER tem um amplo campo de aplicação também em outras áreas, abaixo veremos alguns exemplos dessas aplicações:

- Aeroespacial;
- Medicina Dentária;
- Geração de Energia;
- Civil;

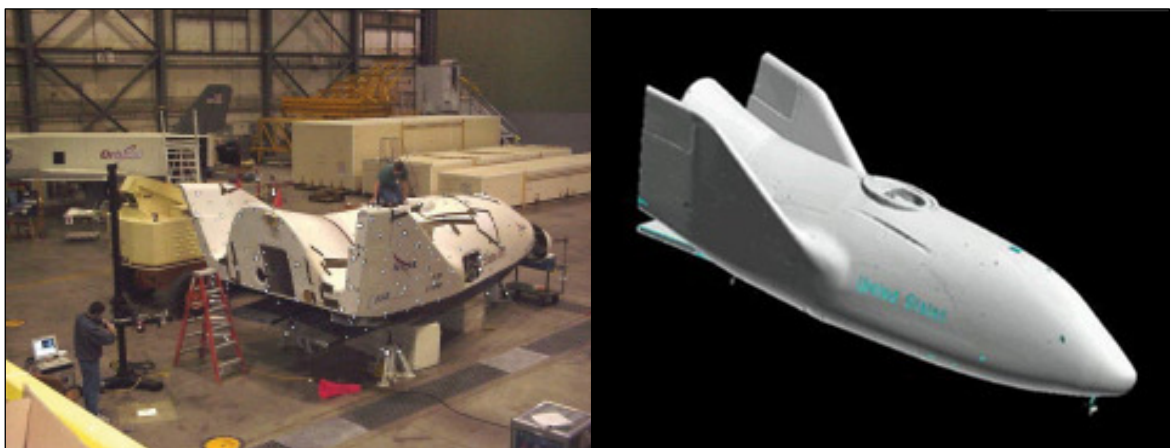
3.1. AEROESPACIAL

Esta é uma área onde a ER é muito utilizada, principalmente pelo tamanho físico dos produtos fabricados e também pela necessidade de dados precisos e confiáveis.

As aplicações vão desde a digitalização para verificação da qualidade do produto, armazenamento das informações 3D e até mesmo para a execução de simulações avançadas como, por exemplo, Análise de Dinâmica dos Fluídos.

Como podemos observar (Figura 24), a ER é aplicada na *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), uma das principais agências espaciais no mundo.

Figura 24 – Digitalização do veículo espacial da NASA X-38



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

Ainda na área Aeroespacial, podemos encontrar a aplicação da ER nas Forças Armadas e também na aviação Civil (Figuras 25 a 27).

Figura 25 – Digitalização de Helicóptero Militar *Black Hawk*



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

Figura 26 – Processo de Digitalização de um Avião Civil



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

Figura 27 – Digitalização da Fuselagem de um Avião Civil



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

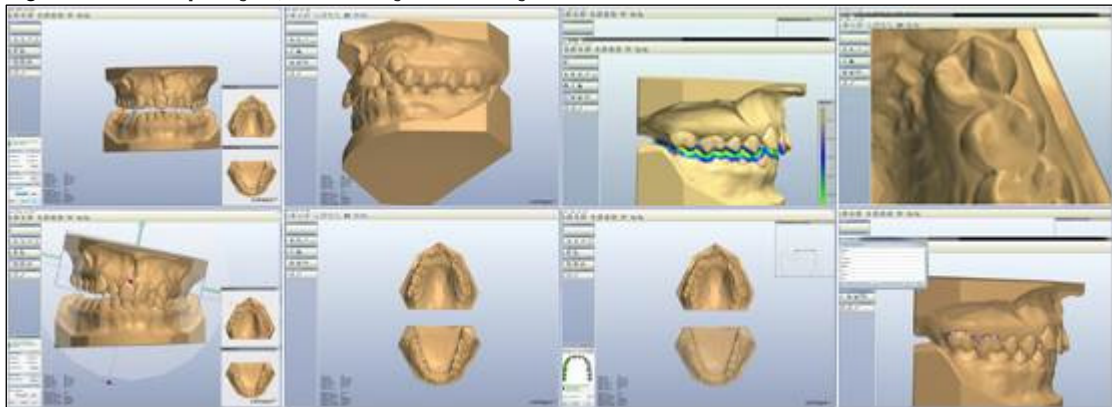
3.2. MEDICINA DENTÁRIA

No artigo Digitalização 3D em Medicina Dentária, Martins et al. (2013, p. 5) descreve os benefícios do uso do Processo de ER na digitalização dos modelos de arcada dentária dos pacientes (Figura 28).

As novas tecnologias disponíveis para utilização por médicos dentistas conduzirão certamente a grandes benefícios tanto para o profissional como para o paciente. Ocasionalmente uma mudança na forma de planejar o tratamento, a tecnologia digital pode revolucionar o modo de utilizar os modelos, desde a sua confecção, estudo, visualização, gestão e armazenamento. As possibilidades de manipulação como rodar, inclinar, medir, seccionar e manter os modelos na posição desejada permite uma análise detalhada, com a vantagem de podermos arquivar as modificações e verificá-las sempre que necessário. Na era digital, com fotografias e radiografias computadorizadas, a imagiologia 3D proporcionada pelos scanners é uma ferramenta valiosa para o médico dentista, permitindo deste modo que todas as informações dos pacientes sejam armazenadas nesse formato. Conseguimos assim, uma economia no tempo despendido e no espaço de armazenamento, uma melhoria na qualidade do trabalho e uma maior facilidade de comunicação com o paciente e com o laboratório.

Assim sendo, é esperado que esta tecnologia 3D passe a ser cada vez mais utilizada pelos médicos dentistas, passando evidentemente por uma curva de aprendizagem, como habitualmente ocorre quando se utilizam novas técnicas e equipamentos. A indicação precisa de determinados métodos de diagnóstico contribuirá para a diferença entre o sucesso e o fracasso clínico, sendo o melhor método de diagnóstico determinado pelo conhecimento técnico-científico do profissional.

Figura 28 – Manipulação, visualização e medição de modelos



FONTE: MARTINS

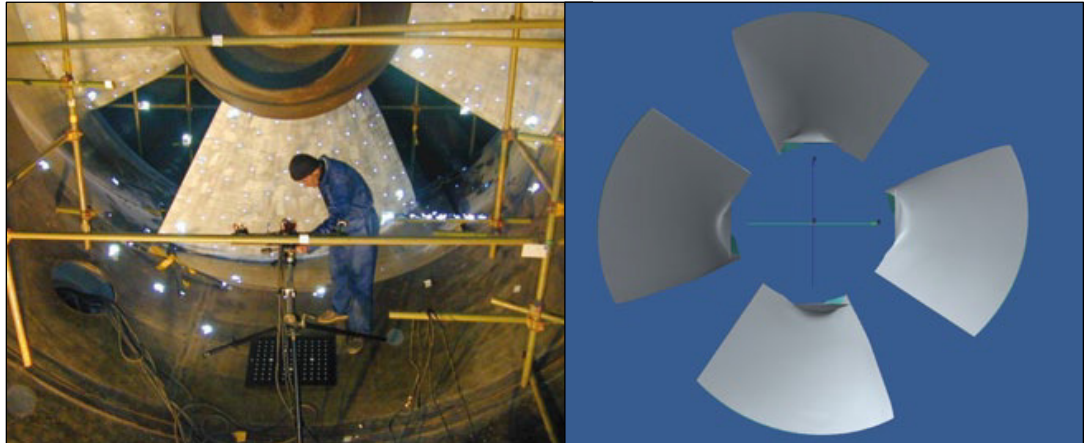
3.3. GERAÇÃO DE ENERGIA

A indústria de Geração de Energia também foi muito beneficiada com a aplicação da ER em seus processos. Uns dos maiores problemas que a Indústria encontrava era como garantir a qualidade das turbinas depois de montadas e em operação.

Como são produtos de grande volume e massa seria inviável desmontar uma turbina em operação somente para executar uma inspeção em seus componentes.

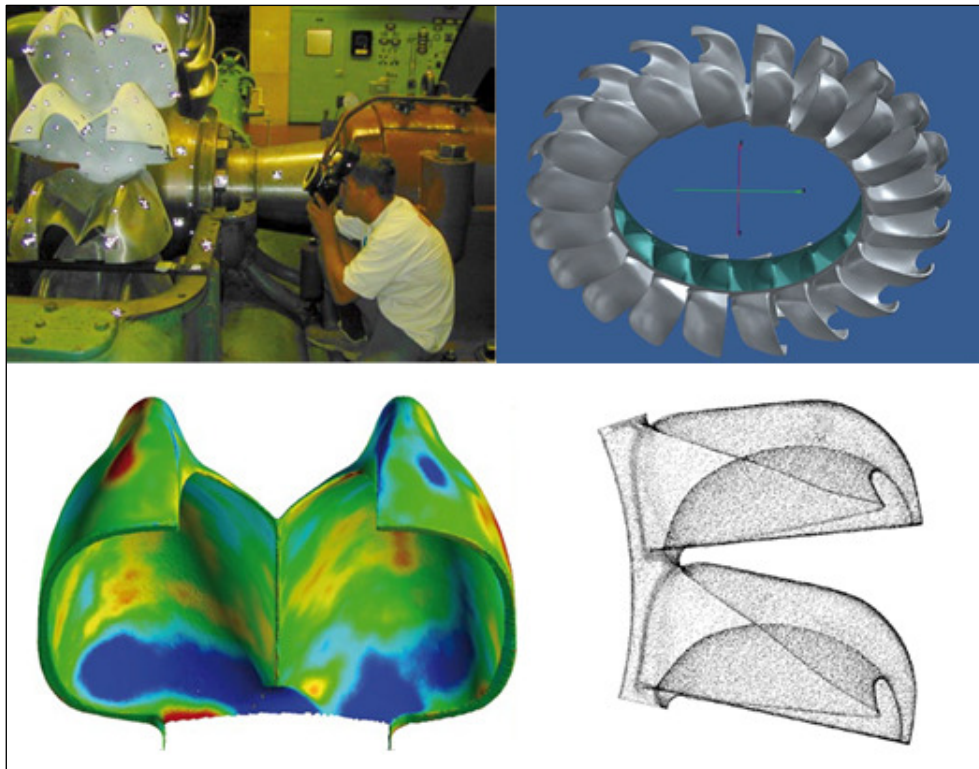
Problema solucionado com a aplicação da ER, sendo necessário somente à interrupção da operação da turbina por algumas horas, tempo necessário para que seja executada a coleta dos dados necessários para análise (Figuras 29 e 30).

Figura 29 – Digitalização de Turbina (5.4m) de Diâmetro



FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

Figura 30 – Digitalização e Análise de Turbina (2m) de Diâmetro



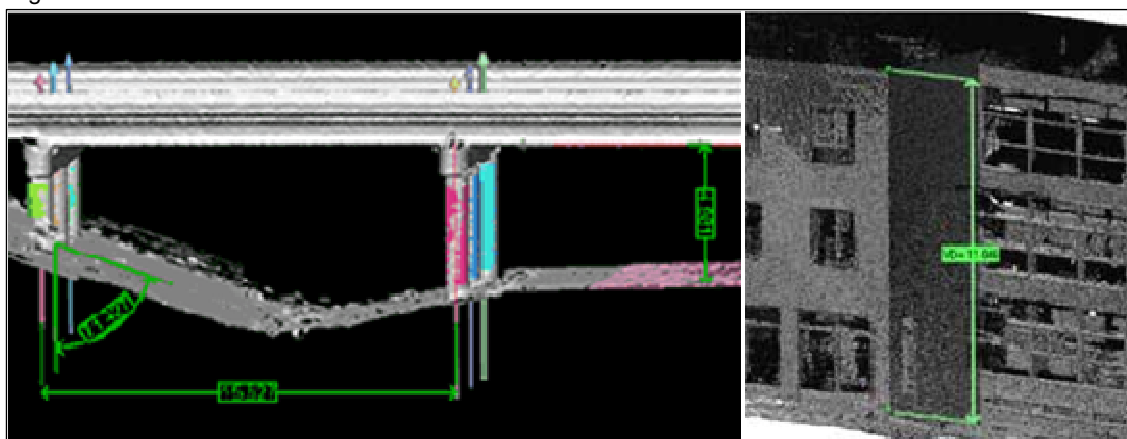
FONTE: GOM – OPTICAL MEASURING TECHNIQUES

3.4. CIVIL

Recentemente as áreas da Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, tem aplicado cada vez mais o processo de ER em suas atividades (Figuras 31 a 33).

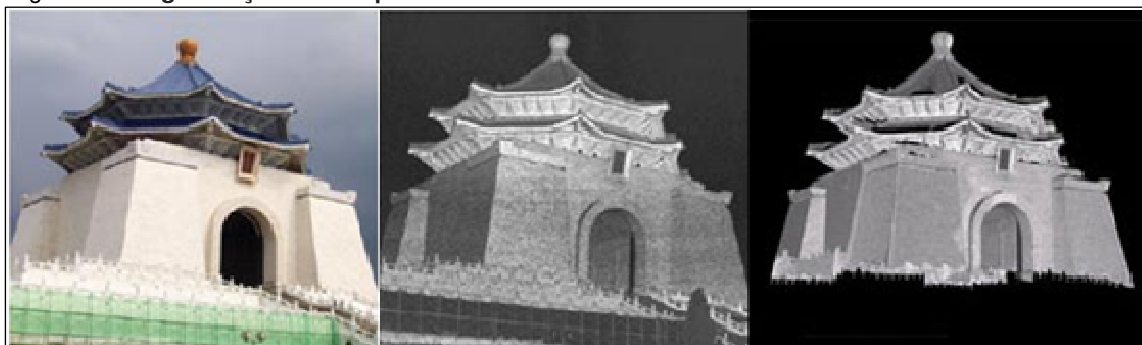
O processo é aplicado para facilitar medições topográficas, simulação de espaço para construção de edificações, preservação e/ou restauração de monumentos e diversas outras atividades, através de um modelo matemático 3D em escala real.

Figura 31 – Análise de Distâncias em Pontes e Edifícios



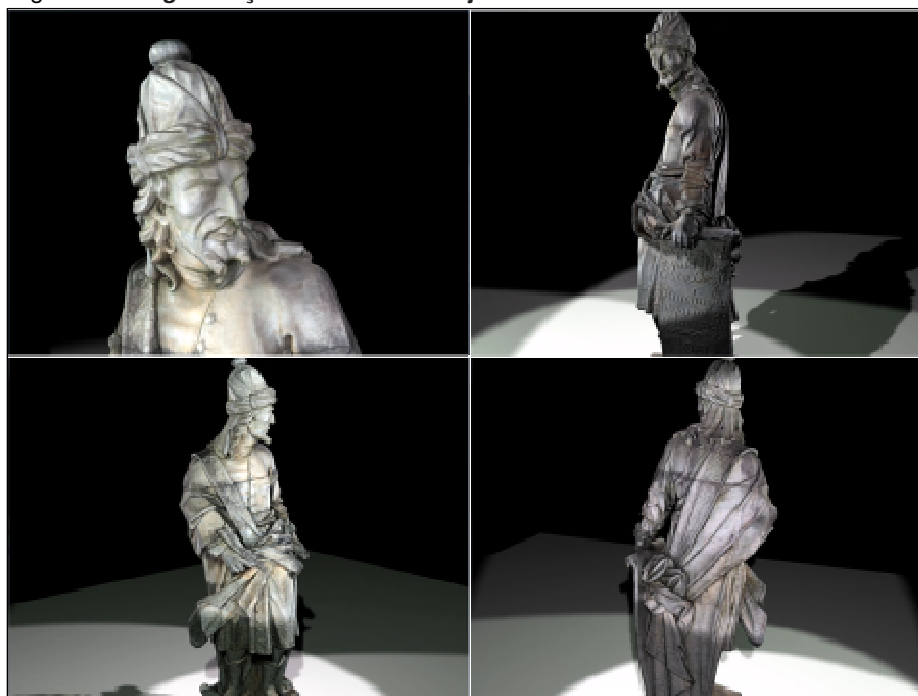
FONTE: INNOVMETRIC

Figura 32 – Digitalização de Templo em Taiwan



FONTE: INNOVMETRIC

Figura 33 – Digitalização da Obra de Aleijadinho – Profeta Joel



FONTE: IMAGO

4. CONCLUSÃO

É visível, mesmo para quem não trabalha na área Automotiva, que a partir da década de 90 a Indústria Nacional passou por uma espécie de “Revolução”, em sua visão de como desenvolver e fabricar veículos.

A frota nacional era ultrapassada, com veículos que já eram fabricados há quase 20 anos sem nenhuma alteração, passando a ter veículos mais modernos em aparência e tecnologia.

Atualmente temos uma frota de veículos com Design moderno e com tecnologia embarcada de última geração. Os veículos estão constantemente sendo adequados às necessidades dos consumidores, visando um melhor desempenho de vendas no mercado nacional e em outros países.

Como exemplo dessa evolução, a montadora General Motors do Brasil, uma das maiores fabricantes de veículo no mundo, comercializa atualmente 16 modelos de veículos diferentes no mercado nacional, oferecendo ao consumidor uma possibilidade de escolha de aproximadamente 35 versões.

Para atender tal demanda de novidades a introdução de novas técnicas e tecnologias no desenvolvimento e na fabricação de veículos foi essencial para o sucesso da Indústria Automotiva atualmente.

O processo de Engenharia Reversa foi uma ferramenta que, apesar de já ser utilizada, em algumas áreas na Indústria, antes dessa “Revolução” foi aperfeiçoada quando associada aos Sistemas de Digitalização Ótico sem contato de Superfície.

O processo de Engenharia Reversa, com a utilização de sistema de digitalização ótico sem contato de superfície foi um avanço tecnológico muito significativo para a Indústria Automotiva.

Sua aplicação na Indústria foi ampliada para diversas outras áreas onde o processo não podia ser aplicado pela limitação dos equipamentos utilizados anteriormente.

O processo de digitalização de peças possibilita aos profissionais das áreas de criação e desenvolvimento a execução de diversos testes, simulações e análises antes da definição do produto final.

É possível a criação de um banco de dados digital 3D de diversos veículos, peças e acessórios, uma ferramenta essencial para os profissionais da Indústria Automotiva utilizarem durante o desenvolvimento de novos veículos.

Permite que seja analisada a qualidade do produto em tempo real, durante sua fabricação, contribuindo de maneira muito significativa para garantir a qualidade final do produto, eliminando desperdícios e ganhando tempo.

O processo de Engenharia Reversa é uma das ferramentas mais aplicadas atualmente nas indústrias. Como foi apresentado, o processo de Engenharia Reversa, com a utilização de sistema de digitalização ótico sem contato de superfície foi um avanço tecnológico tão significativo na Indústria Automotiva que passou a ser aplicado também em outras áreas.

Hoje podemos ir a um dentista, por exemplo, e ter nossa arcada dentária digitalizada e transferida para um computador, possibilitando que sua análise seja executada por um profissional em outra cidade ou até mesmo outro país.

Grandes construções como pontes e edifícios tem a análise de suas estruturas, normalmente gigantescas, muito facilitadas pela possibilidade de transferir suas formas para modelos matemáticos 3D.

A possibilidade de analisar a qualidade de gigantescas turbinas sem a necessidade de desmontagem é um avanço tecnológico fantástico para o segmento de Geração de Energia.

Outro avanço tecnológico possível após a aplicação da Engenharia Reversa é a possibilidade de ter um arquivo digital 3D das milhares de obras de arte, relíquias arqueológicas e fósseis, facilitando enormemente o estudo dessas obras por qualquer pessoa e também o auxílio em uma eventual necessidade de restauração.

A Engenharia Reversa vem se desenvolvendo rapidamente no cenário mundial, sendo aplicada cada vez mais em diversos segmentos.

O processo vem sendo melhorado dia a dia com o desenvolvimento de novos equipamentos de digitalização e softwares cada vez mais precisos garantindo a melhor qualidade e rapidez dos trabalhos realizados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Carla Cristina Rosa de et al. Indústria automobilística brasileira: Conjuntura recente e estratégias de desenvolvimento. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v. 34, n. 1, p.135-152, 01 jul. 2006. Trimestral. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/indicadores/article/view/1450/1814>>. Acesso em: 30 set. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 7p.

_____. **NBR 6023**: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

_____. **NBR 14724**: Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: Apresentação. Rio de Janeiro, 2011. 11 p.

CREAFORM. **Engenharia Reversa de peças sobressalentes**. Disponível em: <<http://www.creaform3d.com/pt/aplicacoes/automotivo-transportes/engenharia-reversa-de-pecas-sobressalentes>>. Acesso em: 08 fev. 2013.

EUROPAC 3DIMENSIONAL. **Automotive & Aerospace**. Disponível em: <<http://www.europac3d.com/gallery/automotive-aerospace/>>. Acesso em: 14 fev. 2013.

FENABRAVE. **Anuário 2011**: O desempenho da distribuição automotiva no Brasil. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.fenabreve.org.br/principal/pub/Image/20120425110423ANUARIO2011.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2012.

FRAUNHOFER VISION. **3D-Digitalisierer ATOS Triple Scan**. Disponível em: <<http://www.vision.fraunhofer.de/de/projekte/552.html>>. Acesso em: 14 fev. 2013.

GOM - OPTICAL MEASURING TECHNIQUES. **ATOS Triple Scan** - Revolutionary scanning technique. Disponível em: <<http://www.gom.com/metrology-systems/system-overview/atos-triple-scan.html>>. Acesso em: 03 jan. 2013.

GOM - OPTICAL MEASURING TECHNIQUES. **Industries Aerospace Fuselage**. Disponível em: < <http://www.gom.com/industries/aerospace/fuselage-cabin.html>>. Acesso em: 06 mar. 2013.

GOM - OPTICAL MEASURING TECHNIQUES. **Industries Power Generation Turbines**. Disponível em: < <http://www.gom.com/industries/power-generation-turbines.html> >. Acesso em: 06 mar. 2013.

GOM - OPTICAL MEASURING TECHNIQUES. **Automated Quality Control**. Disponível em:
< <http://www.gom.com/industries/sheet-metal-forming/automated-quality-control.html> >.
Acesso em: 08 mar. 2013.

HEXAGON METROLOGY. **Perceptron ScanWorks V5 for Romer**. Disponível em:
<http://www.hexagonmetrology.com.br/Perceptron-ScanWorks-V5-for-ROMER_275.htm>.
Acesso em: 14 nov. 2012.

HEXAGON METROLOGY. **Cognitens - 3D White Ligth Measurement Systems**.
Disponível em: <http://www.cognitens.com/Products_98.htm>. Acesso em: 14 fev. 2013.

IMAGO - GRUPO DE PESQUISA EM VISÃO COMPUTACIONAL. **Museu Virtual 3D:**
IMAGO Preserva obras de Aleijadinho. Disponível em:
<<http://www.imago.ufpr.br/museu3d/>>. Acesso em: 07 mar. 2013.

INEO PROTÓTIPOS. **Conjunto Radiador fabricado em Prototipagem Rápida**. Disponível em:
<<http://www.ineo.es/cat/ineo-prototipos-servicios.html>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

INNOVMETRIC. **Polygonal Manufacturing**. Disponível em:
<http://www.innovmetric.com/polyworks/3D-scanners/so_polygonal.aspx?lang=en>. Acesso em: 08 fev. 2013.

INNOVMETRIC. **Polyworks Surveying**. Disponível em:
<<http://www.innovmetric.com/polyworks/Surveying/home.aspx?lang=en>>. Acesso em: 07 mar. 2013.

MARTINS, Cristiane et al. **Digitalização 3D em Medicina Dentária**. Disponível em:
<http://paginas.fmd.up.pt/newsletter/index.php?option=com_content&view=article&id=83%3Adigitalizacao-3d-em-medicina-dentaria&catid=37%3Aartigos&Itemid=74&showall=1>.
Acesso em: 27 fev. 2013.

METTALFORMA. **CAM - Usinagem CNC**. Disponível em:
<<http://mettallforma.com.br/software-cam.html>>. Acesso em: 07 fev. 2013.

PAULINO, Eng. Jorge. **A Engenharia Reversa**. Disponível em:
<<http://www.artigonal.com/ensino-superior-artigos/a-engenharia-reversa-1308116.html>>.
Acesso em: 30 set. 2012.

PERCEPTRON. **ScanWorks**. Disponível em: <<http://www.perceptron.com/index.php/en/3d-scanning-solutions/manual-3d-scanning.html>>. Acesso em: 14 fev. 2013.

PERCEPTRON. **Applications Body Panel Fit**. Disponível em:
< <http://www.perceptron.com/index.php/en/applications/body-panel-fit.html> >. Acesso em: 08 mar. 2013.

ROBTEC. **Equipamento de Prototipagem Rápida**. Disponível em:
<<http://www.robtec.com>>. Acesso em: 29 jan. 2013.

WIKIPÉDIA A ENCICLOPÉDIA LIVRE (Org.). **Engenharia Reversa**. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Engenharia_reversa>. Acesso em: 30 set. 2012.