

CÉSAR TAKAO MATAYOSHI

ENGENHARIA SIMULTÂNEA – ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS REQUISITOS DE
PROCESSO E CICLO DE VIDA NO DESENVOLVIMENTO DE PEÇAS ESTAMPADAS
AUTOMOTIVAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

São Paulo
2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CÉSAR TAKAO MATAYOSHI

ENGENHARIA SIMULTÂNEA – ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS REQUISITOS DE
PROCESSO E CICLO DE VIDA NO DESENVOLVIMENTO DE PEÇAS ESTAMPADAS
AUTOMOTIVAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.

Área de concentração:
Engenharia Automotiva
(Mestrado Profissionalizante)

Orientador:
Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha

São Paulo
2005

FICHA CATALOGRÁFICA

Matayoshi, César Takao

**Engenharia simultânea – estudo da influência dos requisitos de processo e ciclo de vida no desenvolvimento de peças estampadas automotivas / C.T. Matayoshi. -- São Paulo, 2005.
p.93**

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1.Processo de fabricação 2.DFM 3.DFX I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II.t.

À Daniela, minha esposa, com amor e gratidão por sua dedicação, apoio e presença nos momentos de elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e familiares, que sempre me incentivaram a lutar para alcançar os objetivos.

Aos familiares da minha esposa, que tanto me ajudaram neste período de elaboração do trabalho.

Ao Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha, pelo apoio e orientação durante o processo de construção do trabalho.

À General Motors do Brasil, por me proporcionar todas as condições de realizar o mestrado.

À Escola Politécnica, pela oportunidade de realizar tanto o mestrado quanto o curso superior.

RESUMO

ENGENHARIA SIMULTÂNEA – ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS REQUISITOS DE PROCESSO E CICLO DE VIDA NO DESENVOLVIMENTO DE PEÇAS ESTAMPADAS AUTOMOTIVA

O crescimento da competitividade global tem aumentado o interesse das empresas em desenvolver novas maneiras de melhorar a produtividade e qualidade com redução do custo. O fato do custo do produto manufaturado ser diretamente influenciado na fase do desenvolvimento do seu projeto e que, portanto, a sua *manufaturabilidade* deva ser considerada neste momento, já um consenso entre os acadêmicos e envolvidos nos meios industriais. A análise da excelência do produto no cenário ambiental também está se tornando relevante na prática, que são as aplicações e ferramentas que se enquadram no denominado *Design for X* (DFX) - *Design for Manufacturability, Design for Assembly, Design for Environment, Design for Disassembly, Design for Recycleability* - e isto demonstra a preocupação das empresas em relação ao todo ciclo de vida de produto. Nos setores automobilísticos, considerando-se a Europa e Estados Unidos, requerimentos como reciclagem, desmontagem e aspectos ambientais têm grande importância no desenvolvimento do automóvel, conforme publicados em artigos referentes à estes assuntos. Analisando-se estas aplicações para o desenvolvimento do veículo pela engenharia local, percebe-se que a sua utilização depende muito da necessidade da redução de custo e atendimento às leis. Então, critérios de montagem e *manufaturabilidade* são assuntos já absorvidos no projeto, porém no aspecto de atendimento aos critérios ambientais, no setor de fabricação de componentes, isto ainda não é uma prática implantada. Nesta obra, portanto, será comentada principalmente sobre a aplicação de *Design for Manufacturability* nos projetos de componentes estampados para promover a viabilidade de um planejamento estratégico de redução de custos nas estamparias, além de reduzir o prazo de implantação do projeto.

Palavras-chave: Conformação, DFM, engenharia simultânea, chapa metálica.

ABSTRACT

SIMULTANEOUS ENGINEERING – STUDY OF THE PROCESS REQUIREMENTS AND LIFE CYCLE INFLUENCE IN THE DEVELOPMENT OF AUTOMOBILE STAMPED PARTS

The increased global competition has led to immense interest in the development of new ways of increasing productivity and quality and cost reduction. It is a well known fact that the costs of manufactured products are largely determined at the design stage and the manufacturability criteria are important to consider early in the design. To be able to cut life cycle costs at an early stage the following so called DFX tools have been developed: Design for Manufacture (DFM), Design for Assembly (DFA), Design for Environment (DFE), Design for Disassembly (DFD), Design for *Recycleability* (DFR) and the analysis of the excellency of the product in the ambient scene is also becoming usual in the practical product design activities. In the automobile sectors, considering Europe and United States, recycling, dismantling and environmental aspects have great importance in the development of the automobile, as published in referring articles to the these subjects. Analyzing these applications for the development of the vehicle for local engineering, it has been verified that their use depend on the necessity of the reduction of cost and attendance to the laws. Then, criteria of assembly and manufacturability are absorbed subjects already in the project, however, in the aspect of attendance to the ambient criteria in the sector of manufacture of components, this is not applied to the most of project. Then, the main issue of this paper is about the application of the Design for *Manufacturability* in sheet metals for Brazilian auto body design to aim structural cost reduction at the press shops, besides reducing the vehicle program schedule.

Key-words: Forming, DFM, simultaneous engineering, sheet metal.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
1-INTRODUÇÃO.....	01
1.1–Década de 90: Período de grandes mudanças nos negócios da indústria automobilística mundial.....	01
1.2–Novo rumo para a indústria automobilística brasileira.....	03
1.3–A estamparia no processo de modernização e competitividade.....	04
1.4–Objetivo do trabalho.....	05
2-DFM/A & DFX - FERRAMENTAS DE APOIO DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA	06
2.1-Introdução à Engenharia Simultânea.....	06
2.2-DFM (<i>Design for Manufacturability</i>).....	09
2.3-DFA (<i>Design for Assembly</i>).....	13
2.4-DFX.....	16
2.4.1-Ferramentas de projeto voltadas para o meio-ambiente.....	16
2.4.1.1- <i>Life Cycle Assessment/Analysis</i>	17
2.4.1.2-DFE (<i>Design for Environment</i>).....	22
2.4.1.3-DFD (<i>Design for Disassembly</i>).....	25
2.4.1.4-DFR (<i>Design for Recycleability</i>).....	29
3–DESENVOLVIMENTO DE PROJETO E PROCESSO DE PAINÉIS METÁLICOS DA CARROCERIA DO VEÍCULO.....	33
3.1-Introdução ao Planejamento de Processo e Produção dos Componentes Estampados de Veículos.....	33
3.2-Princípios Básicos dos Processos de Conformação de Chapas.....	35
3.2.1-Classificação dos processos de manufatura.....	35
3.2.2-Classificação dos processos de produção para conformação.....	37
3.2.3-Técnica de divisão.....	38
3.2.4-União através do processo de conformação.....	39
3.2.5–Processos para conformação de chapas metálicas.....	39

3.3-Matéria-Prima e <i>Blanks</i>	42
3.3.1-Matéria-prima de painéis metálicos.....	42
3.3.2-Produção de <i>Blanks</i>	42
3.4-Ferramentas de Estampagem de Painéis Metálicos.....	43
3.4.1-Ferramenta de repuxo.....	44
3.4.2-Ferramentas complementares do processo de estampagem.....	48
3.4.3-Ferramenta de <i>Blank</i>	50
3.5-Principais máquinas e equipamentos para estamparia.....	50
3.6-Planejamento de processo de peças estampadas.....	54
4-APLICAÇÃO DE DFM NO PROJETO DE PEÇAS ESTAMPADAS.....	57
4.1-Critérios de Manufatura para Componentes Metálicos Estampados.....	57
4.2-Estudo de Caso.....	62
4.2.1-Cronograma e fluxo de informações de DFM no desenvolvimento da carroceria.....	63
4.2.1.1-Escolha do conceito.....	63
4.2.1.2-Desenvolvimento do estilo da carroceria do veículo.....	64
4.2.2-Aplicação de DFM no painel lateral interno.....	69
5-CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS.....	78
Anexo A – Formulário de planejamento de processos estampados.....	81
Anexo B – Resultados da simulação para obtenção do melhor <i>layout</i> do <i>blank</i> na tira da bobina (<i>nesting</i>).....	86
Anexo C – DFM das peças.....	90

LISTA DE FIGURAS

1.1.1	Comparação entre prazos de desenvolvimento de projetos similares no Japão, Europa e Estados Unidos no final da década de 80 e início da década de 90.....	02
2.1.1	Ilustração da representatividade de cada grupo de despesa no custo do produto.....	07
2.1.2	Cronograma da Engenharia Convencional vs. Engenharia Simultânea anos 90.....	08
2.1.3	Ilustração do fluxo de informação entre os setores na engenharia convencional.....	09
2.2.1	Curvas de custo e nível de influência durante o projeto.....	12
2.3.1	Cronograma de projeto reduzido com o uso de DFMA.....	13
2.3.2	Exemplo de fluxograma de engenharia simultânea com o emprego de DFMA.....	14
2.3.3	Exemplos de aplicação de DFA na indústria automobilística	15
2.4.1	Ciclo de produção e consumo.....	17
2.4.2	Organização sistemática do inventário do ciclo de vida	19
2.4.3	Ciclo de material e impacto do automóvel.....	21
2.4.4	Fases do LCA (<i>Life Cycle Analysis</i>).....	22
2.4.5	Determinação do ponto ótimo para o planejamento de reciclagem e desmontagem do produto.....	27
2.4.6	Linha típica de desmontagem de carro.....	28
2.4.7	Partes removíveis e “esqueleto” de reforços do carro.....	28
2.4.8	Layout de um projeto da Nissan de desmontagem de carro.....	29
2.4.9	Componentes do carro provenientes da desmontagem.....	30
2.4.10	Composição de materiais dos veículos.....	31
3.1.1	Componentes metálicos estampados em um automóvel.....	33
3.1.2	Linhas de prensa mecânica de alta capacidade de estampagem.....	35

3.2.1	Ilustração dos processos de manufatura.....	36
3.2.2	Técnicas de processos aplicadas na conformação de chapas.....	37
3.2.3	Processos de fabricação.....	37
3.2.4	Processos de produção técnica de divisão complementar ao processo de conformação	38
3.2.5	Ilustração das duas principais técnicas de divisão.....	38
3.2.6	União por conformação.....	39
3.2.7	Combinação de embutimento profundo e estiramento através de estampagem para processo de chapa de aço.....	40
3.2.8	Estiramento através de estampagem.....	40
3.2.9	Embutimento profundo.....	41
3.2.10	Efeito de <i>springback</i> no flange.....	41
3.3.1	Fardo de chapas de aços (<i>blank</i> retangular).....	42
3.3.2	Figuras de <i>blanks</i> trapezoidais (os três primeiros conjuntos) e <i>blank</i> figurado da porta (último conjunto).....	43
3.4.1	Foto do alojamento do estepe após a primeira operação de repuxo.....	44
3.4.2	Ilustração superior e inferior: Ferramenta de dupla ação e simples ação respectivamente.....	45
3.4.3	Da esquerda para a direita: Sequência de funcionamento de componentes de ferramentas de dupla ação e simples ação respectivamente.....	46
3.4.4	Anel ou sujeitador e matriz da ferramenta de repuxo respectivamente	47
3.4.5	Layout e funcionamento de uma ferramenta hidro mecânica de repuxo profundo.....	47
3.4.6	Operações de puncionamento, recalque e flangeamento.....	49
3.4.7	As fases do processo de blanking.....	50
3.5.1	Corte transversal da prensa e ferramenta de dupla ação e simples ação respectivamente.....	52

3.5.2	Transferência de peças por mão mecânicas e esteiras, por robôs em prensas mecânicas, por barras com pinças em prensas transfer tri axis e por barras com ventosas em prensas crossbar.....	53
3.5.3	Shear Line e Blanking Line respectivamente.....	54
3.6.1	Conformação do reservatório de óleo em cada operação.....	55
3.6.2	Cronograma do projeto de painéis de automóveis.....	56
4.1.1	Ilustração da profundidade de repuxo na peça.....	58
4.1.2	Dimensionamento estimativo do blank.....	59
4.1.3	Tipos de flanges.....	60
4.2.1	DFM na fase conceitual do veículo.....	64
4.2.2	Remoção do flange indicado, região de referência (benchmarking) e mudança do estilo do veículo.....	66
4.2.3	Fluxo de DFM no desenvolvimento do projeto do painel.....	68
4.2.4	Da esquerda para a direita: Projeto anterior e posterior, após DFM.....	70
4.2.5	Planejamento preliminar de processo.....	70
4.2.6	Simulação incremental do painel mostrando rugas em violeta e rachaduras em vermelho.....	71
4.2.7	Blank preliminarmente determinado e o pela simulação one-step e análise de nesting (contorno azul).....	72
4.2.8	Pior e melhor referência de engineered scrap.....	73
4.2.9	Comparação de engineered scrap entre o projeto anterior e atual.....	73
4.2.12	Planejamento de uma das operações da peça.....	74

LISTA DE TABELAS

2.1	Conteúdo ferroso reciclável em veículo padrão	32
-----	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DFM - *Design For Manufacturability* (Projeto orientado para Manufaturabilidade)

DFA - *Design for Assembly* (Projeto orientado para Montagem)

DFS - *Design for Serviceability* (Projeto orientado para Serviços)

DFR - *Design for Recycleability* (Projeto orientado para Reciclagem)

DFSS - *Design for Six Sigma* (Projeto orientado para Seis-Sigma)

DFQ - *Design for Quality* (Projeto orientado para Qualidade)

DFE - *Design for Enviroment* (Projeto orientado para o Meio-Ambiente)

DFD - *Design for Disassembly* (Projeto orientado para Desmontagem)

DFX - *Design for X*

LCA - *Life Cicle Assessment/ Analysis* (Avaliação do Ciclo de Vida do Produto)

LCI - *Life Cycle Inventory* (Inventário do Ciclo de Vida)

DIN – *Deutsches Institut für Normung* (Instituto alemão de Normalização)

UM – Unidade Monetária

CAE - *Computer Aided Engineering* (Tecnologia de computação aplicada à Engenharia)

CAD - *Computer Aided Design* (Tecnologia de computação aplicada ao Projeto)

LISTA DE SÍMBOLOS

S_0	Espessura inicial da chapa	
S_1	Espessura final da chapa	
S	Espessura da chapa	
α_1	Ângulo do flange na ferramenta	[°]
α_2	Ângulo do flange desejado, conforme projeto	[°]
r_{i1}	Raio interno no flange na ferramenta	[mm]
r_{i2}	Raio interno do flange, conforme projeto	[mm]
F_{SL}	Força exercida pelo martelo interno	
F_{BL}	Força exercida pelo martelo externo	

1-INTRODUÇÃO

1.1–Década de 90: Período de grandes mudanças nos negócios da indústria automobilística mundial

No contexto mundial, no final da década de 80 e o início da década de 90, as indústrias automobilísticas japonesas expandiam e estavam em pleno crescimento, ao contrário das americanas e europeias. O fato é que as empresas japonesas conseguiam fazer lançamentos de novos veículos em tempos menores com boa qualidade e preço competitivos, e a base deste sucesso foi a correta aplicação dos conceitos de gerenciamento total da qualidade e engenharia simultânea e suas respectivas ferramentas de apoio (HARTLEY, 1998), e a inovação nos conceitos produtivos e logísticos (MCLACHLIN, 1997; AGUIAR, 2001).

Em busca de recuperação do espaço perdido dentro do mercado interno e mundial, as indústrias automobilísticas americanas e europeias começaram a se mexer e reestruturar os seus conceitos de projeto, produção e qualidade muitas das quais se usando os fundamentos e ferramentas japonesas como, por exemplo, os métodos de Taguchi e QFD (Desdobramento da Função de Qualidade) para a qualidade (HARTLEY, 1998) e JIT para a produção e logística (MCLACHLIN, 1997; AGUIAR, 2001).

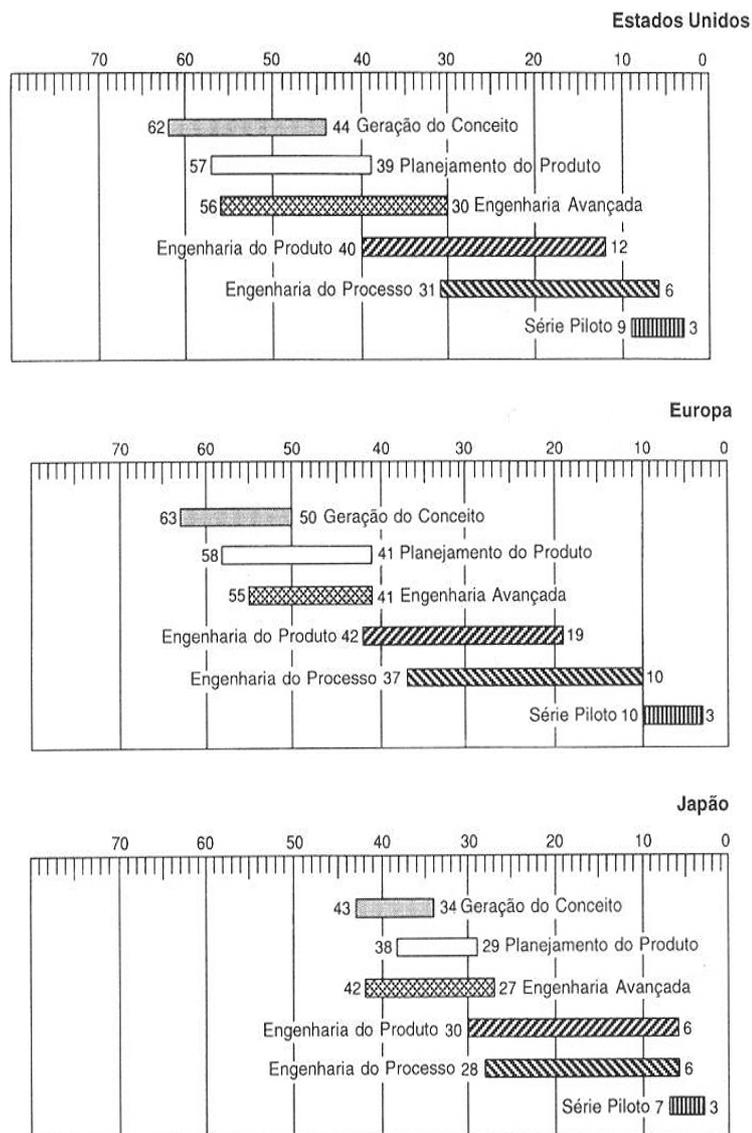


Figura 1.1.1 - Comparação entre os prazos de desenvolvimento de projetos similares no Japão, Europa e Estados Unidos no final da década de 80 e início de 90 (HARTLEY, 1998).

Nesta mesma época, o conceito de globalização de produtos já estava em prática. Além das maiores montadoras de veículos mundiais buscarem novos mercados para seus produtos, o barateamento dos serviços de logística e distribuição, aliada ao vertiginoso crescimento na tecnologia de informação, proporcionaram a exequibilidade de produzir veículos com padrões globais em regiões que oferecessem benefícios fiscais, mão-de-obra barata e especializada, e

razoável infra-estrutura. Outro fenômeno proporcionado pela globalização foi as mega-fusões da indústria automobilística em que gigantes do setor uniram-se, ou adquiriram as ações de outras empresas igualmente sólidas, mas que concorrem com vantagem em alguns segmentos, para daí extrair uma parceria produtiva tanto em termos de vendas globais como em desenvolvimento de novos produtos (DI SERIO, 2000; DA MOTTA, 2001).

1.2–Novo rumo para a indústria automobilística brasileira

A globalização e a implantação da política brasileira de abertura comercial no início da década de 90 foram processos econômicos e políticos que influíram decisivamente na grande transformação ocorrida na indústria automobilística nestes últimos tempos. Os veículos importados com preços acessíveis proporcionaram ao consumidor brasileiro, uma nova visão de carro em relação à qualidade e o que ele poderia ter em tecnologia, estilo e conforto. Aliado a este fato, a criação do bloco econômico Mercosul (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai) ofereceu uma grande oportunidade de negócio para as grandes empresas automobilísticas mundiais em comercializar veículos nestes países, além de poderem ser pólos fabricantes e exportadores das denominadas plataformas mundiais (DI SERIO, 2000; DA MOTTA, 2001). Desta maneira, empresas montadoras mundiais vieram montar estruturas fabris e de negócios na Argentina e principalmente no Brasil - como a Toyota, Honda, Mistubishi, Renault, Citroën-Peugeot, Audi, Mercedes-Benz e Chrysler – acirrando a competição com as empresas já estabelecidas e dominantes no mercado

brasileiro naquela época - Volkswagen, General Motors, Fiat e Ford (DA MOTTA, 2001; AGUIAR, 2001).

Competição acirrada pelo mercado interno, estrutura para poder abrigar projetos e produção de veículos para distribuição mundial, já não eram experiências novas para estas montadoras, conforme citado anteriormente. Então, para que houvesse um rápido desenvolvimento do veículo, desde a sua concepção até o seu lançamento, dentro do orçamento estipulado, qualidade acima de seus competidores e sintonia com as novas tendências mundiais, a aplicação dos fundamentos de engenharia simultânea foi fundamental para as montadoras instaladas no Brasil.

Logicamente que, na esteira da transformação do modelo industrial automotivo, as empresas de fabricação de componentes veiculares também tiveram que se adaptar aos novos tempos. Silva (2000), relata muito bem sobre a ameaça da concorrência global no setor das forjarias, afetando diretamente as industriais locais, preços competitivos e altíssima qualidade do produto são requisitos obrigatórios para poder fazer frente às empresas internacionais.

1.3–A estamparia no processo de modernização e competitividade

No caso da fabricação de componentes estampados, o tempo de desenvolvimento completo do projeto das ferramentas de estampagem de peças metálicas da carroceria é longo dentro de um cronograma do projeto de um veículo. Então, o emprego dos conceitos da engenharia simultânea no projeto de peças estampadas é extremamente necessário para se atingir os objetivos programados para o projeto. Dentre as iniciativas de engenharia simultânea, o *Design for*

Manufacturability (DFM) é o que se destaca no tocante do seu emprego prático e de sucesso dentro do processo de desenvolvimento de projetos de painéis metálicos estampados da carroceria de veículos.

1.4–Objetivo do trabalho

O principal enfoque deste trabalho será sobre o *Design for Manufacturability* (DFM) e sobre o sucesso de seu emprego no desenvolvimento de projetos de painéis metálicos estampados da carroceria de veículos, no sentido de redução no prazo de desenvolvimento de projeto, em investimentos de ferramental e no custo estrutural da estamparia. Conceitos principais de *Design for X* (DFX) voltados para o meio ambiente no desenvolvimento de projetos de veículos também serão comentados.

2-DFM/A & DFX - FERRAMENTAS DE APOIO DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA

2.1-Introdução à Engenharia Simultânea

Segundo Chiusoli e De Toledo (2000), há várias definições de engenharia simultânea por vários autores. De um modo geral, a proposta principal da engenharia simultânea é o desenvolvimento do produto no menor prazo possível através da execução temporal das diversas fases das atividades de engenharia em paralelo, atendendo todos os requisitos exigidos por todos os elementos do ciclo de vida de um produto.

O projeto do produto influencia, mais do que qualquer outro fator, o custo de produzir um produto, como indicado na figura 1. Durante o início da década de 80, pesquisadores concluíram que, usando-se a contabilidade tradicional de custo, o custo do processo de projeto de um produto automotivo representa, aproximadamente, 5% do total. Eles também concluíram que o projeto representa cerca de 70% do custo do produto, enquanto que o material, custos diretos e indiretos representam 30% do custo. A partir da perspectiva da manufatura, menos do que 30% do custo do produto podem ser afetados por iniciativas de melhorias, partindo-se do ponto que o produto já está definido. Embora menos facilmente quantificada, a robustez do projeto influencia fortemente a qualidade do produto. Portanto, o projeto do produto exerce uma enorme influência na competitividade da empresa principalmente em qualidade e custo (BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 1994, HARTLEY, 1998).



Figura 2.1.1 – Ilustração da representatividade de cada grupo de despesa no custo do produto (BOOTHROYD; DEWHURST E KNIGHT, 1994).

Segundo Kaminski (2000), o projetista, além de projetar para o consumidor, deve atender os vários requisitos que vem de diferentes setores, como, por exemplo, atender o fabricante que exige facilidade de fabricação e que necessite menos recursos para sua implantação; o consumidor que deseja aparência, funcionalidade, durabilidade, confiabilidade, etc; o distribuidor que necessita de facilidade de transporte e armazenamento, etc; o recuperador que quer facilidade de recuperar os componentes e materiais reutilizáveis; além de tudo isso, atender a sociedade como um todo que deseja produtos que não degradem o meio ambiente.

Desta maneira, para atender todos os requisitos e chegar a este nível de excelência em desenvolvimento do projeto voltado às várias fases de vida do produto, equipes multidisciplinares com uma organização multifuncional deverão ser implementados. O fato é que a participação de várias áreas desde o início do desenvolvimento do projeto do produto contrasta totalmente com a idéia da

engenharia convencional. As figuras 2.1.2 e 2.1.3 ilustram de uma forma clara, o conceito de engenharia simultânea e convencional. A figura 2.2 compara o quadro temporal em função das atividades das engenharias convencional e simultânea e a figura 2.3 mostra uma ilustrativa do fluxo do processo de uma engenharia convencional em que os dados e informações são passadas “por cima do muro” sem nenhum *feedback* dos resultados.

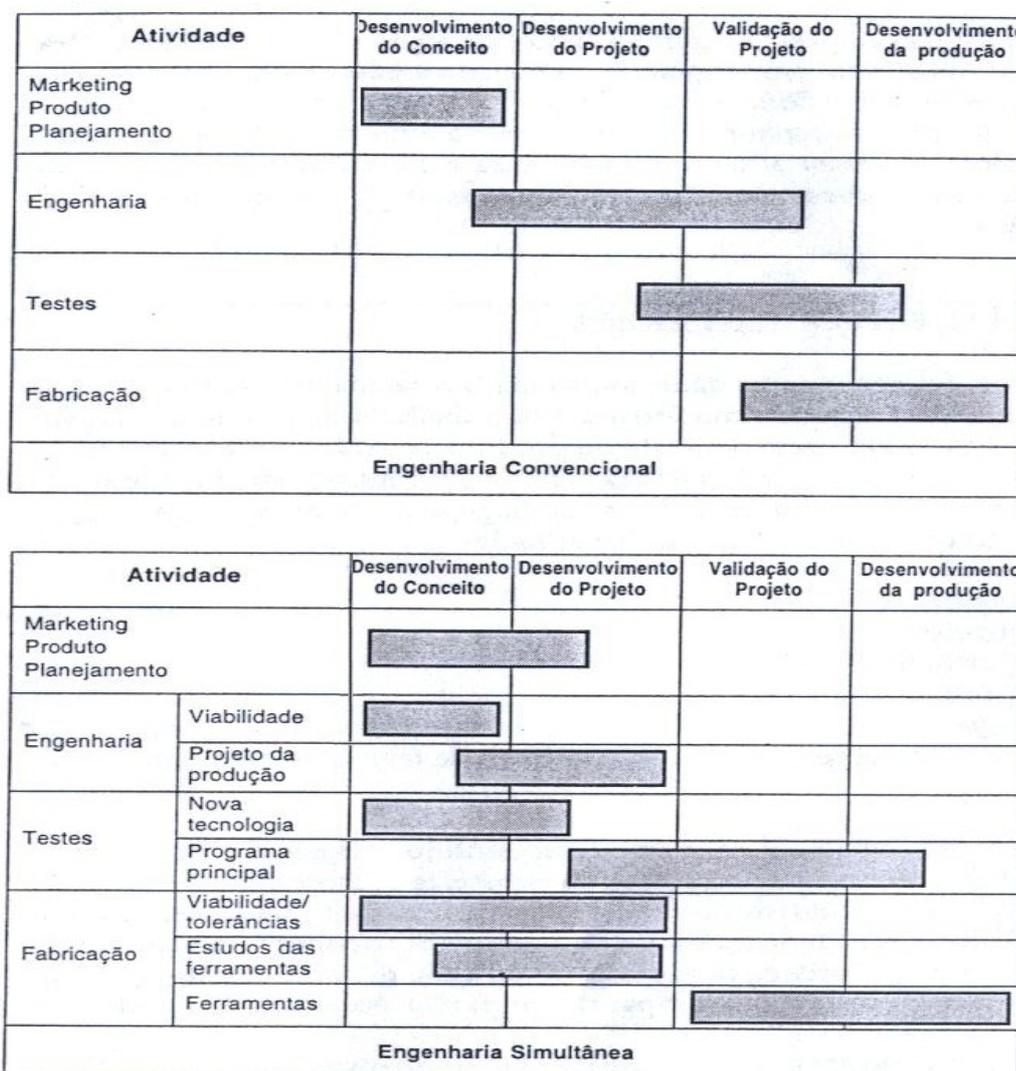


Figura 2.1.2 – Cronogramas da Engenharia Convencional vs Engenharia Simultânea – anos 90 (HARTLEY, 1998).

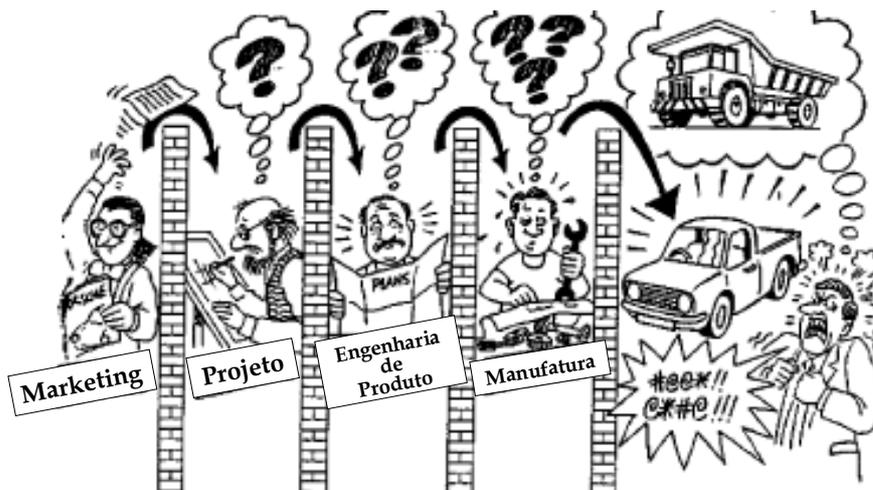


Figura 2.1.3 – Ilustração do fluxo de informação entre os setores na engenharia convencional (HOWARD E LEWIS, 2002).

2.2-DFM (*Design For Manufacturability*)

DFM (*Design for Manufacturability*) é um conjunto de métodos e ferramentas que suportam a engenharia simultânea, e que pode ser interpretado como uma estrutura de processo de engenharia simultânea e ferramentas analíticas que proporciona aos grupos multidisciplinares de desenvolvimento de produto e processo condições de projetar um produto que seja manufaturado adequadamente. Através da utilização dos conceitos do DFM, projetistas e engenheiros atingem seu principal objetivo: satisfazer as exigências do cliente em termos de funcionalidade, performance, estilo e qualidade a um custo baixo. A metodologia do DFM é aplicada em projetos de veículos, subsistemas, componentes, máquinas, ferramentas e controles.

Coordenadores do projeto estabelecem as relações funcionais entre as organizações através da identificação das interfaces entre o produto e a manufatura, estas relações ajudam no estabelecimento dos representantes para participarem dos

grupos de projeto e também como elos de rede de comunicação para as matrizes funcionais. Grupos paralelos do projeto trocam informações constantemente para se chegar em soluções viáveis e acelerar o aprendizado em áreas que são fora do escopo de trabalho. A equipe de desenvolvimento do produto e a rede organizacional propiciam comunicação e troca de informações e, assim, conseqüentemente promovendo a engenharia simultânea.

Uma metodologia estruturada em utilizar o DFM ajuda a equipe de desenvolvimento do produto a identificar e avaliar alternativas e escolher as soluções mais viáveis. O uso de uma metodologia estruturada promove disciplina no processo do projeto e produz resultados consistentes. Integrado em todo o percurso do processo do projeto, o DFM assiste projetistas e engenheiros a identificarem as exigências do produto e do processo do projeto aliados ao custo e qualidade.

Ferramentas analíticas predizem o quanto que o projeto está de acordo com os requerimentos e se alcançarão os objetivos, também auxiliam os integrantes da equipe de desenvolvimento do produto a avaliarem os impactos que as decisões tomadas podem causar em custo, qualidade, capacidade de produção, ergonomia do operador, tudo isso baseado em informações de projeto a nível conceitual.

Cada ferramenta de DFM focaliza em uma especialidade de manufatura ou uma família de processos de manufatura. DFM-*Assembly* (DFA) ou *Design for Assembly* é indicado para arquitetura e montagem do produto. Outras ferramentas de DFM (por exemplo, DFM - Estampados de chapa metálica, DFM - Molde de injeção, DFM - Usinagem) são indicadas para fabricação de componentes. As equipes de desenvolvimento de trabalho podem usar variantes das ferramentas básicas de

DFM para produtos de alto ou baixo volume, simples ou complexo e grande ou pequeno.

Serviços, desmontagem, reciclagem ou meio ambiente, também tem as suas versões respectivamente: *Design for Serviceability* (Projeto orientado para Serviços), *Disassembly* (Projeto orientado para Desmontagem), *Recycleability* (Projeto orientado para Reciclagem), *Environment* (Projeto orientado para o Meio Ambiente), e que podem ser utilizadas com o DFM, e como tal, são mais eficientes se aplicados na fase conceitual do projeto. Pelo motivo que o projeto deva atender vários e diferentes tipos de requerimentos, *workshops* do projeto são realizados, onde todos estes requerimentos simultâneos são colocados em discussão para que se reduza o risco de acontecerem futuros problemas.

As ferramentas de DFM são efetivas quando as equipes de desenvolvimento de trabalho as empregam na fase conceitual do projeto, a figura 2.2.1 ilustra o grau de influência dentro do cronograma de desenvolvimento de um projeto, bem como, o custo das suas mudanças. Mas o DFM pode ser uma valiosa ferramenta para os produtos existentes. Em se tratando de um produto novo, através do DFM, o grupo de trabalho pode evitar decisões ineficientes e prematuras que no final acarretam custos desnecessários, comprometimento da qualidade e lançamento do produto além do prazo. Em se tratando de um produto já existente, o grupo de melhoria contínua pode identificar potenciais de mudança no produto e manufatura que resultam em redução de custo e melhoria na qualidade.

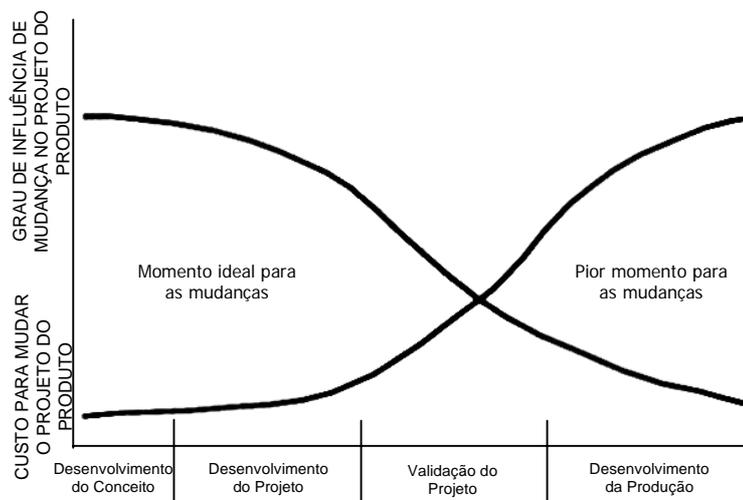


Figura 2.2.1 – Curvas de custo e nível de influência durante o projeto.

Resumindo, os benefícios na utilização do DFM, são:

- Fabricação e montagem mais simplificadas;
- Melhor ergonomia para os operadores;
- Qualidade consistente e melhorada;
- Complexidade reduzida;
- Redução nos re-trabalhos, perdas e custos de garantia;
- - Massa reduzida;
- Redução no tempo de logística;
- Redução do tempo de execução do projeto;
- Redução dos problemas de produção;
- Redução no custo do produto e investimento.

2.3-DFA (*Design For Assembly*)

Como comentado anteriormente, o DFA (*Design for Assembly*) é uma especialidade do DFM, e é um método estruturado de melhoria dos componentes do produto e do seu processo de montagem. Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (1994), as duas técnicas DFM e DFA são aplicações essenciais no desenvolvimento do projeto, tanto que é definido como DFMA (*Design for Manufacturability and Assembly*).

Boothroyd, Dewhurst e Knight (1994) ilustram através das figuras 2.3.1 e 2.3.2, o ganho no prazo do projeto e propõem um fluxograma de desenvolvimento de projeto com a aplicação do DFMA.

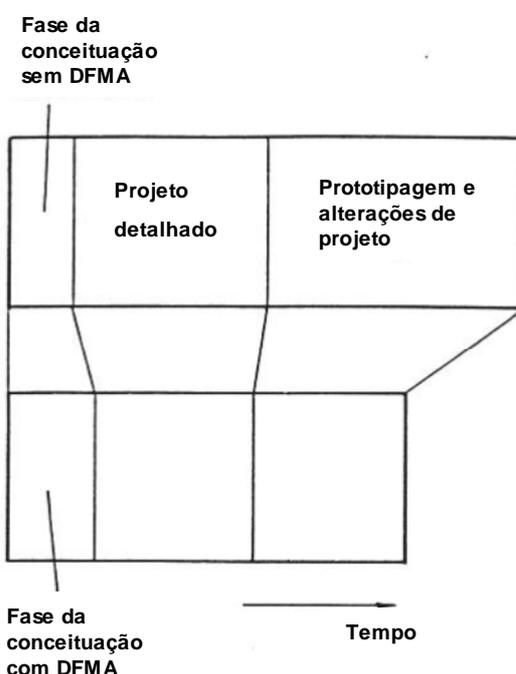


Figura 2.3.1 – Cronograma de projeto reduzido com o uso de DFMA (BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 1994).

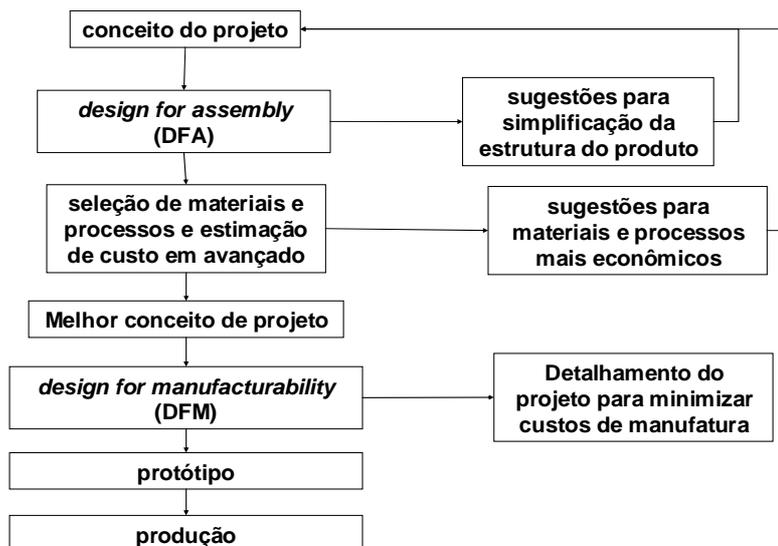


Figura 2.3.2 – Exemplo de fluxograma de engenharia simultânea com o emprego de DFMA (BOOTHROYD; DEWHURST; KNIGHT, 1994).

De acordo com Boothroyd, Dewhurst e Knight (1994), os seguintes critérios são considerados em um estudo de DFA:

- Reduzir e otimizar o número e o tipo de componentes;
- Utilizar o encaixe ideal entre os componentes;
- Utilizar o conceito de montagem por camadas (de cima p/ baixo, de frente p/ trás, etc). Montagem à favor da gravidade.
- Minimizar os desvios de orientações dos componentes no momento da montagem;
- Eliminar a necessidade de ajustes;
- Projetar componentes de modo que sejam auto-encaixe ou fáceis de encaixar;
- Assegurar fácil acesso e visualização para montagem;
- Facilitar o manuseio dos componentes e assegurar segurança;
- Projetar componentes que não gerem dúvidas de montagem;
- Minimizar o número de ferramentas para o processo.

A seguir há três figuras ilustrativas de resultados finais da aplicação de DFA na indústria automobilística:

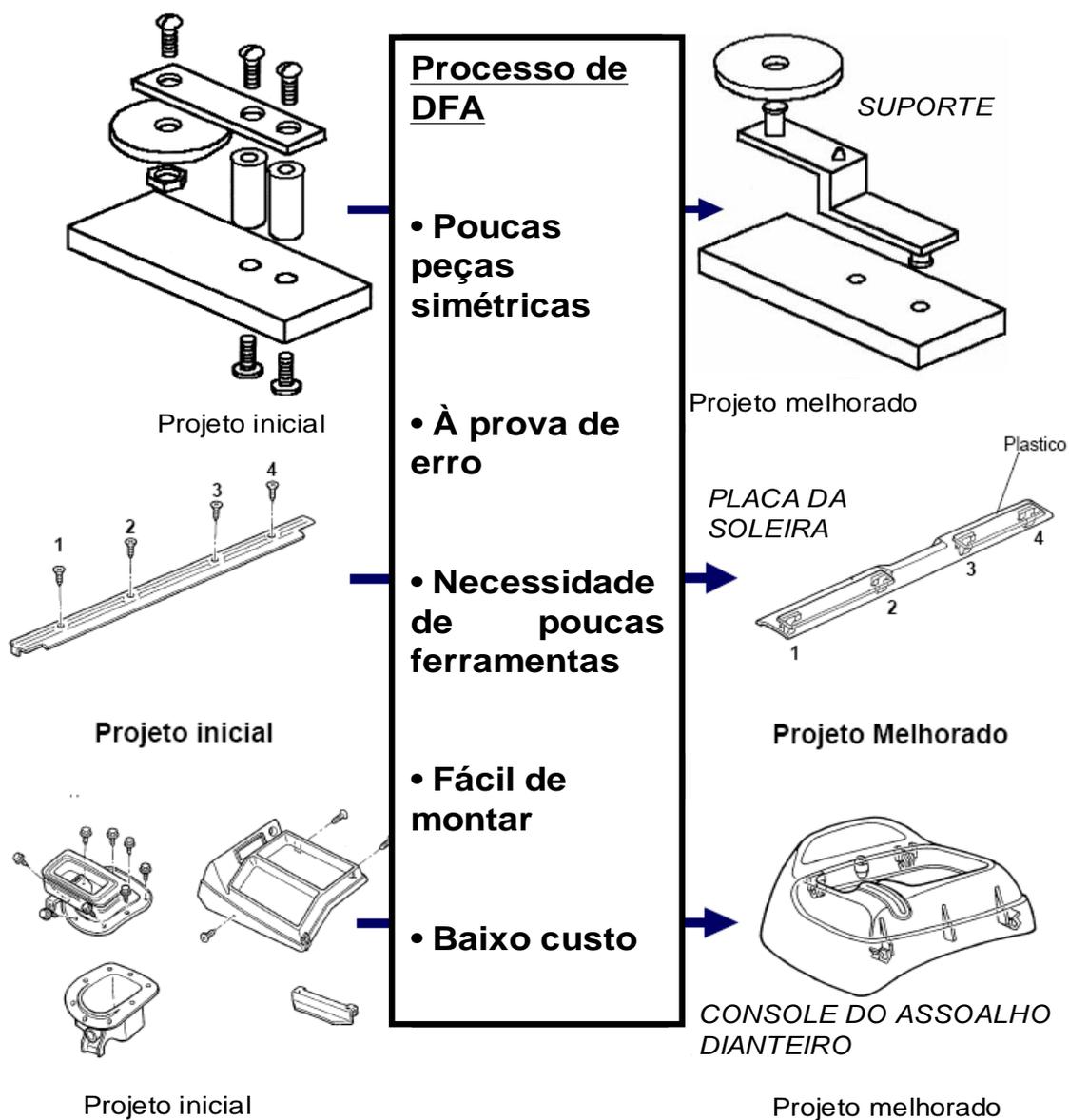


Figura 2.3.3 – Exemplos de aplicação de DFA na indústria automobilística.

2.4-DFX

A implementação do *Design for Assembly* (DFA) e *Design For Manufacturability* (DFM) trouxe enormes benefícios, como por exemplo, simplificação do produto, redução do custo de fabricação e montagem, melhoria da qualidade e redução do prazo de desenvolvimento e lançamento do produto. Mais recentemente, esforço para reduzir o custo total do ciclo de vida do produto através da inovação do projeto está se tornando uma parte essencial da indústria manufatureira atual (KUO; HUANG; ZHANG, 2001).

Estudos de desenvolvimento de projeto voltados a atender requisitos de meio ambiente, reciclagem, facilidade de desmontagem, ciclo de vida, seis sigma, etc, deram origem ao termo *Design for X*, para ter um sentido mais geral. Assim, ferramentas conceituais elaboradas por pesquisadores como *Design for Serviceability* (DFS), *Design for Recycleability* (DFR), *Design for Six Sigma* (DFSS), *Design for Quality* (DFQ), *Design for Environment* (DFE), *Design for Disassembly* (DFD), etc, estão contemplados no *Design for X* (DFX) (KUO; HUANG; ZHANG, 2001; SCHMIDT, 1998).

2.4.1-Ferramentas de projeto voltadas para o meio ambiente

A obrigatoriedade de atender legislações ambientais, preocupação com a possibilidade de escassez de matéria-prima, manter boa imagem de empresa ecologicamente correta diante do público consumidor, etc, são fatores que fazem as empresas estudarem, planejarem métodos e criarem ferramentas para que os

requerimentos ambientais possam influenciar o projeto do produto e haja viabilidade econômica para sua implantação. Na Europa, por exemplo, a meta para a indústria automobilística até 2015 é fabricar veículos com 95% de seus componentes sejam recicláveis (HARRISON; BLOUNT, 2000).

2.4.1.1-Life Cycle Assessment/Analysis

A avaliação do ciclo de vida do produto, *Life Cycle Assessment* ou *Analysis* (LCA), é uma metodologia de comparação e escolha pelo mínimo impacto ambiental entre atividades, serviços e produtos durante o período de suas existências.

Em Kaminski (2000), há uma ilustração (figura 2.4.1) que mostra o ciclo básico de fluxo de material de um produto e que poderá ser utilizado como exemplo de ciclo de vida de um produto genérico, fluxo tal que está baseado em quatro grandes fases: produção, distribuição, consumo e recuperação.

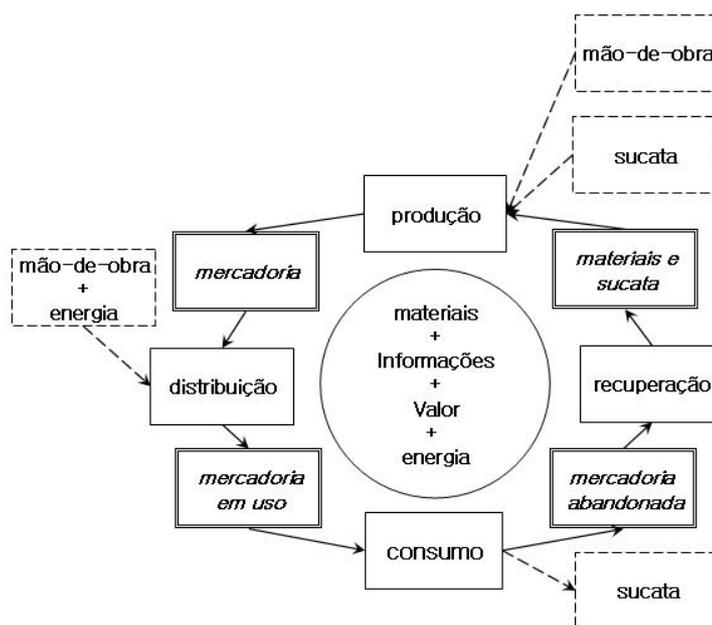


Figura 2.4.1 – Ciclo de produção e consumo (KAMINSKI, 2000)

Segundo a SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (KUO; HUANG; ZHANG, 2001):

A avaliação do ciclo de vida é um processo cujo objetivo é avaliar as cargas ambientais associadas à um produto, processo ou atividade através da identificação e quantificação do uso de energia e matéria e de emissões ambientais, o impacto do uso da energia e material e das emissões e, finalmente, a determinação de oportunidades de melhorias ambientais. A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, envolvendo extração e processamento de matérias-primas; fabricação, transporte, e distribuição; uso/reuso/manutenção; reciclagem; e disposição final.

A definição anterior abre discussão para variadas interpretações, no entanto, há um consenso no que se refere às fases de avaliação do ciclo de vida: inventário, análise do impacto e melhoria ou ganho ambiental, a seguir (ADDOUCHE, 2003):

O inventário no ciclo de vida - *Life Cycle Inventory* (LCI): trata-se da fase de construção de uma base de dados onde são quantificados a energia, as matérias primas, as emissões no ar e na água, os desperdícios sólidos, etc, ao longo de todo o ciclo de vida do produto em análise (ADDOUCHE, 2003). Metodologia que teve início nos anos 60, com enfoque no consumo de energia, sendo o mais conhecido e desenvolvido nas fases da avaliação do ciclo de vida (DUARTE, 1997). Vide figura 2.4.2.

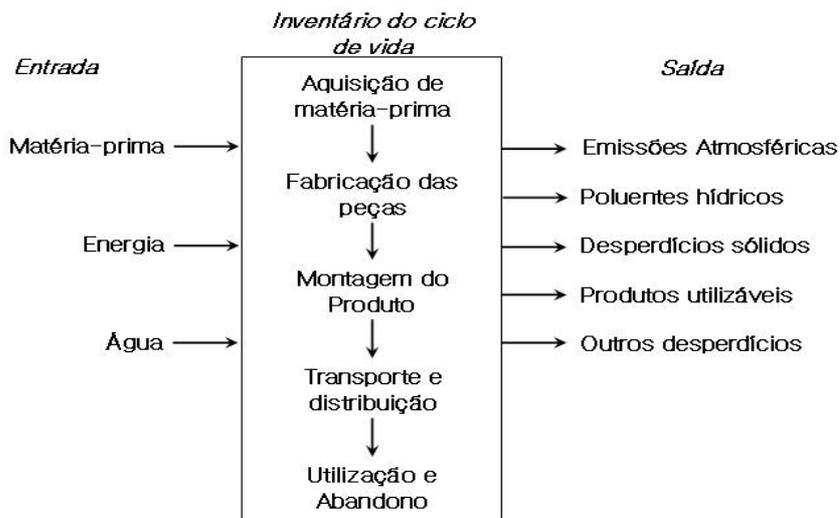


Figura 2.4.2 – Organização Sistemática do Inventário do Ciclo de Vida (ADDOUCHE, 2003).

Avaliação do impacto no ciclo de vida (*Life Cycle Impact Assessment*): É um processo de avaliação dos efeitos ambientais ligados ao produto em estudo. Em princípio, a avaliação deveria considerar, não somente o impacto ecológico e sanitário, mas também o impacto social, cultural e econômico (ADDOUCHE, 2003). Nesta fase há a análise dos resultados do inventário, fazendo uma relação qualitativa das tabelas elaboradas na fase anterior. Embora não exista uma metodologia de consenso geral, nesta fase, executam-se três passos principais: classificação, caracterização e valoração (DUARTE, 1997).

Classificação: determina em que categoria de impacto serão creditadas as entradas e saídas definidas pelo inventário. Por exemplo, as emissões gasosas podem ser consideradas danosas para a camada de ozônio ou responsáveis pela chuva ácida. Um único poluente pode ser classificado em mais categorias, por

exemplo, os compostos NO_x podem causar acidificação e fazer parte da neblina fotoquímica (DUARTE, 1997).

Caracterização: Processo de agregar e quantificar impactos dentro das categorias determinadas na classificação. Tomando-se novamente como exemplo as emissões gasosas, nesta fase, vários gases que contribuam para o efeito estufa seriam agregados e expressos na referência CO_2 , a unidade mais freqüente e conhecida para gases que afetam a camada de ozônio (DUARTE, 1997).

A valoração: Forma subjetiva de comparação das diferentes categorias de impacto. A subjetividade está em função direta dos valores culturais, políticos e/ou éticos, sendo que o grau de importância está relacionado com as necessidades imediatas de um local ou povo, e seus valores (DUARTE, 1997).

Análise da melhoria ou ganho ambiental no ciclo de vida (*Life Cycle Improvement Analysis*): Trata-se de um estudo das oportunidades de reduzir ou atenuar o impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida do produto. É uma análise que deve trazer elementos quantitativos e qualitativos sobre eventuais melhorias (ADDOUCHE, 2003).

A figura ilustrativa 2.4.3 mostra o fluxo de material e impacto ambiental provocado por um veículo durante o seu ciclo de vida.

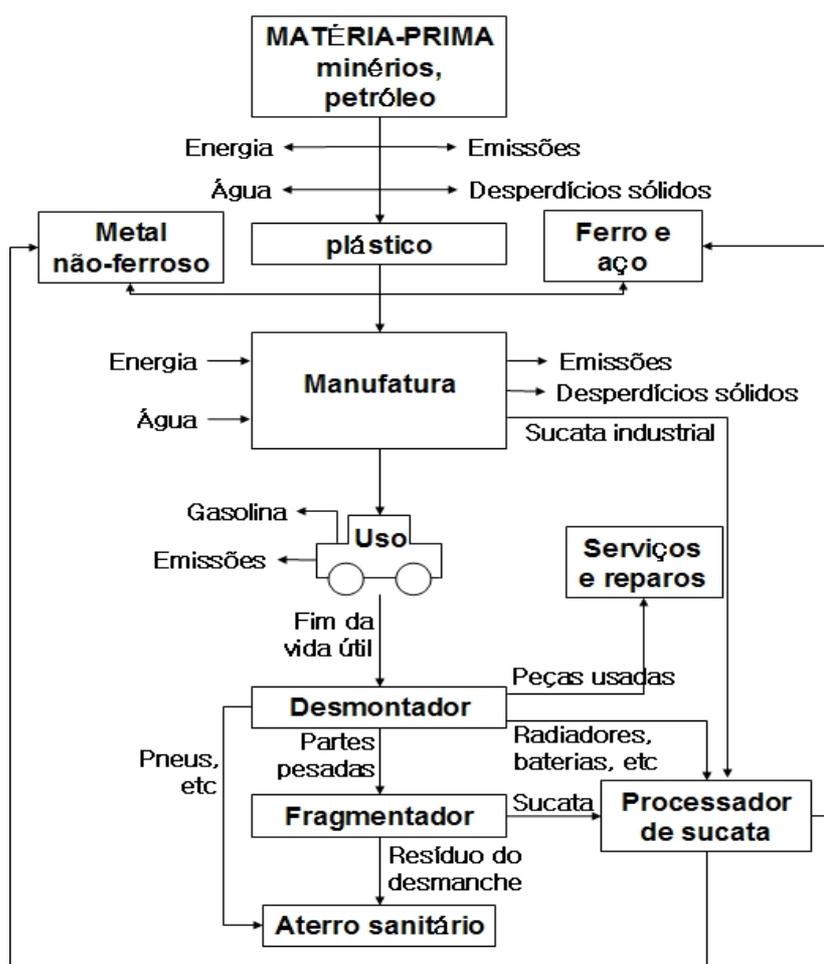


Figura 2.4.3 – Ciclo de material e impacto do automóvel (THURSTON, 1994).

Segundo Duarte (1997), limite ou escopo da avaliação é a definição e proposta do estudo, a determinação da unidade funcional considerada e os procedimentos que assegurem a qualidade dos resultados. Definições do tipo de material ou da forma de processo (onde é o seu início e seu final) são alguns exemplos que o projetista deverá estabelecer.

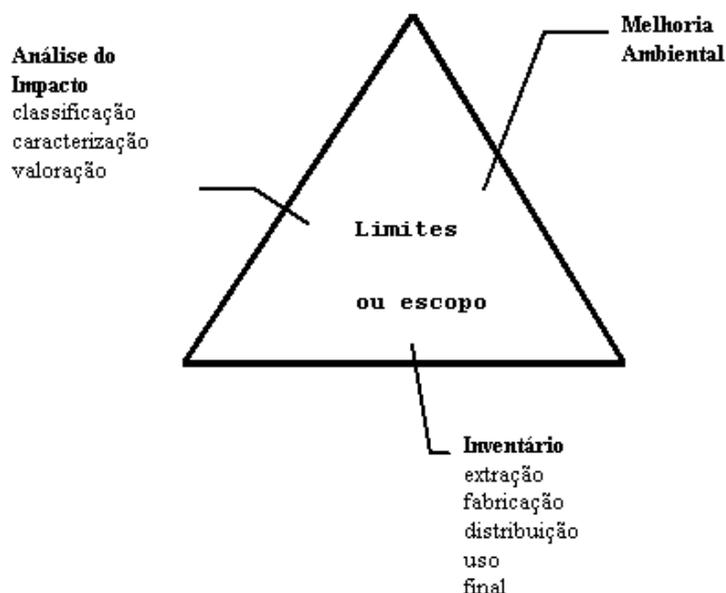


Figura 2.4.4 – Fases do LCA (*Life Cycle Analysis*)

2.4.1.2- DFE (*Design for Environment*)

O *Design for Environment* (DFE) é uma ferramenta da Ecologia Industrial ¹ que leva em consideração todos os aspectos do ambiente em cada etapa do processo do desenvolvimento de um produto. Esforça-se assim em reduzir o tanto quanto possível, o impacto no ambiente deste produto durante o seu ciclo de vida, desde sua fabricação até seu descarte. Isto somente será possível, aliando-se os resultados que são obtidos da análise do ciclo de vida de um produto (LCA) com as experiências profissionais dos engenheiros e projetistas (ADDOUCHE, 2003).

¹ A Ecologia industrial visa reduzir a utilização de recursos naturais por meio da desmaterialização, que é a redução relativa da quantidade de material por unidade de produto e do aumento da circulação de material no sistema antes do descarte final (FRANCISCO JUNIOR; GIANETTI; ALMEIDA, 2003).

Imagina-se facilmente a importância de tal ferramenta quando se sabe que a maioria dos custos de gestão dos produtos em fim de vida é provocada a partir da fase de conceituação, ou seja, no início do desenvolvimento do projeto (ADDOUCHE, 2003).

Segundo Schoech et al. (2000), oposto ao LCA, o DFE integra os aspectos ambientais diretamente no processo interno do projeto do produto. O DFE é uma estrutura metodológica que deve adaptar-se às necessidades específicas da sua aplicação. Assim a ferramenta de DFE para projeto de automóveis não pode ser a mesma ferramenta de DFE para qualquer outro produto.

Conforme Hockerts et al. (1998), em termos gerais, espera-se que o DFE atenda os seguintes critérios:

- Forneça resultados significativos baseados em dados de LCI ² e em descrições simplificadas do produto;
- Seja amigável e não exija conhecimentos específicos em LCA ² dos usuários (Engenharia, Projeto, P&D ou Marketing);
- Promova ambiente favorável para troca de conhecimentos e idéias entre os membros da organização;
- Seja adequado de acordo com a necessidade de cada empresa para que cada uma possa estabelecer metas e resultados;
- Mostre parâmetros indicadores do final de vida do produto.

² LCI - *Life Cycle Inventory* (Inventário do Ciclo de Vida)
LCA - *Life Cycle Assessment/Analysis* (Avaliação do Ciclo de Vida do Produto)

Em Addouche (2003), há uma relação de perguntas e respostas sobre DFE e que são interessantes para o melhor entendimento da ferramenta:

Porque o DFE?

As vantagens de um projeto voltado para o ambiente são:

- A redução dos custos;
- A melhoria do produto;
- A redução das pressões regulamentares;
- A melhoria da imagem de marca;
- A melhoria dos desempenhos ambientais.

Como aplicar o DFE?

A integração do projeto para o ambiente varia de acordo com cada empresa e é realizada baseada em quatro pontos principais:

- A investigação (dentro das diretrizes regulamentares);
- A promoção (dentro dos critérios da política da empresa);
- O acompanhamento do processo de integração (relatórios e gratificações);
- O feedback das informações.

As três principais atividades ou ferramentas que resultam do DFE e que se referem diretamente à valorização do produto no seu final de vida útil. Trata-se:

- O projeto para desmontagem (Design for Disassembly - DFD);
- O projeto para reciclagem (Design for Recycleability - DFR);
- O projeto para re-fabricação.

Atividades cujos objetivos principais são respectivamente:

- O aumento da taxa de valorização facilitando a recuperação de componentes ou de matérias-primas;
- O aumento da capacidade dos materiais serem recicláveis;
- O reuso dos componentes para reduzir o desperdício dos recursos naturais.

2.4.1.3- DFD (*Design for Disassembly*)

Segundo Desai e Mital (2003), no contexto da engenharia, a desmontagem pode ser definida como processo organizado de desmontar um produto sistematicamente montado (conjunto dos componentes). Os produtos podem ser desmontados para permitir a manutenção, facilitar a instalação inicial, o reparo e a modificação em campo ou em uso (*serviceability*) e promover a valorização dos componentes e materiais no fim da sua vida útil como a atividade de reuso, re-manufatura e reciclagem.

Desta forma, o projeto voltado para desmontagem (DFD - *Design for Disassembly*) é condição necessária para que os produtos possam ser economicamente recicláveis. Além disso, conforme visto no parágrafo anterior, torna possível a reutilização e a re-manufatura de forma mais eficiente, prolongando a vida útil dos produtos ou de seus componentes, tornando mais fácil também a manutenção, o que significa menos matéria-prima e gasto de energia, e melhor desempenho quando de uma avaliação de ciclo de vida.

Conforme Desai e Mital (2003), a desmontagem pode ser classificada em dois tipos: não destrutiva e destrutiva esta ultima significa a demolição descontrolada da estrutura do produto. A não destrutiva pode ser classificada em desmontagem total ou seletiva. A primeira classificação pode não ser economicamente viável, pois deve-se considerar as imposições de prazo, fatores econômicos, presença de materiais tóxicos e perigosos, etc. A segunda é a mais adequada, pois a desmontagem é planejada e projetada para que seja feita em subconjuntos pequenos e/ou peças simplesmente.

Segundo Duarte, 1997, os benefícios mais evidentes do DFD são:

- Componentes de maior importância podem ser recuperados;
- Melhor separação dos metais, agora sem contaminação;
- Partes desmontáveis de não metálicos podem ser re-processadas.

O processo de desmontagem também é outro plano que deve ser considerado durante o desenvolvimento do projeto, há necessidade de se fazer um balanço de montar sistemas de processos de desmonte manuais ou automatizados ³. A desmontagem manual é um método dispendioso por estar relacionado aos custos salariais de mão de obra, no entanto, é muito mais flexível, ou seja, eficaz na obtenção de materiais mais "puros", de frações mais rentáveis, taxa de deterioração ou destruição baixa e capacidade de trabalhar com sistemas complexos. No caso de um sistema de processo de desmonte automatizado, há um ganho notável no prazo operacional. Outra situação para ser observada é a raridade em haver um processo de desmonte rentável em casos de alto grau na taxa de desmontagem do produto.

³ Segundo Addouche (2003), um sistema de desmontagem é um sistema de produção cujo objetivo é a recuperação total ou parcial dos componentes de um ou mais produtos manufaturados de acordo com seus respectivos destinos no final da vida útil.

Na figura seguinte há um gráfico mostrando curvas de custo e benefício da reciclagem e custos de desmontagem conforme há aumento da taxa de desmontagem do produto, ilustra também o ponto ótimo para esta situação.

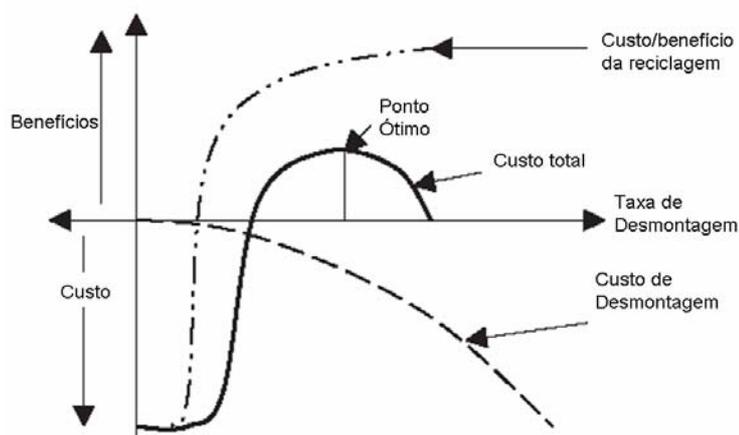


Figura 2.4.5 - Determinação do ponto ótimo para o planejamento da reciclagem e desmontagem do produto (ADOUCHE, 2003).

Em relação à desmontagem dos veículos, nos países da Europa, Estados Unidos e Japão, há linhas para desmontagem de veículos. Os sistemas de reciclagem do automóvel - *Car Recycling System* (CRS) – são linhas projetadas especificamente para este fim. Pode-se ser feita uma analogia de uma linha de montagem de uma montadora, porém dedicada para desmonte, assim os veículos são transportados continuamente em berços (*skids*) e, seqüencialmente, partes da sua estrutura (carroceria, transmissão, motores, painéis internos do motorista, etc) vão sendo desmontadas e retiradas até que, na saída da linha, haja somente a estrutura de reforços metálicos (NAKAMURA; YOKOTA; BATALHA, 2002).

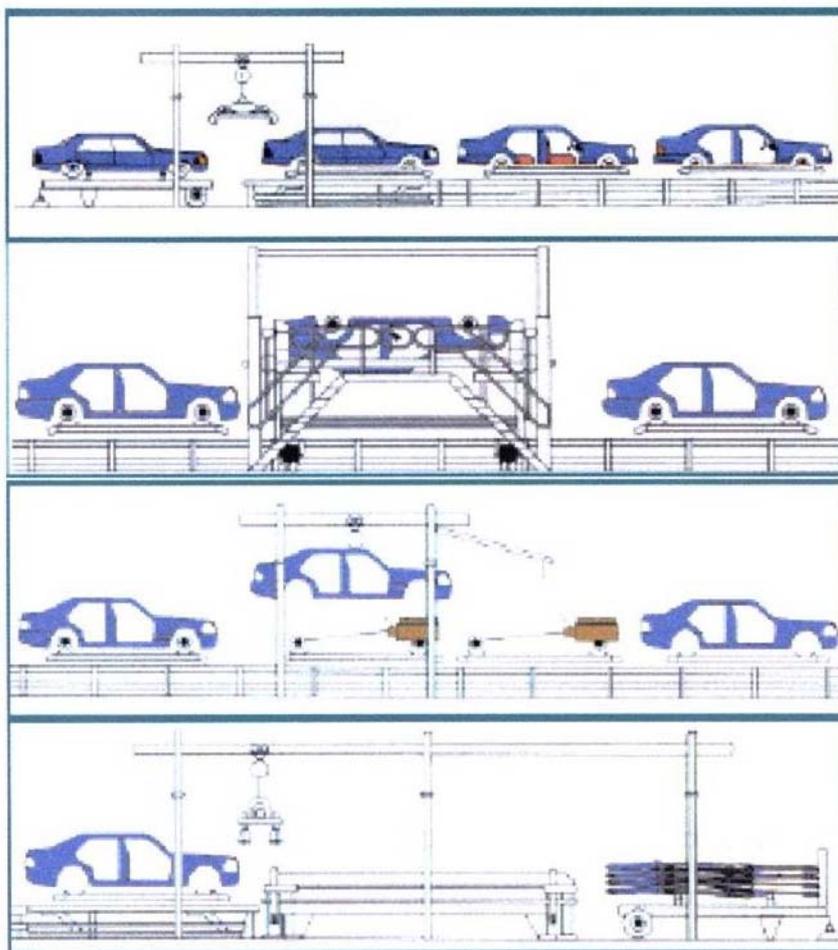


Figura 2.4.6 – Linha típica de desmontagem de carro (NAKAMURA; YOKOTA; BATALHA, 2002).



Figura 2.4.7 – Partes removíveis e “esqueleto” de reforços do carro (NAKAMURA; YOKOTA; BATALHA, 2002).

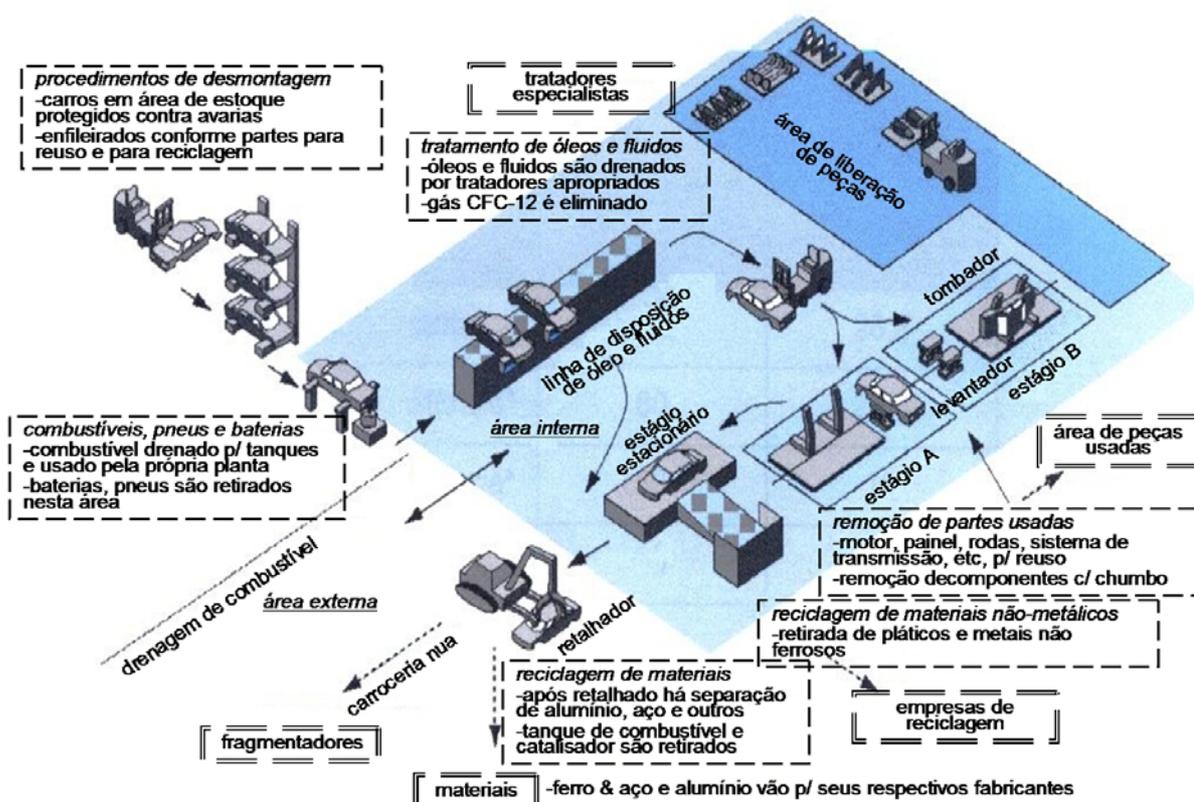


Figura 2.4.8 – Layout de um projeto da Nissan de desmontagem de carro (NAKAMURA; YOKOTA; BATALHA, 2002).

2.4.1.4- DFR (*Design for Recycleability*)

Mediante parágrafos anteriores, pode-se afirmar que o sucesso do projeto para o DFR (*Design for Recycleability*) dependerá muito de um bom resultado do DFD. De uma forma geral, o sucesso do DFR e o DFD estão intimamente relacionados e devem ser aplicados conjuntamente e que fazem parte da metodologia do DFE. Em Schoech et. Al, 2001, O *Design for Recycleability* deve ser aplicado objetivando a reciclagem da matéria-prima do componente, taxa ótima de desmontagem do produto e tratamento adequado do produto no seu final de vida.

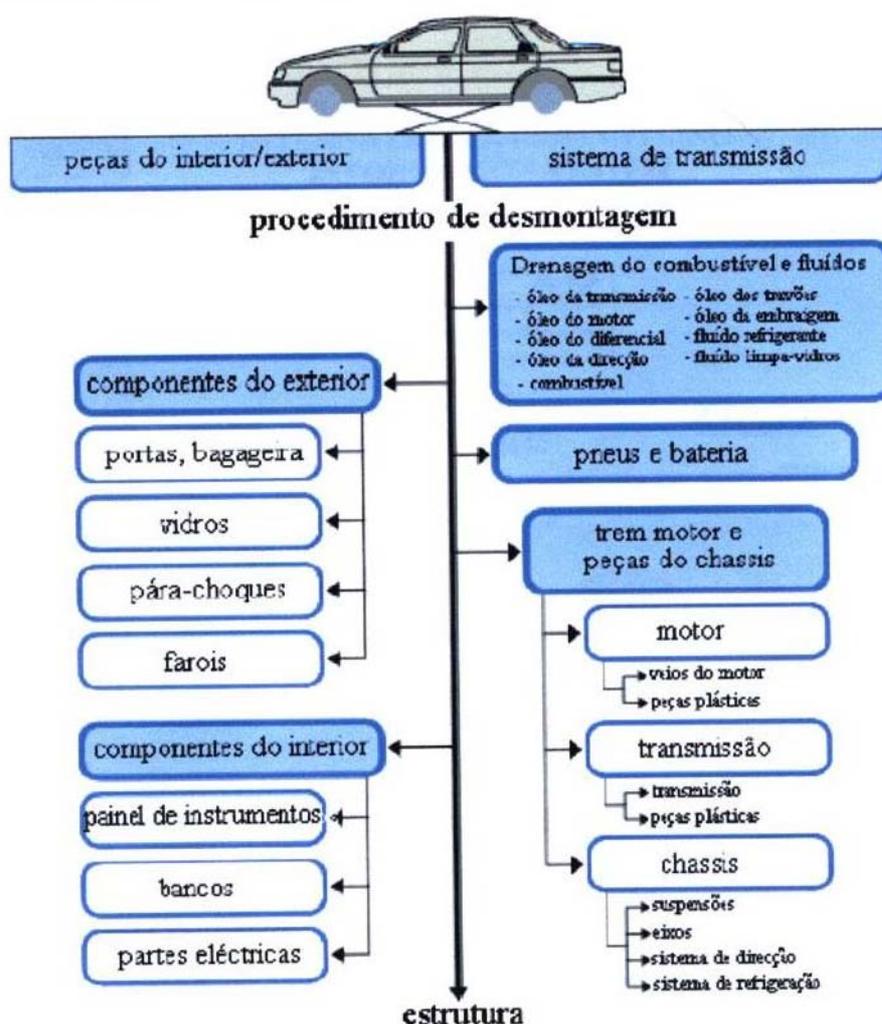


Figura 2.4.9 – Componentes do carro provenientes da desmontagem (NAKAMURA; YOKOTA; BATALHA, 2002).

No cenário europeu, segundo Adouche (2003), A recuperação e reciclagem do aço são atividades que geram rendimentos significativos. Nos países industriais, mais de 70% do aço dos bens de consumo que chegam no final de vida é recuperado totalmente. Somente na França, mais de 18 milhões de toneladas do aço são produzidos por ano. Em 1993, o equivalente a sessenta por cento da produção relativa ao ano (10.3 milhões de toneladas) pôde ser coletado.

A vantagem dos aços quanto à coleta e à triagem é o carácter magnético do material, o que lhe permite ser atraído por imantação. Assim, após compactação e

esmagamento, os fragmentos e resíduos obtidos são valorizados em quase que sua totalidade pela siderurgia e fundições.

Composição Material Veicular

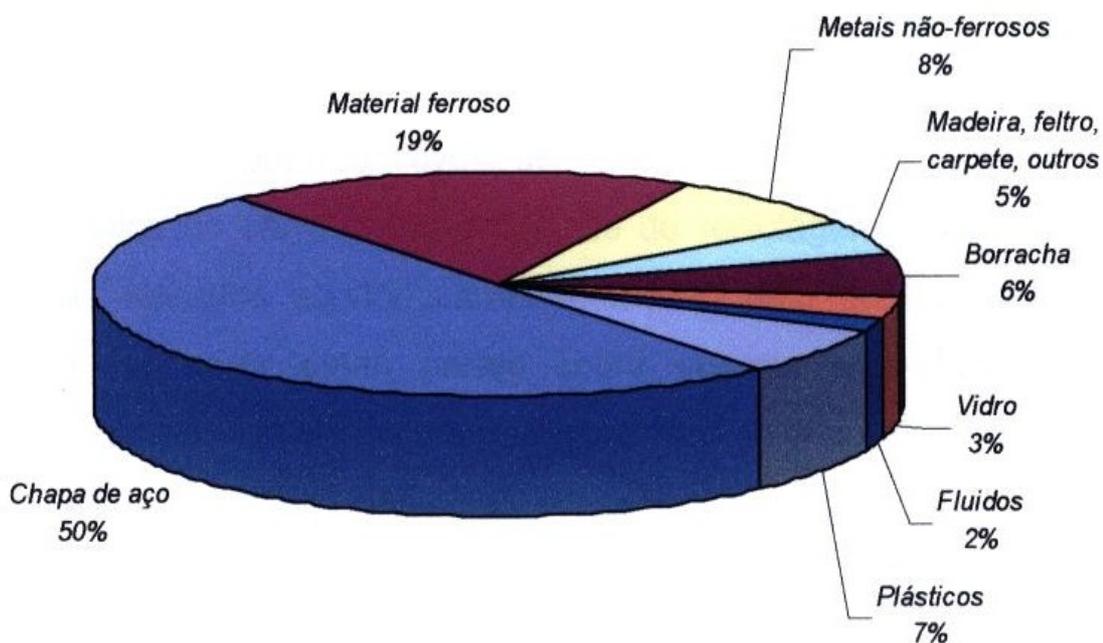


Figura 2.4.10 – Composição de materiais dos veículos (NAKAMURA; YOKOTA; BATALHA, 2002).

Tabela 2.1 – Conteúdo ferroso reciclável em veículo padrão (NAKAMURA; YOKOTA; BATALHA, 2002)

Material	Massa de material ferroso (kg)	Porção Reciclada (%)
Chapas, tiras e barras	630	28,5
Alta e média resistência*	60	28,5
Alta e média resistência*	59	10
Inoxidável	20	100
Outros aços	19	28,5
Ferro	185	75
Total ferroso	973	43
Massa Total do Veículo	1438	

* De acordo com a fonte

3–DESENVOLVIMENTO DE PROJETO E PROCESSO DE PAINÉIS METÁLICOS DA CARROCERIA DO VEÍCULO

3.1-Introdução ao Planejamento de Processo e Produção dos Componentes Estampados de Veículos

O material a ser apresentado adiante estará direcionado para o processo de estampagem de painéis metálicos da carroceria do veículo, especialmente os painéis categorizados de médios a grandes peças estampadas e que, aliados às características do material (tipo, espessura, tratamento superficial, etc) e à forma da peça, implicam em aplicações específicas de processos, modelos de ferramentas e equipamentos para a sua produção.

A ilustração abaixo mostra o conjunto de peças estampadas que se enquadram como componentes cujo projeto e processo serão mencionados neste trabalho. Painel lateral, portas, assoalhos, capô, tampa do porta malas, paralamas, são alguns exemplos.

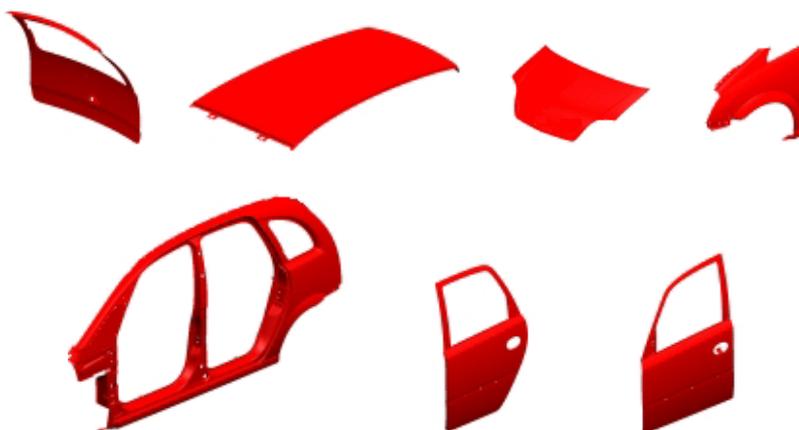


Figura 3.1.1 – Componentes metálicos estampados de um automóvel.

Limitações de equipamentos para conformação da peça, necessidade de planejamento de processos altamente produtivos e baixo custo de projeto, construção e manutenção do ferramental de estampagem e confiabilidade do processo determinam a forma de produção de estampagem de grandes painéis metálicos por uma família de ferramentas. Em uma família de ferramentas, cada ferramenta cumpre sua função, obedecendo aos princípios de processos de conformação e separação (SCHULER, 1998).

Um exemplo típico de planejamento de processo de estampagem de painéis metálicos e que será citado como referência adiante, determina que o fluxo de processo tenha a primeira ferramenta responsável em fazer a conformação total ou parcial da chapa plana ou *blank* na geometria da peça, de acordo com os contornos do punção da ferramenta. Em seguida, outras ferramentas farão as operações restantes para a produção final do componente estampado da carroceria do veículo (recorte, furação, flangeamento, separação, etc...).

Tão importante quanto a produção da peça estampada, a produção da chapa que alimentará a linha de prensas é feita por processos de separação. A técnica de divisão é aplicada em bobinas metálicas que sofrem processos de corte por cisalhamento por facas para formar *blanks* retangulares ou trapezoidais. Há ferramentas que fazem recortes na bobina na forma de figura (vide figura 3.3.1) e que combina processos de conformação de separação (vide capítulo 3.1.5), à esta combinação de processos e técnicas dá-se o nome de *blanking* (SCHULER, 1998).

A ilustração seguinte (figura 3.1.2) apresenta algumas linhas de prensas mecânicas de alta capacidade de energia para produção de peças estampadas de veículos.



Figura 3.1.2 – Linhas de prensas mecânicas de alta capacidade de estampagem.

3.2-Princípios Básicos dos Processos de Conformação de Chapas

3.2.1-Classificação dos processos de manufatura

Conforme descrito em Schuler (1998), baseado na norma técnica alemã, *Deutsch Industrie Norme* (DIN) 8580, a classificação dos processos de manufatura é dividida em 6 grandes grupos, a saber:

- Moldagem primária;
- Conformação de material;
- Separação;
- União;
- Modificação das propriedades do material;
- Revestimento.

O processo de manufatura de conformação de materiais é o processo de interesse neste momento. Conforme definição DIN 8580, apud Schuler (1998), conformação de materiais é quando, tridimensionalmente, há modificação plástica de um corpo, mantendo-se a sua massa e coesão das suas partículas, desta forma,

processo de manufatura para conformação de materiais se baseia na modificação da forma do corpo com geometria controlada e sem remoção de partículas.

A classificação dos processos de manufatura descrita anteriormente não faz que cada processo de manufatura seja independente uma da outra, há sobreposições de um grupo com outro e que no caso da conformação de materiais, a abrangência é maior, conforme ilustração da figura 3.2.1.

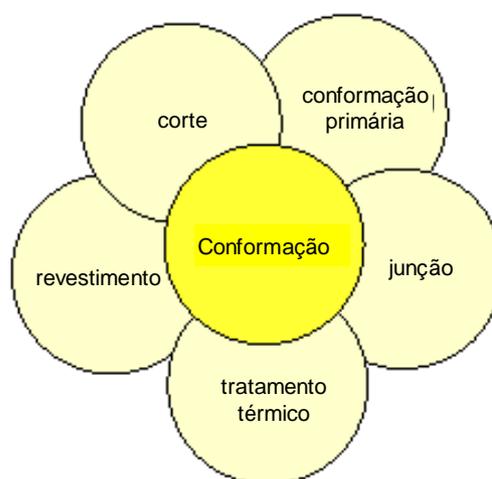


Figura 3.2.1 – Ilustração dos processos de manufatura (SCHULER, 1998).

Conforme normas DIN 8582, apud Schuler (1998), as classificações dos processos de manufatura são subdivididas em técnicas de processos. A figura 3.2.2 mostra as subdivisões correspondentes às técnicas de conformação, classificados de acordo com a direção principal da tensão aplicada (DIN 8582), e a subdivisão das técnicas de união e separação que implicam também em conformação do material (ver também figura 3.2.3).

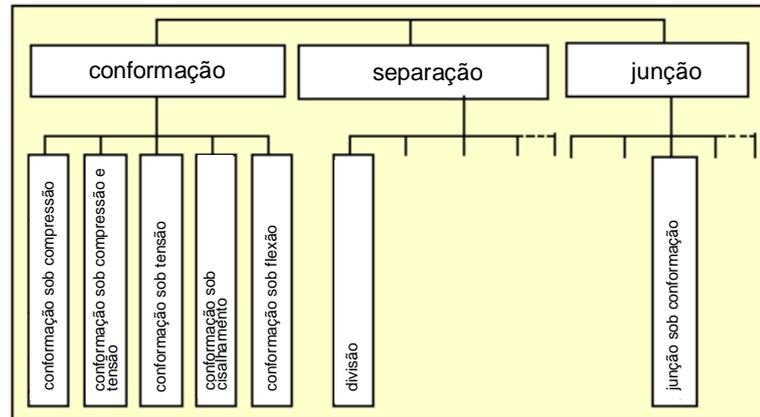


Figura 3.2.2 – Técnicas de processos aplicadas na conformação de chapas (SCHULER, 1998).

3.2.2-Classificação dos processos de produção para conformação

A figura 3.2.3 ilustra os dezessete diferentes tipos de processos de produção, correspondentes à norma DIN 8582 das técnicas de conformação, cujo critério de classificação é baseado nos movimentos relativos entre ferramenta e peça, geometrias da ferramenta e da peça (SCHULER, 1998).

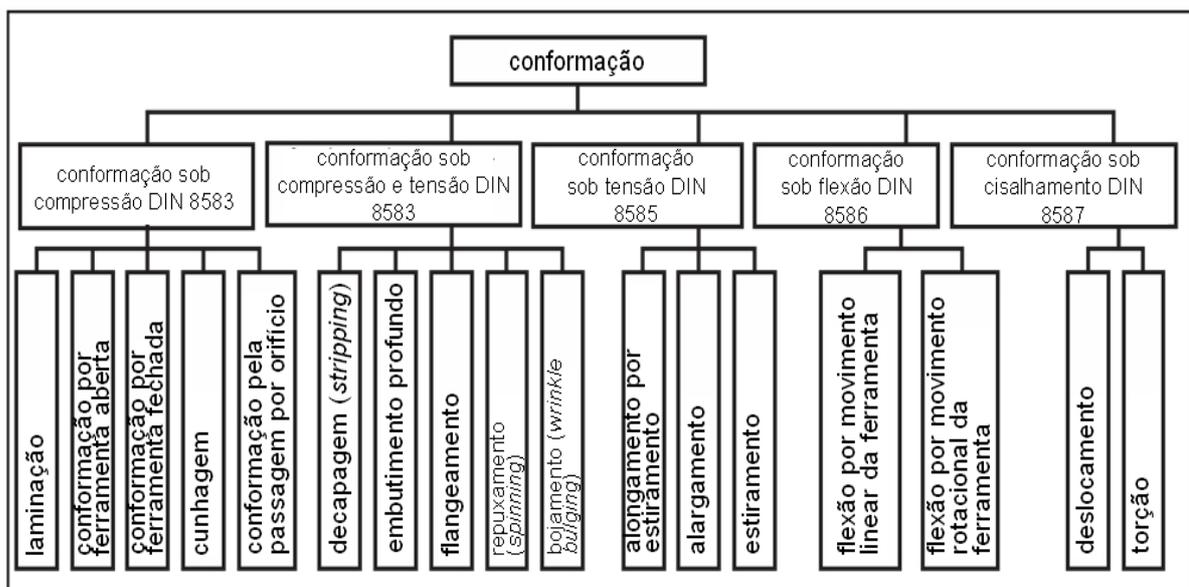


Figura 3.2.3 – Processos de fabricação (SCHULER, 1998).

3.2.3-Técnica de divisão

A técnica de divisão nada mais é do que a separação mecânica da peça sem que haja cavacos durante a sua efetivação. Apesar de fazer parte do grupo de processo de manufatura de separação, a técnica de divisão é também categorizada dentro do processo de conformação (vide figura 3.2.1). A figura 3.2.4 ilustra a subdivisão em processos de produção da técnica de divisão de acordo com DIN 8588 (SCHULER, 1998). O processo mais importante é o de corte por cisalhamento.

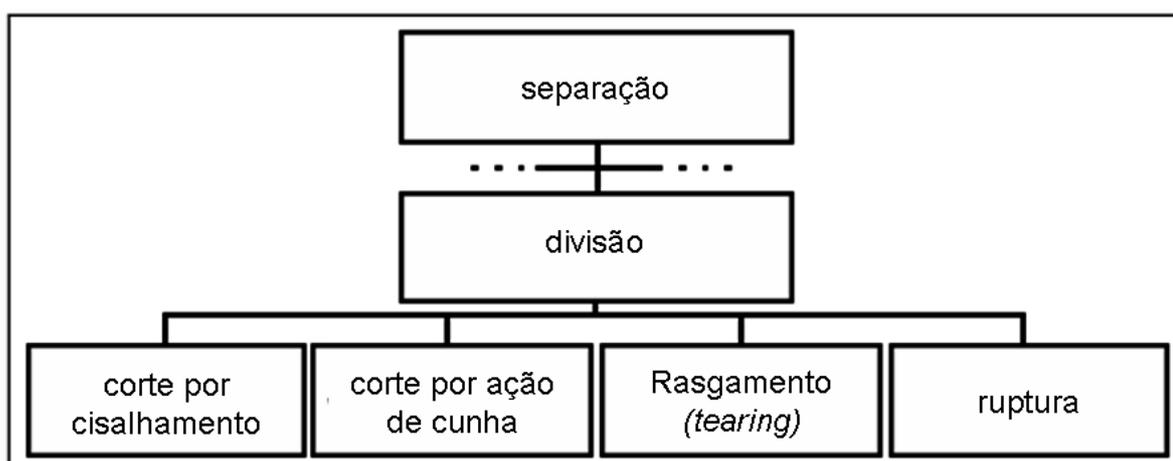


Figura 3.2.4 – Processos de produção da técnica de divisão complementar ao processo de conformação (SCHULER, 1998).

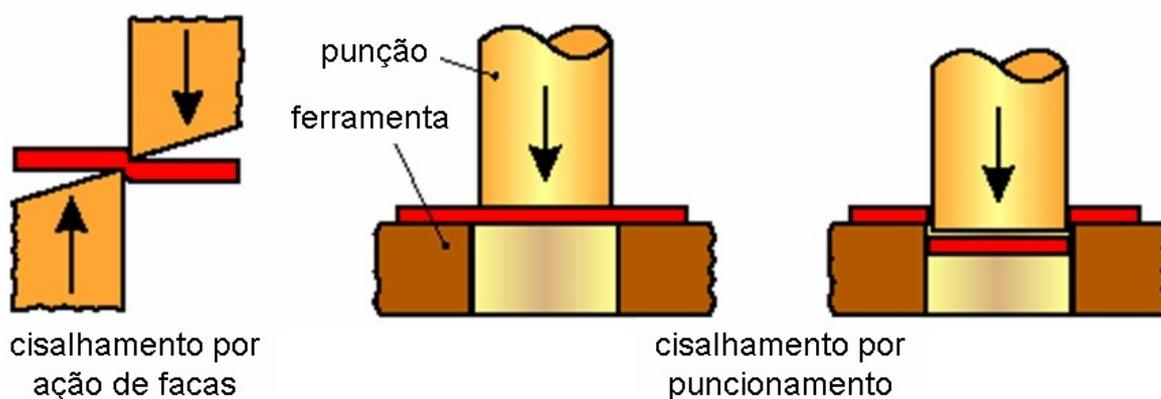


Figura 3.2.5 – Ilustração das duas principais técnicas de divisão (SCHULER, 1998).

3.2.4-União através do processo de conformação

A técnica de união através do processo de conformação é umas das técnicas em que os processos se tornam complementares, assim como a técnica de divisão, a técnica de união por conformação também está inserida dentro do processo de conformação. O processo de *rebordeamento (hemming)* é um caso típico de união de chapas de aço feita através do processo de conformação, vide figura 3.2.6 (SCHULER, 1998).

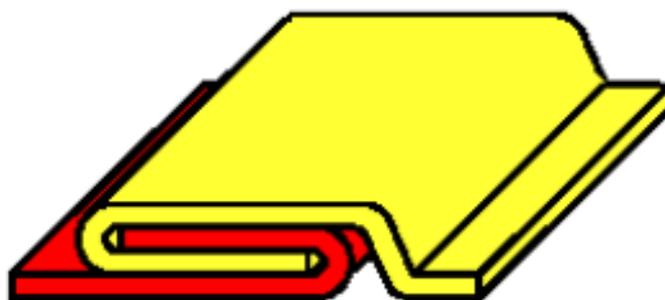


Figura 3.2.6 - União sob conformação – *Rebordeamento* (SCHULER, 1998).

3.2.5 – Processos para conformação de chapas metálicas

A estampagem de uma folha ou chapa de aço para se obter painéis ou estruturas metálicas que compõem o automóvel é uma combinação dos processos citados anteriormente, ou seja, no início, a bobina de aço é dividida em chapas de aços ou *blanks*, então estes serão enviados para uma linha de prensas que, através das ferramentas de estamparia, atuam para conformá-los em peças para componentes da carroceria do veículo. Por exemplo, a combinação de estiramento

através de estampagem ⁴ (*stretch drawing*) com embutimento profundo ⁵ (*deep drawing*) desempenha um papel importantíssimo para o processo de estampagem de painéis metálicos para carroceria de automóveis, vide figura 3.2.7 (SCHULER, 1998).

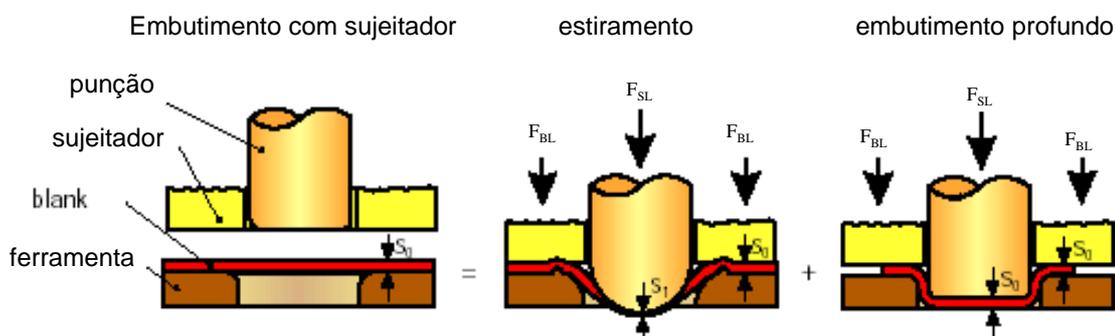


Figura 3.2.7 - Combinação de embutimento profundo e estiramento através de estampagem para processo de chapa de aço. (SCHULER, 1998).

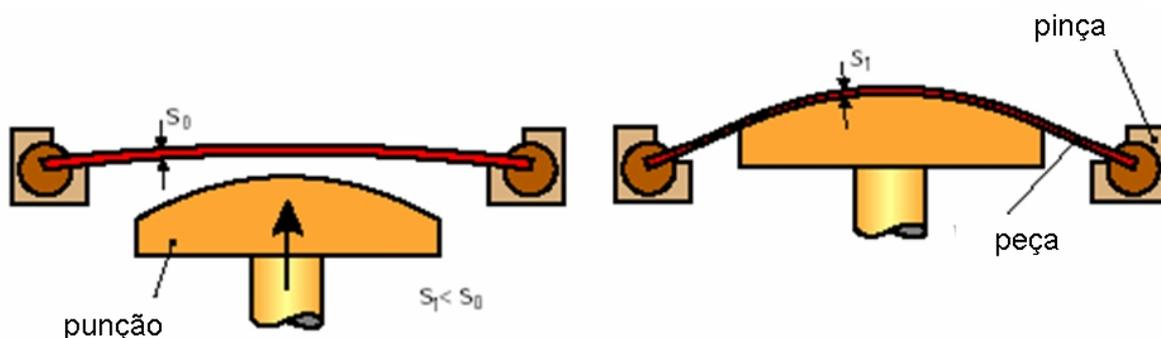


Figura 3.2.8 – Estiramento através de estampagem (SCHULER, 1998)

⁴ Estiramento através de estampagem (*stretch drawing*) é um dos métodos utilizados na obtenção do processo de conformação de chapa esticada (*stretch forming*), na qual se baseia na formação de uma impressão em uma folha de aço pela ação de um punção, componente da ferramenta de estampagem, enquanto que as bordas da folha de aço estão presas, durante a ação do processo a espessura da folha diminui, vide figura 3.2.8 (Schuler, 1998).

⁵ Segundo Schuler (1998), o método de embutimento profundo (*deep drawing*) é um meio através do qual o processo de conformação utiliza para obter peças embutidas de uma chapa de aço, sob condições de tração e compressão, sem haver alteração da sua espessura, vide figura 3.2.9 .

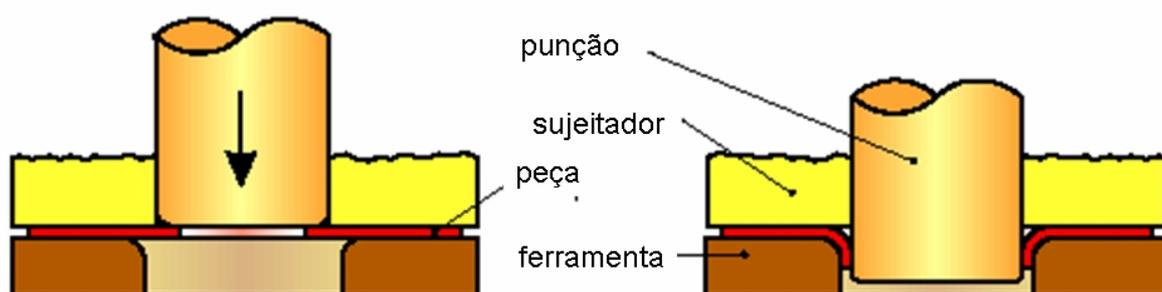


Figura 3.2.9 – Embutimento profundo (SCHULER, 1998).

Outros métodos de processos são também utilizados na estampagem de painéis da carroceria de automóveis, como as operações de flexão, compressão e cisalhamento para estampagem de chapas metálicas, e operação de corte para produção de chapas de aços ou *blanks*. Outras operações surgem em função da necessidade de completar o processo como, por exemplo, a operação de recalque para compensação de *springback*⁶ (efeito indesejável da flexão), recorte e furação em processos de corte e estampagem.

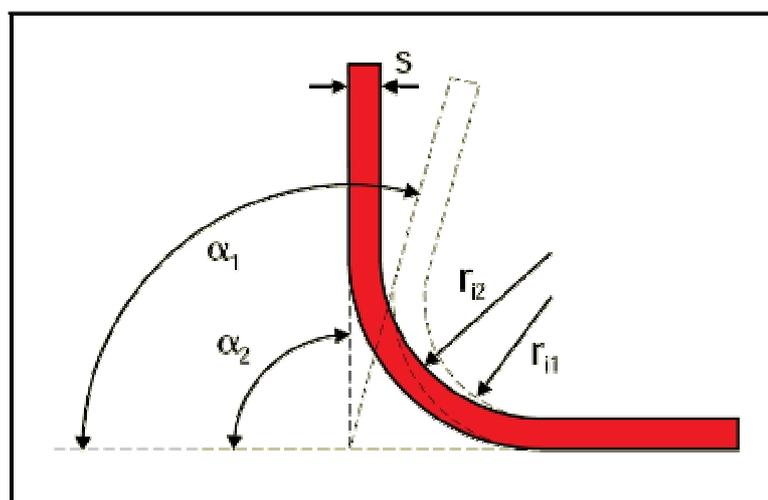


Figura 3.2.10 – Efeito de *springback* no flange (SCHULER, 1998).

⁶ O *springback* é um efeito indesejável devido às concentrações de tensões que surgem após a operação de conformação. Este fenômeno é observado principalmente após o processo de flexão das bordas da chapa, operação de flangeamento, e as tensões residuais persistentes após a operação fazem com que a definição do perfil da peça fuja da forma projetada, vide um exemplo na figura 3.2.10.

3.3-Matéria-Prima e *Blanks*

3.3.1-Matéria-prima de painéis metálicos

As ligas de aço estão entre os materiais mais utilizados para este tipo de aplicação, dentro deste grupo, destacam-se as ligas de aço fosfatizadas, aços BH (*Bake-Hardening*) que são tipos de aços com dureza adicional após tratamento térmico, aços ferríticos cromados, aços austeníticos cromados e niquelados e aços laminados à frio com alta tensão (SCHULER, 1998).



Figura 3.3.1 – Fardo de chapas de aços (*blank* retangular).

3.3.2- Produção de *Blanks*

Há dois formatos principais de *blank*, o retangular ou trapezoidal e figurado. Em relação ao trapezoidal, o processo é feito em linha de corte, denominada de *coil shear line* que, através da ação de duas facas, cortam a tira da bobina. Os *blanks* figurados são produzidos em linha de *blanking* ou *blanking line* (vide figura 3.5.3) que, por intermédio de uma ferramenta rígida (vide figura 3.4.6) acionada em uma prensa do tipo excêntrica, cortam a tira da bobina em figuras (SCHULER, 1998).

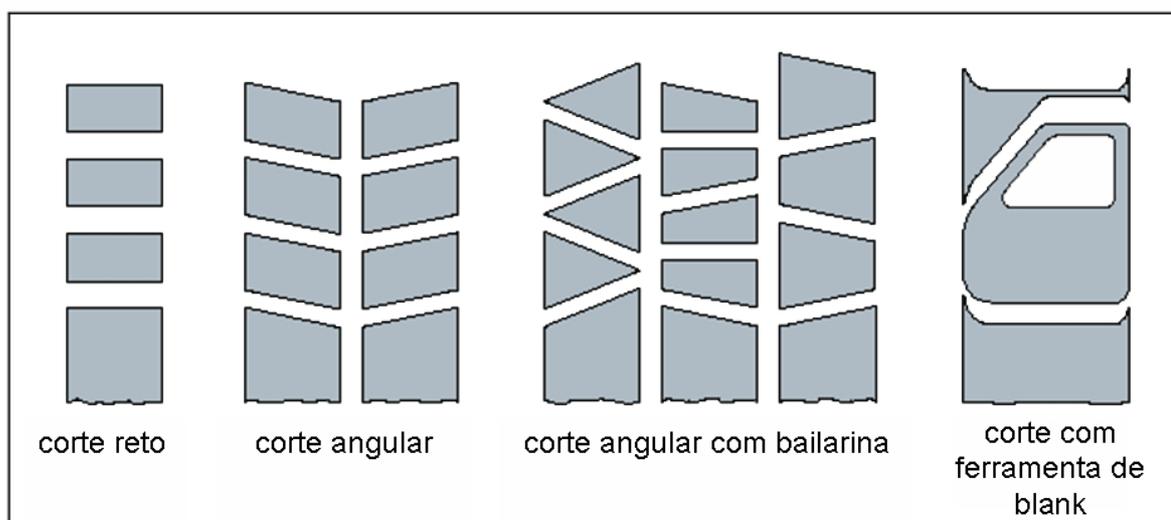


Figura 3.3.2 – Figuras de *blanks* trapezoidais (os três primeiros conjuntos) e *blank* figurado da porta (último conjunto) (SCHULER, 1998).

3.4-Ferramentas de Estampagem de Painéis Metálicos

Cada ferramenta de estampagem de painéis metálicos possui mecanismos internos para desempenharem um ou mais processos de conformação ou separação. O planejamento e o projeto de ferramentas de estampagem buscam aliar menor investimento em construção e maior produtividade na estamparia, assim, o ideal seria fazer todos processos em um menor número de ferramentas para produzir um componente estampado. As operações ⁷ para efetuarem o processo de estampagem influem diretamente neste aspecto, de acordo com Schuler (1998), quanto maior o número de operações a serem feitas no processo de estampagem, ou maior será o número de ferramentas para fazer o processo ou maior será a quantidade de dispositivos internos para que se faça o maior número de processos por ferramenta ou por operação, conseqüentemente, aumentando sua estrutura, complexidade e custo e diminuindo sua confiabilidade.

⁷ Neste texto, define-se operação a ação de se fazer um ou mais processos de conformação ou/e divisão por ferramenta.

3.4.1-Ferramenta de repuxo

Conforme visto anteriormente, a primeira ferramenta faz a conformação no formato principal da peça. Isto é feito através da combinação de dois processos, o embutimento profundo e o estiramento. Esta combinação de processos é denominada comercialmente de repuxo.



Figura 3.4.1 – Foto do alojamento do estepe após a primeira operação de repuxo.

Dentro do contexto de estampagem de painéis metálicos de automóveis, na maioria dos casos, o repuxo é determinado pela ação da ferramenta rígida, cujos componentes principais são: matriz, punção e anel. Maior produtividade justifica a utilização deste tipo de ferramenta. Há duas variações básicas para esta ferramenta: a dupla ação e simples ação. A figura 3.4.2 ilustra a diferença entre estas duas formas de construção, basicamente, na dupla ação, o punção e o anel são componentes da ferramenta superior e na simples ação, eles são integrantes da parte inferior da ferramenta ⁸.

⁸ Denominam-se ferramenta superior a parte da ferramenta de estampagem que fica preso ao martelo da prensa e a inferior que fica sob a mesa da prensa (vide figura 3.5.1).

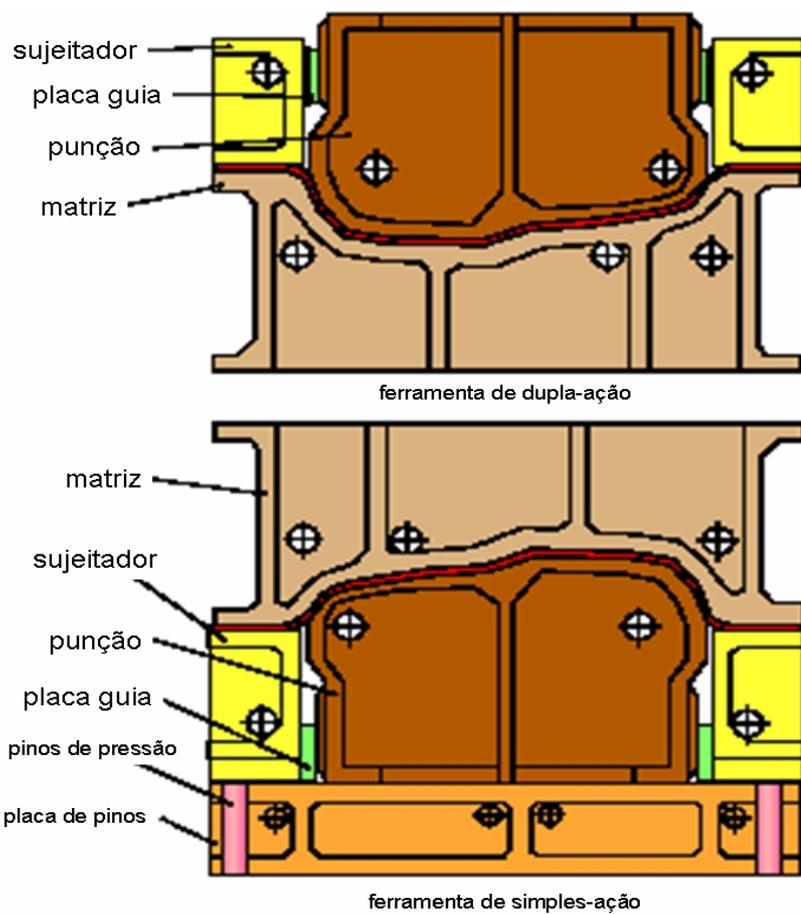


Figura 3.4.2 –Ferramenta de dupla-ação e simples-ação respectivamente (SCHULER, 1998).

As seguintes figuras ilustram o funcionamento da ferramenta de dupla-ação e o de simples ação:

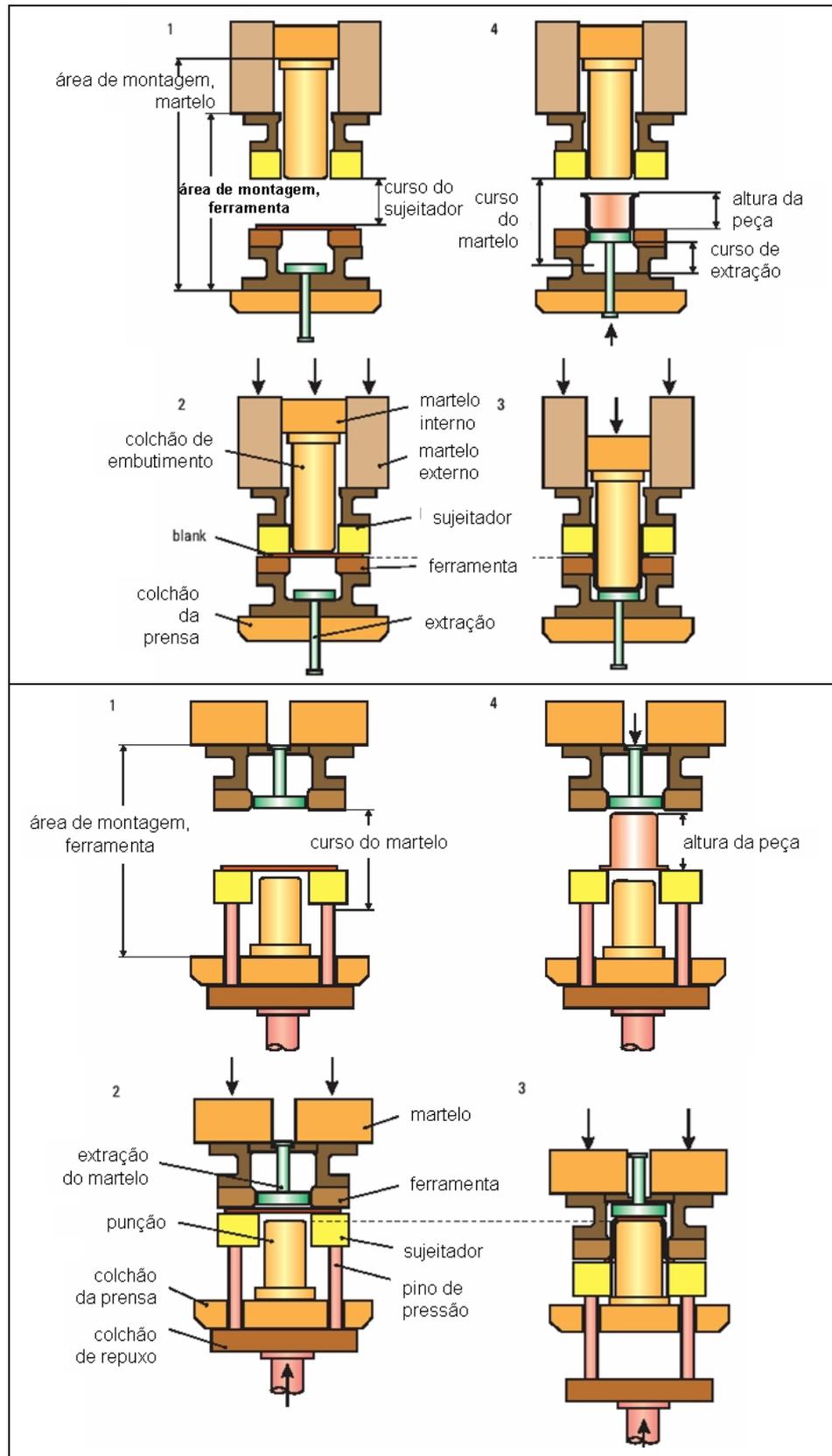


Figura 3.4.3 - Seqüência de funcionamento de componentes de ferramentas de dupla-ção e simples-ção respectivamente (SCHULER, 1998).



Figura 3.4.4 –Anel ou prensa-chapas e matriz da ferramenta de repuxo respectivamente.

A ferramenta hidro-mecânica de repuxo é outra ferramenta que pode ser utilizada na conformação de chapas metálicas. Por intermédio da ação de prensa hidráulica de dupla ação, a ferramenta hidro-mecânica é utilizada quando há necessidade de repuxo muito profundo e quando há critério de qualidade superficial muito alto, a grande desvantagem em relação às ferramentas rígidas é sua baixa produtividade.

O funcionamento é semelhante à ferramenta anterior, só que desta vez, a matriz seria uma câmara preenchida de água e óleo. A figura 3.4.4 mostra seu princípio de funcionamento para o processo de embutimento profundo.

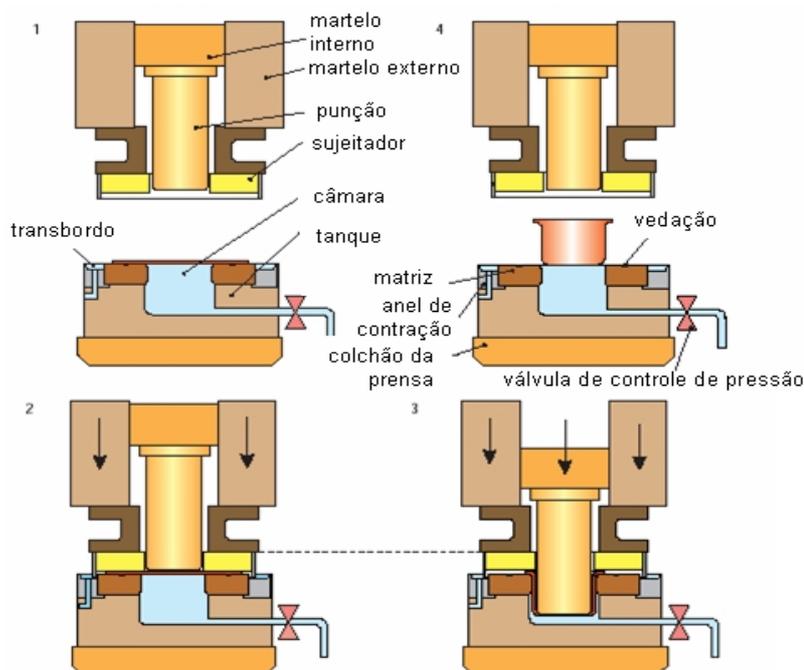


Figura 3.4.5 - *Layout* e funcionamento de uma ferramenta hidro-mecânica de repuxo profundo (Schuler, 1998).

3.4.2- Ferramentas complementares do processo de estampagem

As ferramentas seguintes à ferramenta de repuxo são complementos para a finalização da peça estampada. De acordo com o projeto, haverá necessidade de se fazer furos, flanges, recortes, separações, recalques, etc, nesta mesma peça previamente conformada pela ferramenta de repuxo, e que, portanto, será distribuída através de um certo número de ferramentas ao longo deste processo. Internamente, estas ferramentas possuem cunhas, facas, extratores, punções, etc, para poderem efetuar estes trabalhos.

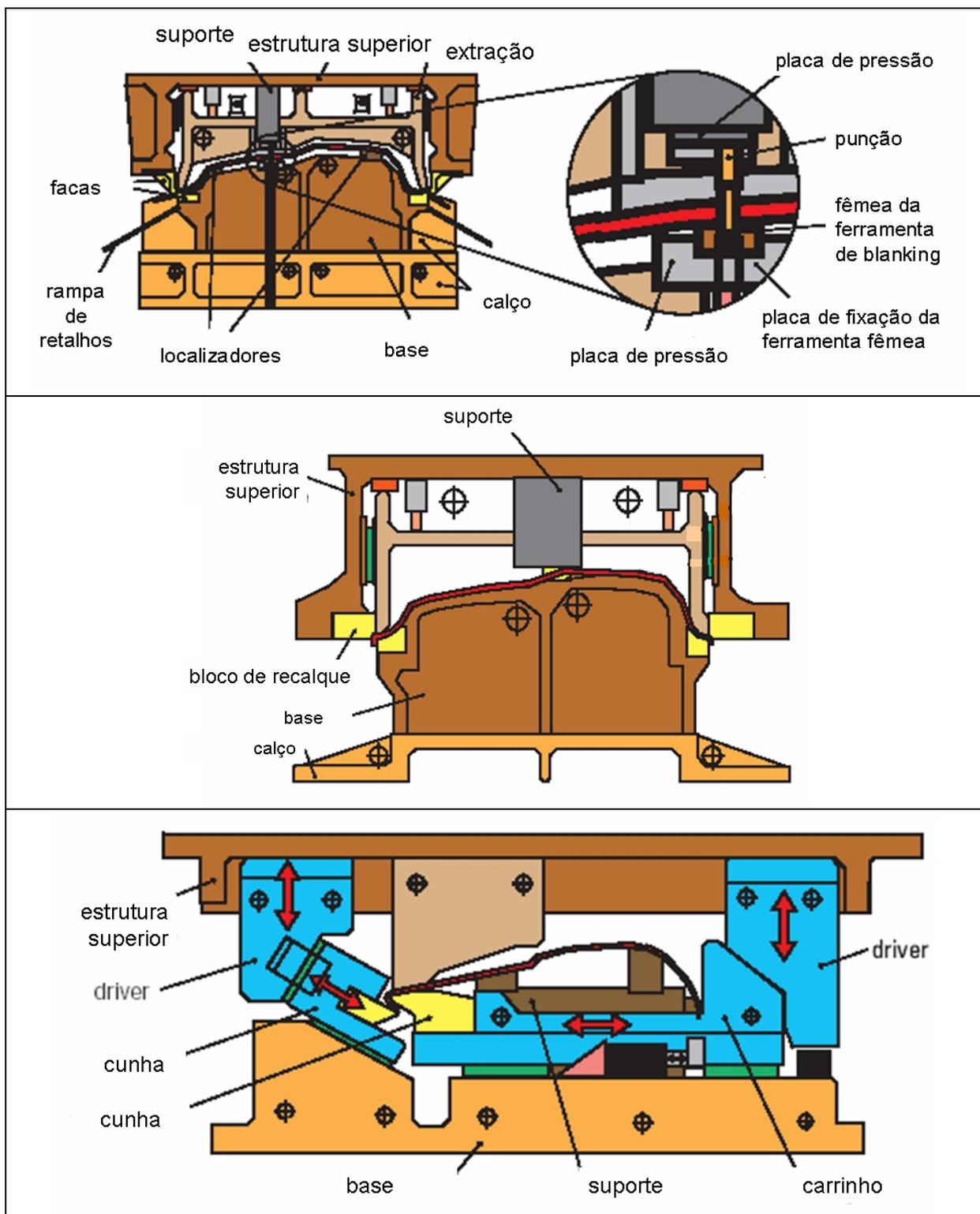


Figura 3.4.6 –Operações de punção, recalque e flangeamento (SCHULER, 1998).

3.4.3 – Ferramenta de Blank

A produção de *blanks* figurados é mais adequado em se fazer em *blanking line* (figura 3.5.3) utilizando-se de ferramentas de *blank*. Basicamente, as técnicas do processo de divisão são as utilizadas nesta operação, ou seja, corte por cisalhamento ou corte pela ação de cunhas.

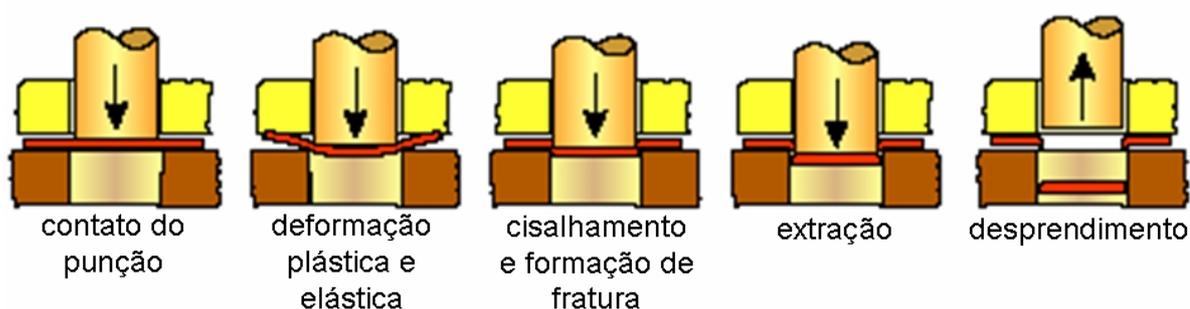


Figura 3.4.7 – As fases do processo de *blanking* (SCHULER, 1998).

3.5 – Principais máquinas e equipamentos para estamparia

Prensas de grandes dimensões e alta capacidade de carga são necessárias para estampagem de painéis metálicos do veículo, as prensas mecânicas e hidráulicas que são as mais utilizadas. A determinação de qual tipo de prensa a ser utilizada depende do critério de produtividade, qualidade a ser alcançada da peça, espessura e tipo de material do *blank* e profundidade para se fazer o repuxo.

Somente em casos específicos, a prensa hidráulica é utilizada para produzir peças estampadas, seja pela peça necessitar de repuxo profundo, ou por ser *blank* espesso ou por ser de material difícil de estampar, mas, por outro lado, a produtividade será penalizada. Desta maneira, a prensa mecânica é a mais utilizada, pois para repuxos não profundos, pode produzir peças de boa qualidade e com produtividade.

Como citado anteriormente, a produção de peça estampada de grande porte da carroceria de veículos é feita através de etapas de operação e há necessidade de uma família (ou conjunto) de ferramentas para produzi-la, desta forma, uma família de ferramentas precisará de um número compatível de prensas para efetuar o processo completo. Por exemplo, se uma determinada peça precisar de 6 etapas de operação para ser produzida, poderá haver necessidade de ter 6 prensas para comportar a família inteira de ferramentas.

Então, o *layout* típico para estas estamparias é ter conjunto de prensas em fileiras, sendo a primeira prensa de maior capacidade para poder acionar a ferramenta de repuxo (vide figura 3.1.2). Aliás, no caso de prensas mecânicas a primeira da fila é que tem o diferencial em relação às outras seguintes, além da maior capacidade de energia para fazer a operação de repuxo do *blank*, dependendo se vai acionar uma ferramenta de dupla-ação ou simples-ação, tem componentes há mais para fazer o trabalho. A figura seguinte mostra uma prensa mecânica para acionar ferramentas de dupla-ação e outra para acionamento de simples-ação (SCHULER, 1998).

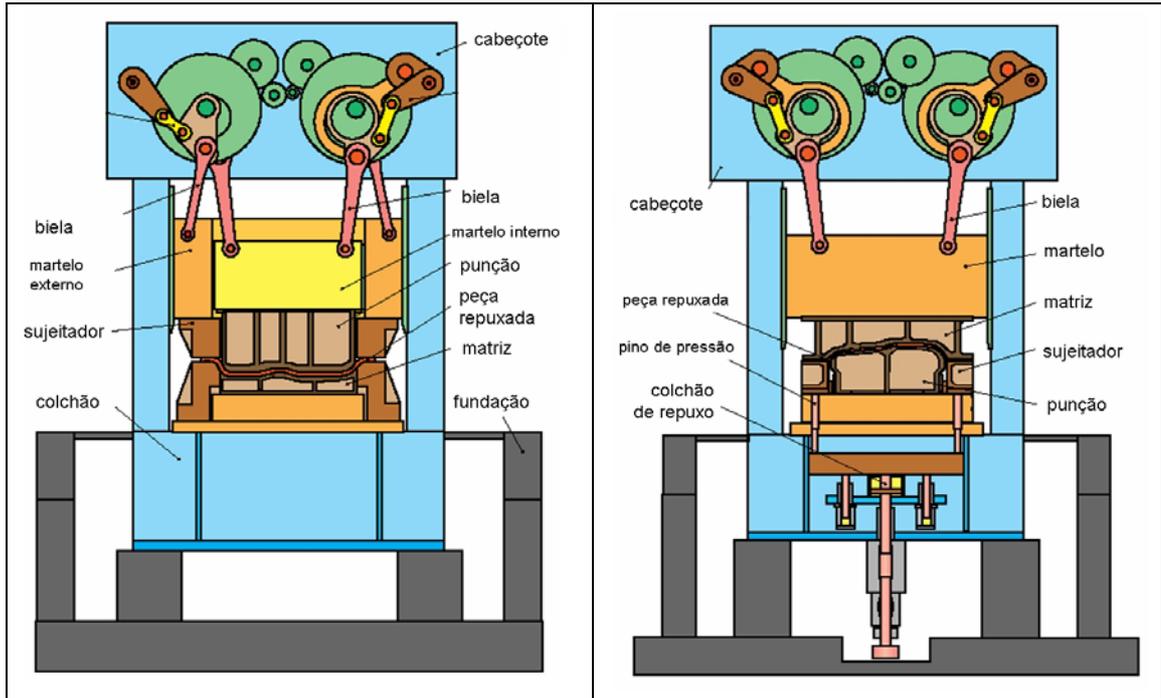


Figura 3.5.1 – Corte transversal da prensa e ferramenta de dupla-ação e simples ação respectivamente (SCHULER, 1998).

A transição da peça de uma prensa à outra e seu manuseio na deposição final em *racks* é também importantíssimo para se ter uma linha mais produtiva e peças de melhor qualidade. Há formas variadas de transporte de peça entre prensas, a peça pode ser colocada e retirada manualmente por operadores e transportada por esteiras, pode ser feita automaticamente por robôs ou sistemas de barras de transferência rápidas. A figura seguinte ilustra algumas aplicações comentadas anteriormente.

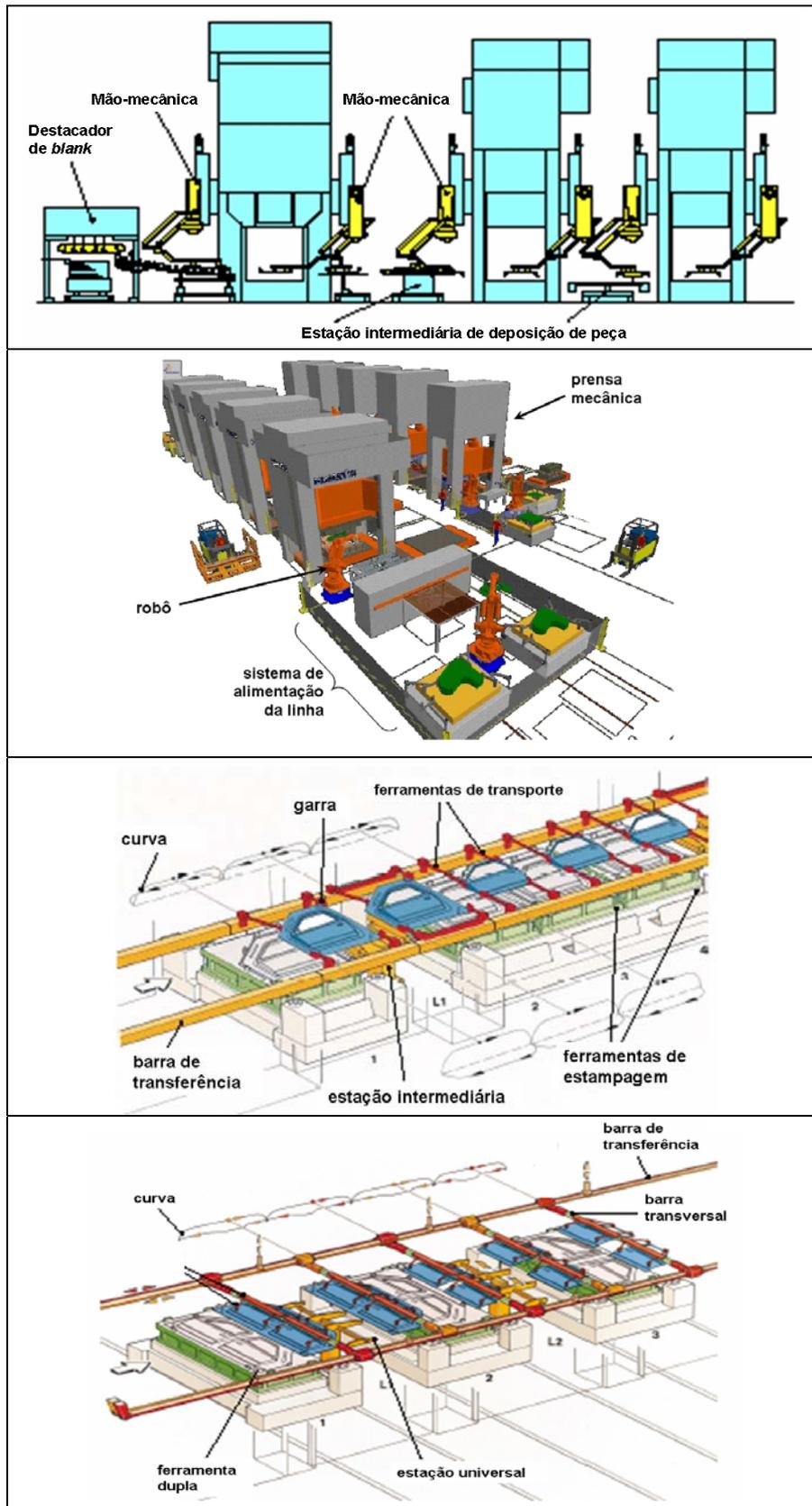


Figura 3.5.2 – Transferência de peças por mãos-mecânica e esteiras, por robôs em prensas mecânicas, por barras com pinças em prensas *transfer tri-axis* e por barras com ventosas em prensas *crossbar*.

Conforme mencionado anteriormente, a produção de *blanks*, dependendo da sua forma, pode ser feita em linhas de corte por tesouras ou por ferramentas de *blanquear*. As figuras seguintes ilustram estes dois sistemas para produção do *blank*.

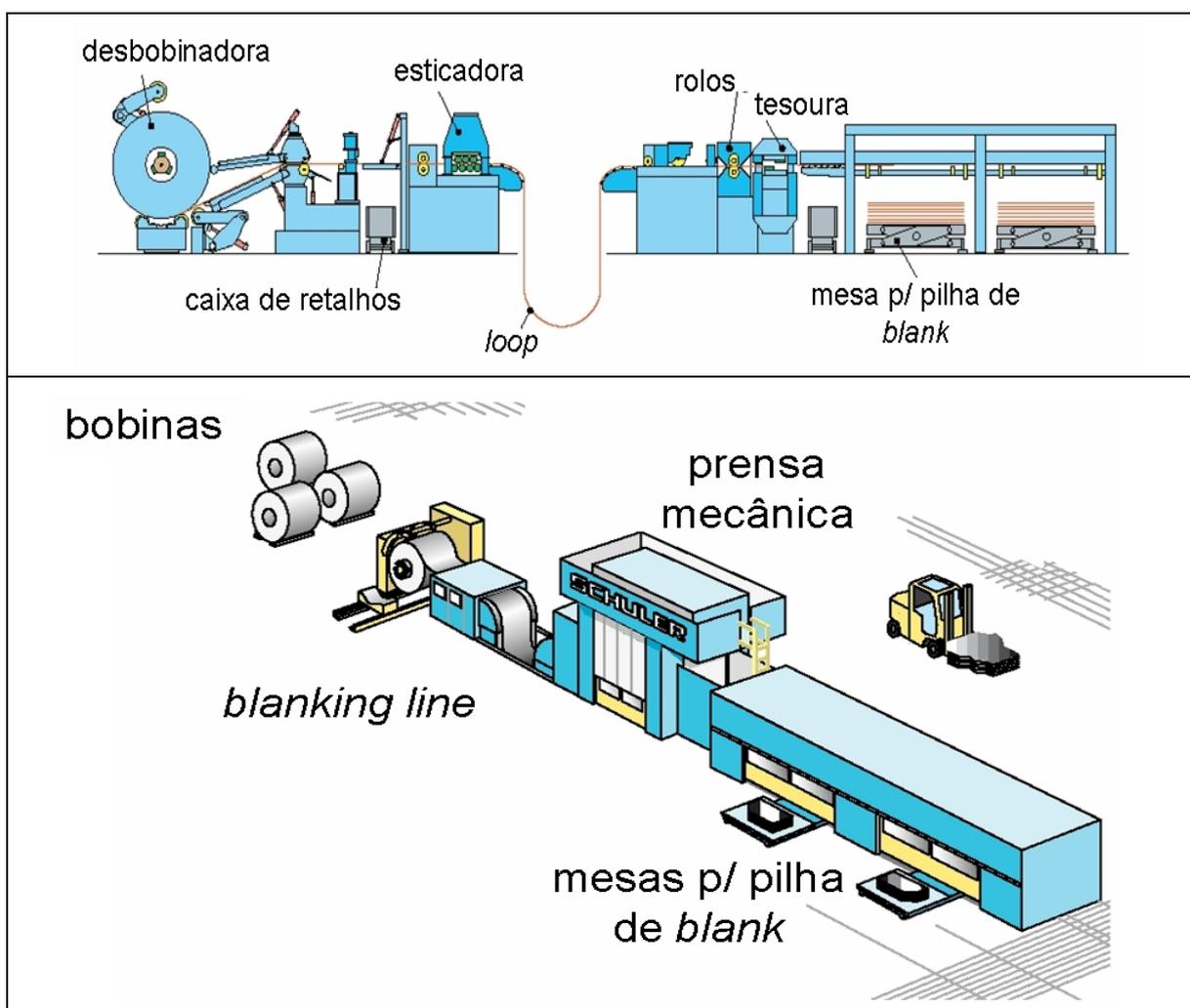


Figura 3.5.3 – *Shear Line* e *Blanking Line* respectivamente.

3.6 – Planejamento de processo de peças estampadas

A engenharia de manufatura é responsável pelo planejamento do plano de processo da peça estampada, que significa o fluxo operacional que deverá ser seguido na produção do componente estampado (vide Anexo-B). Então, o planejador de processos define o modo de como a peça deverá ser produzida e, através destas

informações, os planejadores de ferramenta, produção e matéria-prima vão desenvolver seus respectivos trabalhos.

Um aspecto importante quanto a matéria-prima, é sobre a solução de redução de desperdícios de retalhos de chapas metálicas que serão originados durante a produção. No cronograma de um programa novo do carro, o projeto, construção, *try-out* e validação de ferramentas de estampagem ocupam um grande espaço temporal (vide figura 3.6.2), além de ter um grande peso dentro do investimento total do carro. Desta forma, a engenharia de processos tem a grande responsabilidade de planejar processos mais enxutos possíveis para que resultem em menor número de novas ferramentas a serem construídas e com estruturas mais simplificadas possíveis de modo a beneficiar a produção.



Figura 3.6.1 – Conformação do reservatório de óleo em cada operação (SCHULER, 1998).

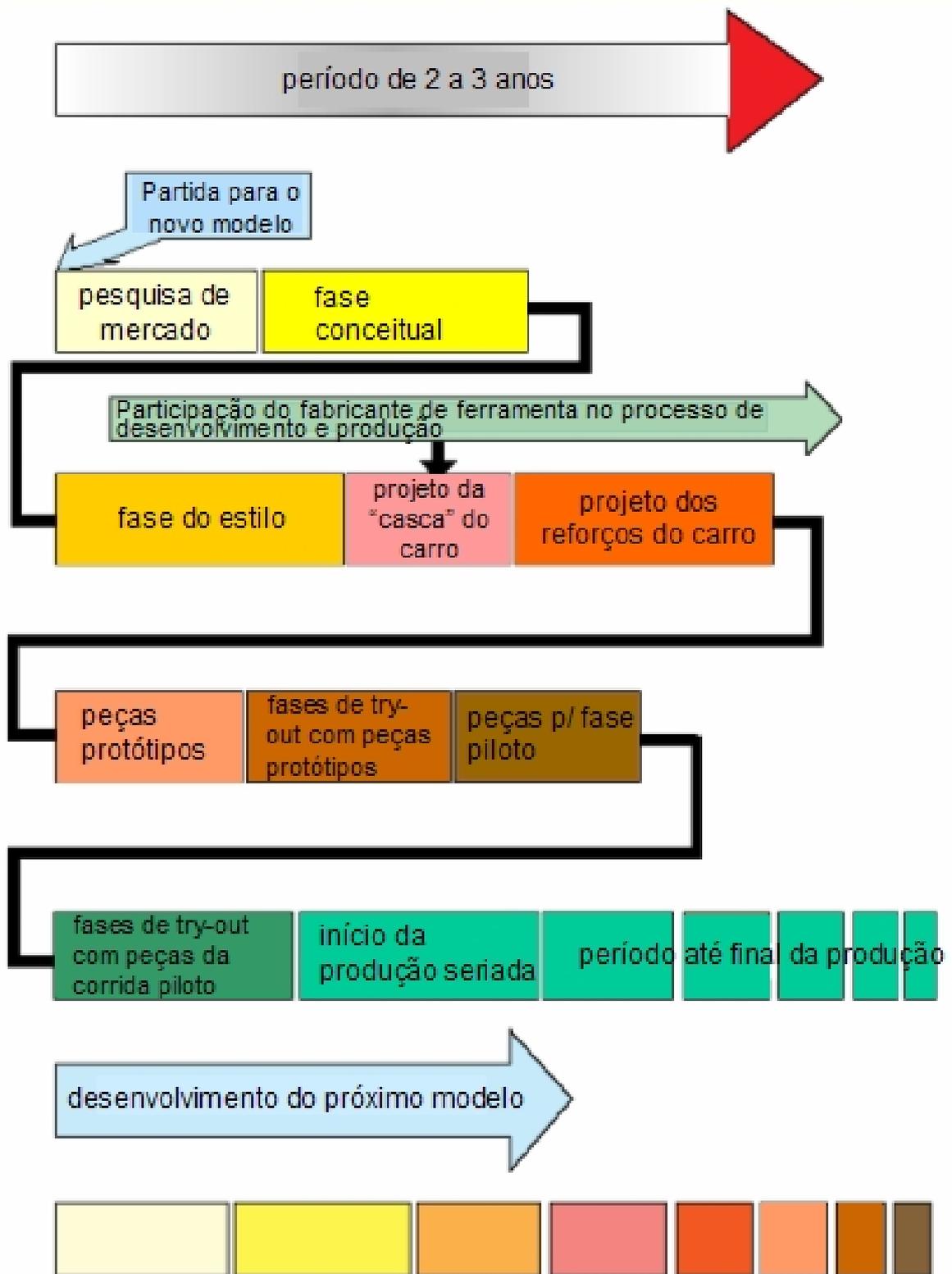


Figura 3.6.2 – Cronograma do projeto de painéis de automóveis (SCHULER, 1998).

4–APLICAÇÃO DE DFM NO PROJETO DE PEÇAS ESTAMPADAS

Conforme comentado anteriormente, o DFM é baseado em metodologia de trabalho e ferramentas que auxiliam o projeto a desenvolver a peça melhor manufaturável possível. A sua aplicação na fase inicial do processo do projeto trará melhores resultados (vide figura 2.2.1). Os principais objetivos desta ferramenta são a identificação de oportunidades na redução de custos de manufatura e tempo de fabricação, melhorias na qualidade da peça e promoção da padronização e globalização dos processos.

O sucesso da aplicação de DFM depende não só do empenho e entrosamento entre os grupos participantes no desenvolvimento do projeto, mas como também a existência de critérios ou requerimentos de manufatura bem definidos.

O estudo de caso a seguir descreverá aplicação de DFM em painel lateral interno de um veículo.

4.1-Critérios de Manufatura para Componentes Metálicos Estampados

Bancos de dados com critérios ou requerimentos de manufatura são importantes referências para um desenvolvimento de projeto mais rápido. Através de análises de algumas variáveis (matemáticas, físicas, tipo de material e matéria-prima, custos, melhores práticas de processos, etc), foi montado um banco de dados para processos de conformação de painéis metálicos. Tratam-se de informações bem específicas e aplicáveis a determinado tipo de processo, ou seja, voltada para

manufatura de peças metálicas estampadas em máquinas e equipamentos dedicados para este tipo de produção e, como as melhores práticas e experiências foram levadas em consideração, este banco de dados é bom para a empresa que o desenvolveu e que nem sempre será a melhor para uma outra.

A seguir, serão apresentados alguns exemplos de critérios para *manufaturabilidade*⁹ de painéis metálicos – repuxo e flangeamento - extraídos de um banco de dados de uma indústria automobilística. Se houver qualquer desvio dos critérios de manufatura, uma relação de custo adicional estará diretamente aplicada à esta decisão. Completando, há também critérios de recortes e puncionamento padronizados.

Primeiro exemplo: Critérios para Profundidade do repuxo.

Definição: Profundidade do repuxo é a maior profundidade do painel que acabou de sofrer a operação de repuxo tomando-se como referência a parte mais elevada da peça repuxada até o plano que esteve em sujeição pela ferramenta (vide figura 4.1.1).

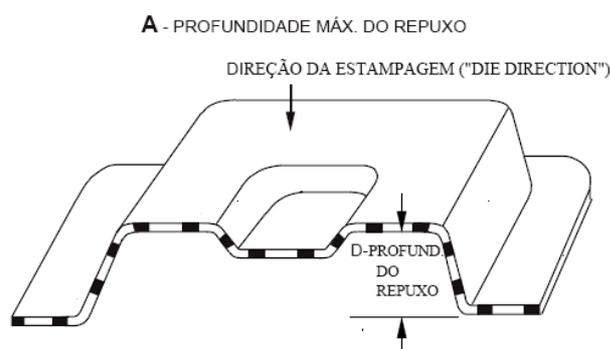


Figura 4.1.1 - Ilustração da profundidade de repuxo na peça.

⁹ O termo *manufaturabilidade* é utilizado neste texto para resumir a idéia de conjunto de requerimentos da manufatura para a melhor fabricação da peça.

O principal objetivo da análise desta característica de operação é determinar as dimensões superficiais do *blank* e conseqüentemente assegurar que a peça estampada não esteja subestimada nem superestimada ao ser alocada em uma determinada linha de prensas.

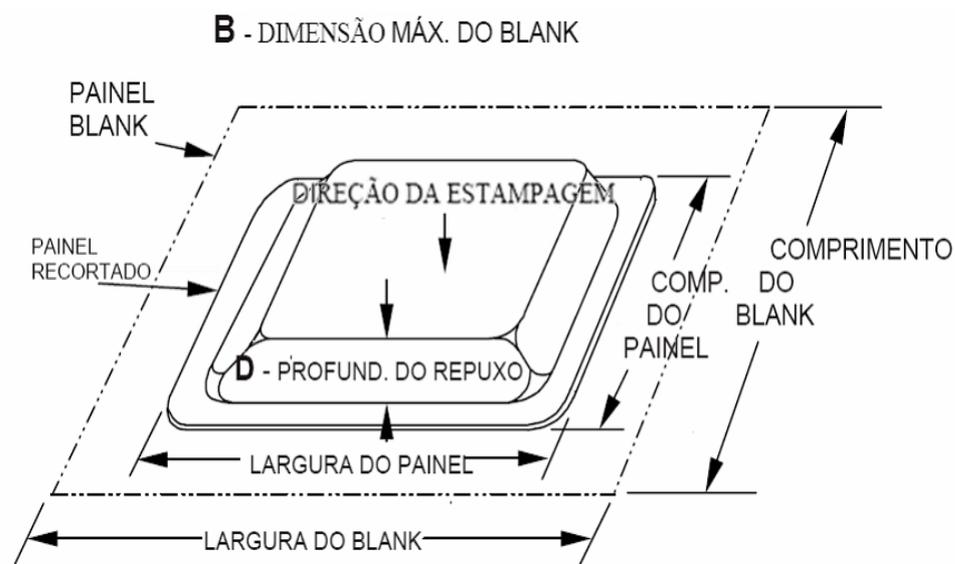


Figura 4.1.2 - Dimensionamento estimativo do *blank*.

Se a profundidade do painel for maior que as dimensões da prensa:

- Há aumento do custo de manufatura devido à necessidade de prensas de dupla ação e giro do painel de uma operação para outra, resultando em redução de produtividade;
- Aumento do custo de investimento para linhas automatizadas por haver giro do painel;
- Redução da qualidade da peça devido a facilidade de acumular detritos na cavidade da matriz;
- Custo adicional estimado: UM 600.000,00 ¹⁰.

¹⁰ UM – Unidade Monetária

Se a dimensão do painel for maior que a dimensão da prensa:

- Acréscimo no custo de manufatura devido a alocação de uma peça em uma linha de capacidade de carga maior que a necessária para a sua conformação.
- Custo adicional estimado: UM 200.000,00

Segundo exemplo: Critérios para Tipos de flanges

A ilustração abaixo mostra os sete tipos de flanges definidos pela engenharia e que variam de acordo com o ângulo medido entre as direções da ferramenta e do flange. O padrão no caso é o *wipe flange* (flange reto), sendo que os restantes são desvios e que acarretam custo adicional em vários aspectos, ou seja, o ideal é que quando o engenheiro desenvolva a peça próximo da configuração "A".

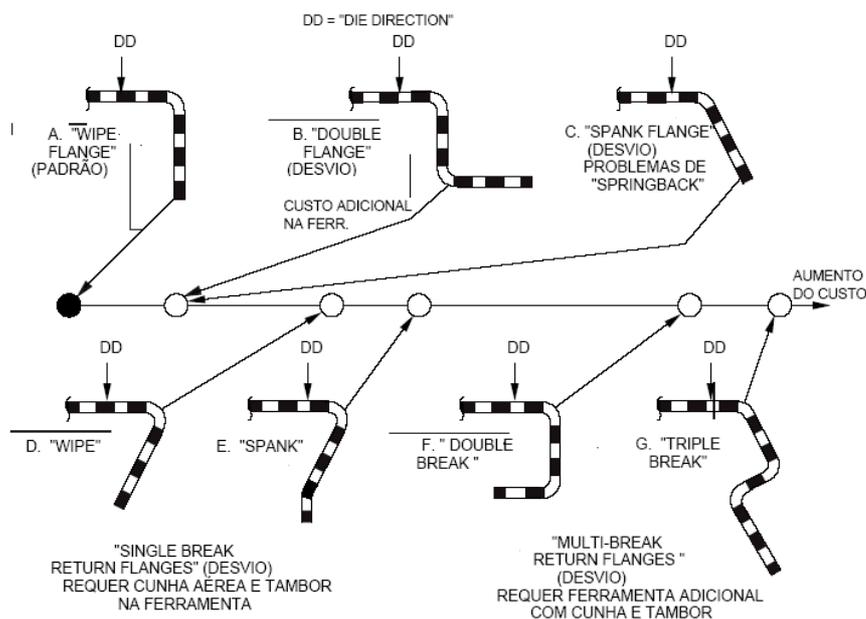


Figura 4.1.3 - Tipos de flanges.

Desvios:

Se adotar as configurações "B" e "C":

- Adiciona custo na construção de ferramenta devido à adição de recalque para compensar o problema de *springback*;
- Aumenta o custo de *try-out* devido ao trabalho extra de ajuste para aliviar o *springback* na peça.

Se adotar as configurações "D" e "E":

- Aumento de custo de construção e manutenção de ferramentas devido a adição de cunhas e carrinhos;
- Aumento em investimento de *racks* devido a perda de capacidade de armazenamento;
- Aumento da utilização de *containers* para exportação, devido ao aumento de *racks*, conseqüentemente aumentando o custo de embarque;
- Custo adicional estimado: UM150.000,00.

Se as configurações "F" e "G" forem adotadas:

- Além dos mesmos adicionais da configuração "D" e "E", haverá acréscimos no custo de manutenção e investimento em uma nova ferramenta com cunhas e carrinhos;
- Custo adicional estimado: UM 400.000,00 (UM 50.000,00 para cada cunha adicionada).

4.2-Estudo de Caso

Conforme mencionado no capítulo inicial, nestes últimos anos, a disputa pela conquista de fatias do mercado automobilístico brasileiro tem sido intensa. Diante deste cenário, esta montadora adotou recentes planos para manter-se competitiva. No caso da divisão de componentes estampados desta montadora, a diretriz de fazer uma estrutura fortemente competitiva, não vem somente da necessidade de melhorar a atuação no mercado de automóveis local, ela também concorre com outras empresas locais ou mundiais que atendem este mesmo segmento de negócio, ou seja, fornecimento de peças estampadas, engenharia e construção de ferramental.

Uma das estratégias utilizadas vai ilustrar a aplicação dos critérios de *manufaturabilidade* no desenvolvimento de painéis metálicos da carroceria do veículo, visando a redução do tempo de desenvolvimento e execução do projeto, redução do investimento em ferramental, redução de desperdício de matéria-prima e, principalmente, na redução do custo estrutural da fábrica, pelo estabelecimento de limites de operação para processos de estampagem. Isto é possível principalmente pela interação entre as áreas da engenharia de produto, engenharia de manufatura e design da carroceria, na fase de desenvolvimento e definição do estilo do novo projeto. Vale salientar que o *Computer Aided Engineering* (CAD), representado pelo *software* de modelagem tri-dimensional, e o *Computer Aided Design* (CAE), simulador por elementos finitos, desempenham papéis fundamentais no trabalho simultâneo no projeto, promovendo a antecipação na visualização do produto e seu processo e integração do trabalho entre as diversas áreas. Através da utilização do

software de simulação por elementos finitos, podem ser feitas as seguintes determinações (DAMOULIS; BATALHA, 2003):

- Geometria conformada e evolução da chapa estampada;
- Distribuição da espessura da chapa;
- Deformação plástica equivalente;
- Fluxo de material;
- Força do punção e prensa-chapas;
- Falhas (rasgamento e enrugamento).

4.2.1-Cronograma e fluxo de informações de DFM no desenvolvimento da carroceria

4.2.1.1-Escolha do conceito

Nesta fase, modelos em escala 1:3 são projetados conforme tendência de estilo previsto para a época de seu lançamento e construídos para apreciação de comitês que avaliarão e escolherão o conceito que será referência para o novo projeto.

A engenharia de manufatura, neste caso, presta somente uma assessoria, quando requisitado, durante o projeto dos modelos, indicando possíveis dificuldades de conformação das partes e sugerindo sobre possíveis modificações das superfícies externas dos projetos dos modelos.

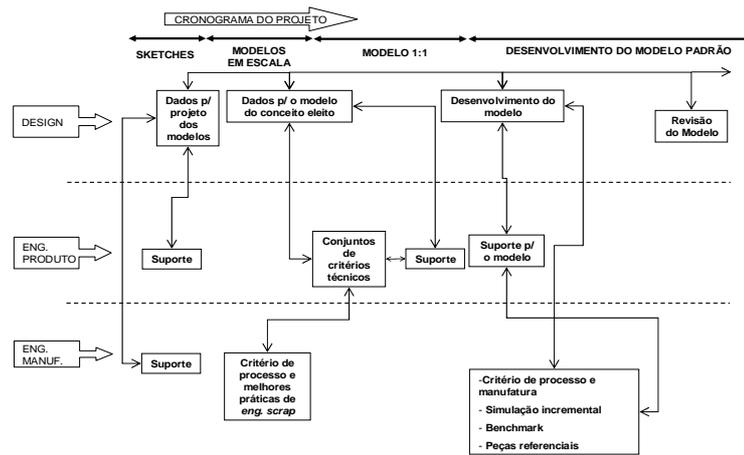


Figura 4.2.1 - DFM na fase conceitual do veículo.

4.2.1.2-Desenvolvimento do estilo da carroceria do veículo

Depois de definido o conceito que será referência de estilo, as engenharias (produto e manufatura) e a área de design trabalham em conjunto no projeto e construção do modelo em escala real.

A partir deste momento, trabalhos em times e workshops entre as engenharias e design serão feitos para que a carroceria externa do modelo seja, preliminarmente, definida dentro das especificações e normas da engenharia do produto, possua a melhor condição para produção dos seus componentes e mantenha a tendência da proposta inicial do modelo escolhido. As discussões são amplas, pois uma modificação em qualquer parte do veículo pode sair dos padrões estabelecidos em cada área.

Nesta fase a engenharia de manufatura entra com condições de sugerir alterações da superfície da carroceria baseada em critérios de *manufaturabilidade* da peça, melhores práticas de *engineered scrap*¹¹ (ambos suportados pelos critérios de produção, como por exemplo, capacidade da planta, capacidade das linhas de prensas, necessidade de qualidade superficial, etc), resultados preliminares de simulações incrementais, referências de outros projetos e *benchmarking* de veículos de outros fabricantes.

Uma vez sacramentada as modificações superficiais do estilo do modelo, a engenharia do produto irá projetar e parametrizar os componentes da carroceria em sistema CAD. A partir deste momento, a engenharia de manufatura terá condições necessárias para trabalhar em paralelo e analisar a característica total da peça, não somente tendo a vista exterior da peça, como também a parte que não é visível no estilo do modelo exposto nos workshops.

¹¹ Neste texto o termo *engineered scrap* será tratado como atividade responsável na obtenção da menor relação de pesos entre os retalhos originados no processo e o *blank* inicial.

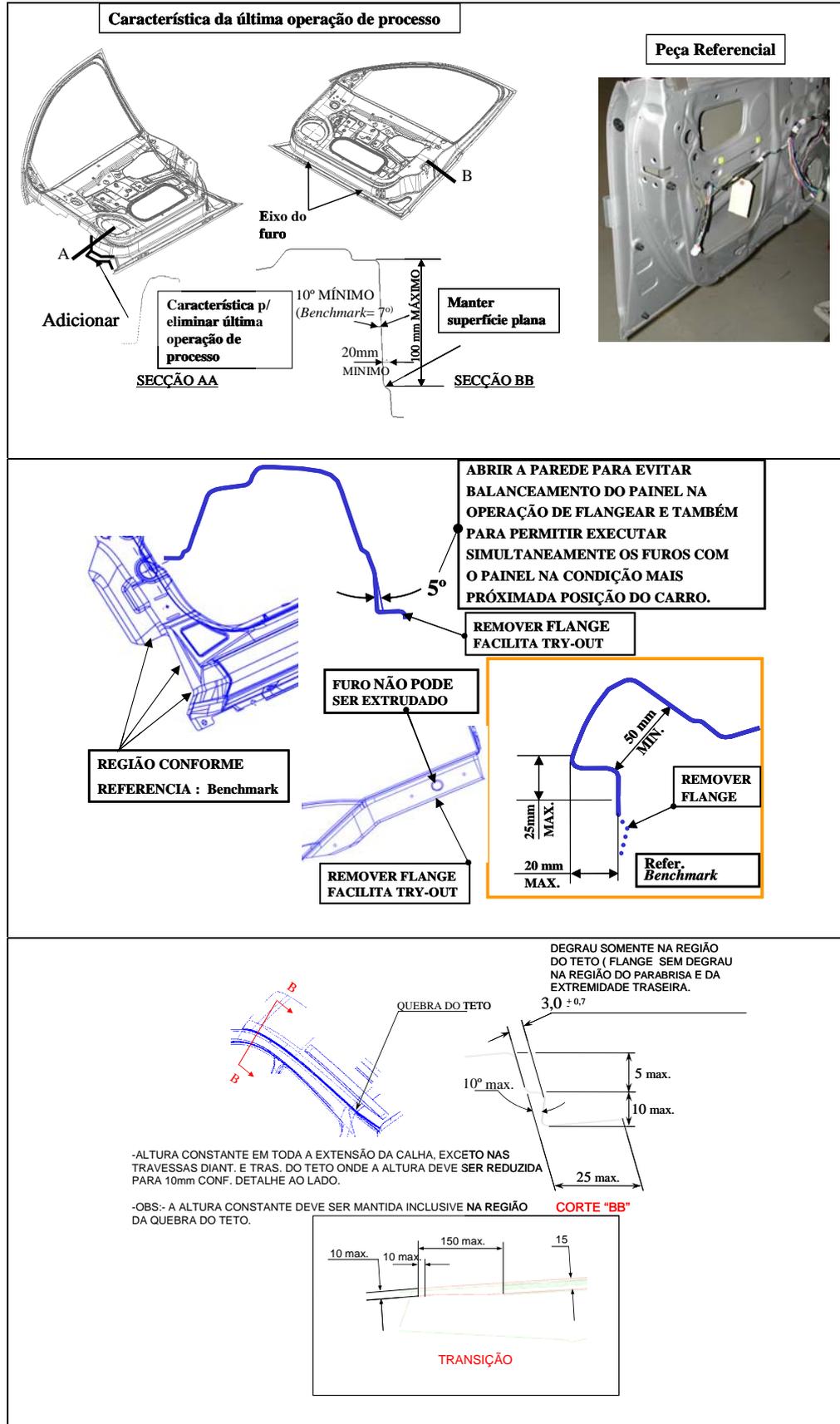


Figura 4.2.2 –Remoção do flange indicado, região de referência (*benchmarking*) e alteração do estilo do veículo.

Até então foi analisada somente a parte estética do veículo, ou seja, basicamente a superfície externa da carroceria. No momento em que se define o estilo do veículo, a engenharia de produtos projetará as peças por completo e através da utilização do CAD, serão todas matematicamente parametrizadas. Com isso, abre a possibilidade da engenharia de manufatura trabalhar em paralelo, modificando características das peças em função do benefício da sua *manufaturabilidade* e produtividade. Banco de dados de características padrões das peças, sistema CAD e softwares de simulação de conformação são ferramentas básicas da engenharia da manufatura. Mais uma vez, *benchmarking* e características referenciais de outras peças de outros modelos também são considerados antes da engenharia de produto consolidar os dados para o projeto em CAD.

Sempre trabalhando em avançado, critérios de manufatura são colocados no projeto das peças a serem utilizadas em testes e simulações em softwares de elementos finitos em *crash test* (teste de colisão) para análise de rigidez e durabilidade do veículo (BATALHA; SCHWARZWALD; DAMOULIS, 2004; DAMOULIS; BATALHA, 2003). Além disso, preliminarmente, faz-se estimativa de dimensão de *blank*, *nesting* do *blank*¹² e *engineered scrap*, informações estas que são avançadas e serão utilizadas para planejamento da matéria-prima da peça.

¹² *Nesting* será tratado neste texto como sendo o projeto de *layout* do *blank* ao longo da tira da bobina

Após validação virtual do *crash test*, o DFM será aplicado para projetos de peças que serão usadas em protótipos e a última e terceira etapa, o DFM somente é requerido em caso necessário de alteração de projeto. Em todas estas solicitações, o esquema e o procedimento de trabalho do DFM é similar, a ilustração a seguir demonstra de forma básica como isto acontece.

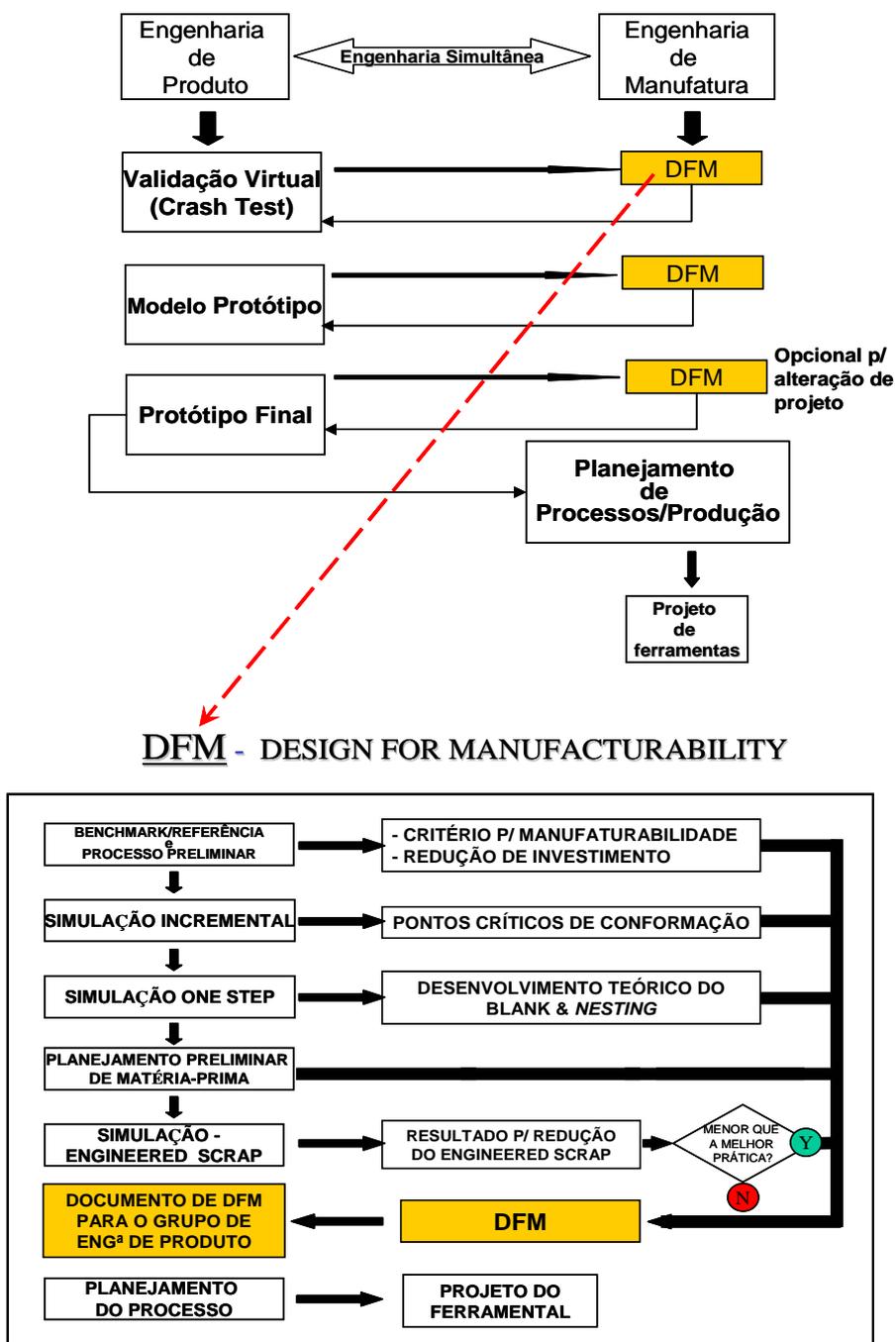


Figura 4.2.3 – Fluxo de DFM no desenvolvimento do projeto do painel.

4.2.2-Aplicação de DFM no painel lateral interno do veículo

Baseando-se nos cronogramas citados anteriormente:

Planejamento de processo preliminar: Inicialmente a peça projetada pela engenharia de produto era do tipo simples (uma peça conformada para cada ferramenta do processo), conforme figura 1. Baseada nesta peça parametrizada em CAD, a engenharia de manufatura começou a alterar o projeto pelos critérios de *manufaturabilidade* do processo e redução de desperdício em retalhos pela análise de *engineered scrap*.

Nesta análise percebeu-se a oportunidade de redução na geração de retalhos com a introdução de uma outra peça (extensão do painel lateral externo) no vão da porta traseira, então, paralelamente passou-se a trabalhar nesta proposta e análise de viabilidade técnica de manufatura, ferramentaria e disponibilidade e capacidade de conformação das linhas existentes na planta da estamparia. Após simulações e análises, a segunda opção foi adotada, então o processo que iria gerar o componente estampado como na figura 1, passou a ser planejada uma ferramenta para produzir os componentes lateral interno e extensão do lateral externo ao mesmo tempo conforme a ilustração da figura 2.

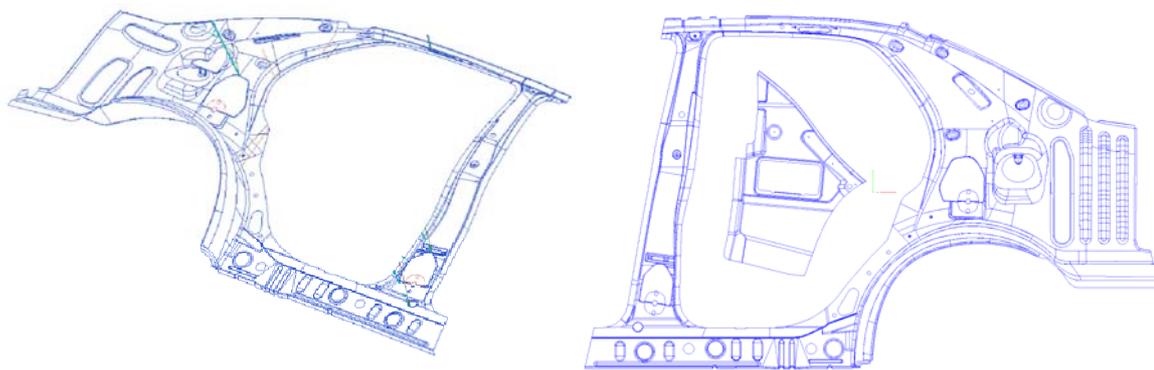


Figura 4.2.4 – Da esquerda para a direita: Projeto anterior e posterior, após DFM.

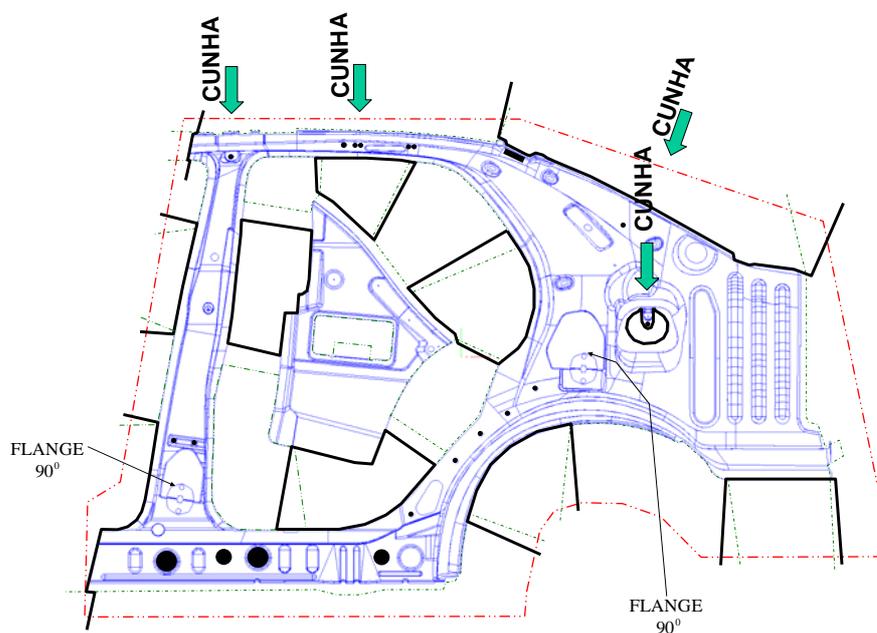


Figura 4.2.5 – Planejamento preliminar de processo.

As simulações incrementais são importantes para identificar preliminarmente regiões críticas na conformação, regiões estas que na primeira análise não eram problemáticas dentro do banco de dados das características padrões da peça.

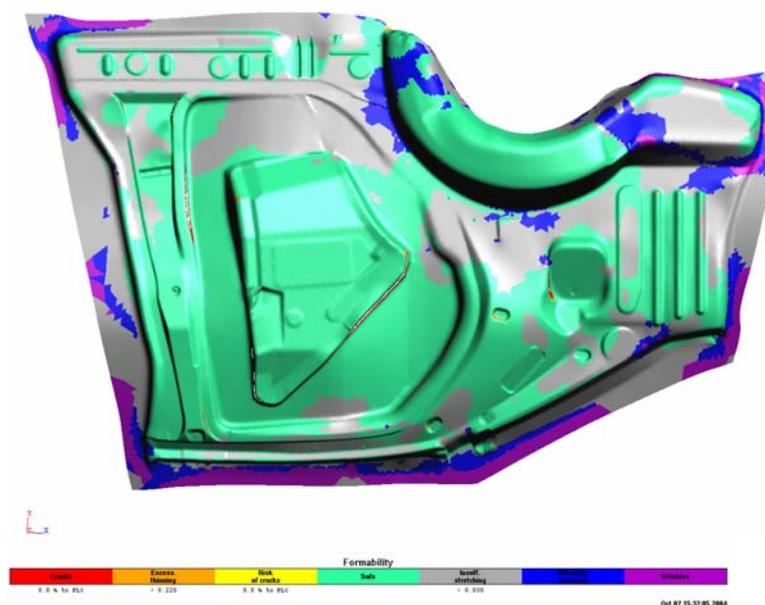


Figura 4.2.6 – Simulação incremental do painel mostrando rugas em violeta e rachaduras em vermelho

A determinação do contorno preliminar do *blank* e da melhor disposição de *layout (nesting)* do *blank* na tira da bobina que será recortada em um linha de corte é feita através da simulação por elementos finitos do tipo *one-step*¹³ e do tipo específico de determinação de *nesting* (Vide simulação no Anexo B).

¹³ O método de elementos finitos é efetivo na análise geral de problemas estruturais. Na prática, em conformação de chapas, há duas modalidades principais: *one-step* e incremental. Em situação em que não há requerimento de resultados muito refinados, o método *one-step* é mais viável na fase anterior e posterior do congelamento do estilo do modelo, devido ao tempo menor de processamento. Resultados típicos de *one-step* são: geometria e dimensão do *blank*, espessura, distribuição de tensões e esforços e predição de *springback* (BATALHA; SCHWARZWALD; DAMOULIS, 2004).

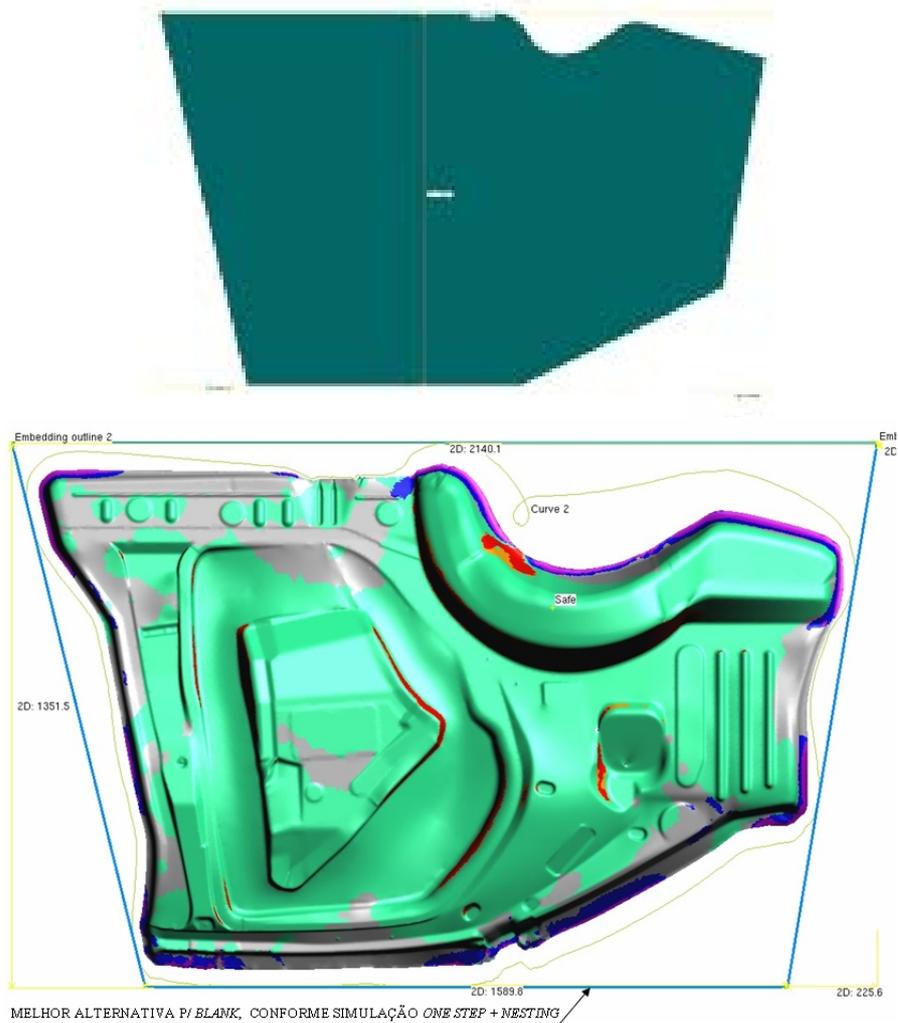
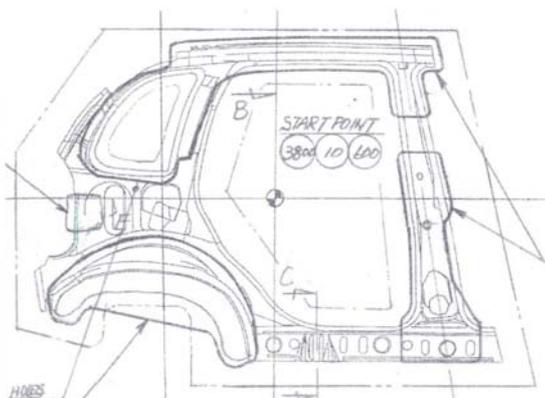


Figura 4.2.7 – *Blank* preliminarmente determinado e o pela simulação *one-step* e análise de *nesting* (contorno azul).

A figura seguinte ilustra a melhor prática de *engineered scrap*. Esta informação será referência, para a engenharia de manufatura, do melhor processo a ser utilizado em termos de redução de retalhos. Exatamente nesta análise foi vista a chance de redução de geração de retalhos.

Peça: painel lateral interno

Melhor referência
Engineered scrap: 64,1%



Pior referência
Engineered scrap: 70,6%

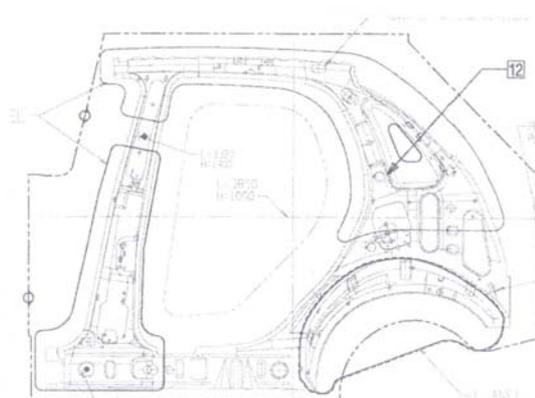
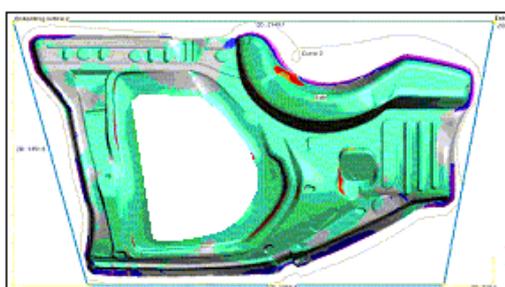


Figura 4.2.8 – Pior e melhor referência de *engineered scrap*

Eng. S crap = 60,8%



Eng. S Scrap = 54,1%

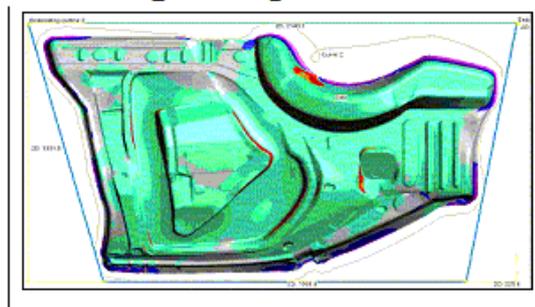


Figura 4.2.9 – Comparação de *engineered scrap* entre o projeto anterior e atual

No final, formulários são preparados com informações de mudanças do painel lateral e que serão enviados para a engenharia de produto. As alterações são classificadas em mandatórias ou que tem caráter de economia. Na primeira, a engenharia de produto é obrigada a fazer a alteração, por razão de impossibilidade de conformação da região ou por acréscimo de uma ferramenta para se fazer o processo. Na segunda, a engenharia de produto poderá adotar ou não a alteração, e esta, geralmente, proporciona redução de investimentos no ferramental, manutenção, material, etc, ou aumento na produtividade da linha de prensas, ou

conjunto para diminuir uma operação no processo. Isto significa que o número máximo padrão de operações no processo estabelecido para todas as peças ficou menor e conseqüentemente houve redução de uma ferramenta por família de peça.

- Deixou-se de gastar verba do recurso alocado para se investir na compra de linha automatizada de prensas para este novo projeto, com a confirmação da redução no número de operações, o que representa a desnecessidade de investir na compra de uma prensa e um robô, totalizando uma economia de UM 2.600.000,00;
- Redução em 11% na geração de retalhos (*engineered scrap*) com economia estimada de UM 384.400,00
- Eliminação de construção de 6 ferramentas o que representa estimativamente em UM 128.160,00

5 - CONCLUSÃO

A aplicação da ferramenta DFM no desenvolvimento dos componentes estampados varia muito de empresa para a empresa seja do ponto de vista da estratégia adotada seja nos padrões dos critérios de *manufaturabilidade*.

No exemplo do estudo de caso, esta empresa possui uma das maiores estruturas voltadas para fabricação de componentes estampados de médio a grande porte na região do mercosul, em se tratando de fábrica e engenharia. Linhas de prensas e concepções de *layout* antigas e novas se misturam em suas plantas.

Neste caso, havia duas situações que poderiam ser atendidas numa só ação, ou seja, a aplicação das ferramentas de engenharia simultânea reduziria o prazo de projeto do veículo como um todo e também atenderia a diretriz de reduzir o custo estrutural das plantas antigas.

No aspecto da fábrica, os principais resultados da aplicação da engenharia simultânea foram:

- Otimização do *layout*;
- Automação de linhas de prensas;
- Aumento de produtividade e redução no tempo de setup;
- Melhoria na logística para transporte de *racks*;
- Redução dos custos diretos;
- Redução em desperdícios na geração de retalhos;
- Redução no custo de manutenção de equipamentos e ferramentas;
- Aumento da receita com vendas de prensas e equipamentos.

No aspecto da engenharia, os principais resultados foram:

- Redução no tempo de projeto do veículo;
- Redução do investimento em máquinas e equipamentos;
- Redução do investimento em ferramentas de estampagem;
- Otimização do fluxo de informações e trabalho;
- Redução nos custos indiretos.

CAD e CAE são tecnologias essenciais para as áreas de engenharias de produto e manufatura e design, sem as quais seria praticamente inviável o projeto simultâneo.

A engenharia e a indústria local cada vez mais estão se tornando competitivas globalmente e isto é um requisito obrigatório de sobrevivência nos negócios de componentes estampados. O *benchmarking*, em se tratando de prazo de projeto e manufatura de estampados, continua com as empresas japonesas que desenvolvem em prazos menores e conseguem fazer processos de painéis em número reduzido de ferramentas na média.

Os ganhos obtidos foram muitos, porém, futuramente o estilo do veículo poderá ficar limitado a poucas variações, não permitindo mudanças bruscas da superfície, ou seja, o apelo pelo estilo inovativo da carroceria poderá ficar comprometido.

Neste estudo de caso, não houve um direcionamento específico para atendimento de critérios de meio ambiente, desmontagem da carroceria e reciclagem das peças metálicas em geral. Este é um assunto que, certamente, será considerado nos projetos futuros, já que, nas engenharias americanas e européias da corporação, são aspectos analisados nos planejamentos dos painéis. No futuro, durante o desenvolvimento do projeto de componentes estampados, os engenheiros deverão balancear os requerimentos de manufatura da peça com os de desmontagem, reciclagem e meio ambiente, requisitos estes que certamente entrarão em conflito.

Mediante este cenário, observamos que os critérios de *manufaturabilidade* e ferramentas de DFM devem sofrer revisões, atualizações e inovações periódicas para se moldarem aos direcionamentos estratégicos da empresa, seja pelo fato de poder lançar o produto em tempo menor ou para ter um carro de estilo inovador ou poder atender requisitos de meio ambiente, etc, o modo pelo qual se aplica o DFM sempre deverá ser dinâmico e eficaz naquilo que está planejado.

REFERÊNCIAS

- ADDOUCHE, Sid-ali. **Contribution à une démarche de conception optimisée des processus de désassemblage**. 203 f. These (Grade de docteur de l'universite de Franche-Comte en Automatique et Informatique), 2003.
- AGUIAR, E. D. **Relações de Fornecimento na Indústria Automobilística Paranaense: O Caso Chrysler – Dana**. 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- BATALHA, Gilmar Ferreira; SCHWARZWALD, R. C.; DAMOULIS, Gleiton Luiz. New trends in computer simulation as integrated tool for automotive components development. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUMERICAL METHODS IN INDUSTRIAL FORMING PROCESS., Columbus, Ohio, 2004. **Materials processing and design**. New York. p. 2103-2107.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. Introduction. In: _____. **Product Design for Manufacture and Assembly**. New York, 1994.1, p. 1-29.
- CHIUSOLI, R. F. Z.; DE TOLEDO, J. C. Engenharia simultânea: estudo de casos na indústria brasileira de autopeças. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 2., 2000, São Carlos. **Anais...**São Carlos: Universidade Federal de São Carlos-Departamento de Engenharia de Produção-GEPEQ-Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade, 2000. p. 10-19.
- DAMOULIS, Gleiton Luiz; BATALHA, Gilmar Ferreira. Desenvolvimento de processo de conformação de chapas metálicas usando simulação computacional como ferramenta integrada no desenvolvimento de carrocerias automotivas. **Ciência Engenharia / Science & Engineering Journal**, Uberlândia, v.13, p. 33-39, 2004. Apresentado ao Congresso Brasil de Engenharia de Fabricação, Uberlândia, 2003.
- DESAI, A.; MITAL, A. Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Cincinnati, p. 1-17, v. 32, abril 2003.
- DI SERIO, L. C. Tecnologia e competitividade:O caso Volkswagen do Brasil. In: III SIMPOI - SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INDUSTRIAIS, 2000. **Anais...**
- DUARTE, M. D. **Caracterização da Rotulagem Ambiental de Produtos**. Dissertação (Mestre em Engenharia, Especialidade em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

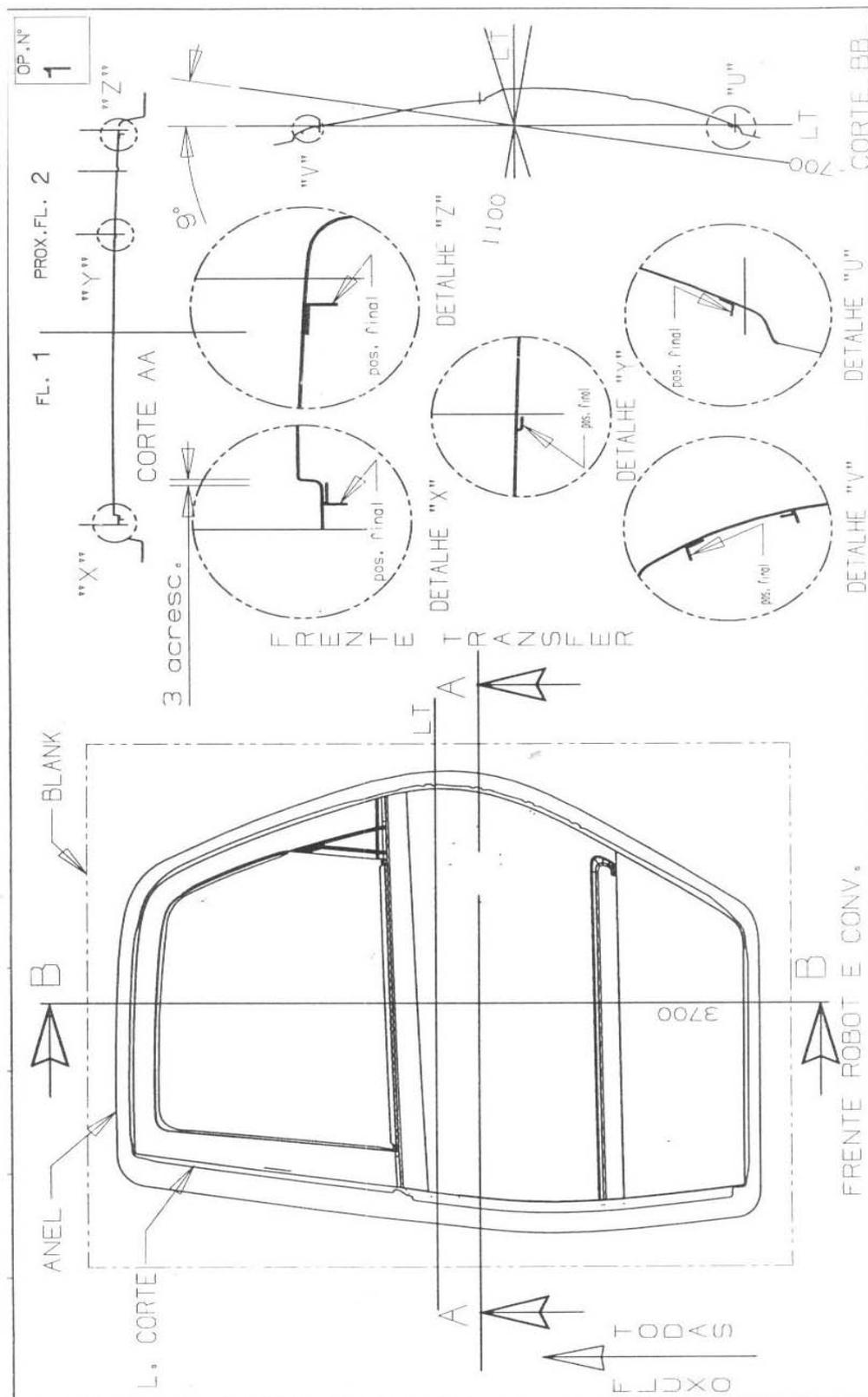
- FRANCISCO, M.; GIANNETI, B. F., ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial: Projeto para Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq12/art5.htm>>. Acesso em 28 ago. 2004.
- HARRISON, L. A. J.; Blount, G. N. Business Model Approach: Design "Versus" Economic Considerations for Automotive Recycling. **SAE Technical Paper Series**, Detroit, p. 1-8, março 2000.
- HARTLEY, J. R. **Engenharia Simultânea**: um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos. Tradução Francisco José Soares Horbe. Porto Alegre: Bookman, 1998. 255 p.
- HOCKERTS, K.; ADDA, S.; TEULON, H.; DOWDELL, D.; KIRKPATRICK N.; AUMÔNIER S. Beyond Life Cycle Assessment, an Integrative Design for Environment Approach for the Automotive Industry. **SAE Technical Paper Series**, Graz, p. 1-7, dez. 1998.
- KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000. 132 p.
- KUO, T. C.; Huang, S. H.; Zhang H. C. Design for manufacture and design for 'X': concepts applications and perspectives. **Computer & Industrial Engineering**, p 1-20, v. 41, maio 2001.
- MCLACHLIN, R. Management initiatives and just-in-time manufacturing. **Journal of Operations Management**, Manitoba, v. 15, p. 271-292, fev. 1997.
- MOTTA, J. R. S. T. Melhoria da qualidade do automóvel brasileiro. Brasília: Câmara dos Deputados, 2001. 5 p. (Nota técnica, 104036).
- NAKAMURA, G. T.; YOKOTA, M. T.; BATALHA, G. F. Linha de desmontagem de chapas de aço para reciclagem. 72 f. Trabalho de conclusão do curso, Depto Eng. Mecânica – EPUSP, São Paulo, 2002.
- SCHMIDT, S. Preventive Optimisation of Costs and Quality for the Total Life Cycle - design for manufacture, assembly, service, environment (DFMA). **SAE Technical Paper Series**, Graz, p. 1-9, dez. 1998.
- SCHOECH, H.; FLORIN, H.; KREISSIG, J.; EYERER, P. LCA Based Design for Environment in the Automotive Industry. **SAE Technical Paper Series**, Detroit, p. 1-7, abril 2000.
- SCHOECH, H.; FLORIN, H.; BETZ, M. Design for Environment (DfE) - important tool towards an environmental efficient product development. **SAE Technical Paper Series**, p. 1-6, 2001.

SCHULER, **Metal forming handbook**.. Berlin: Springer, 1998. 563 p.

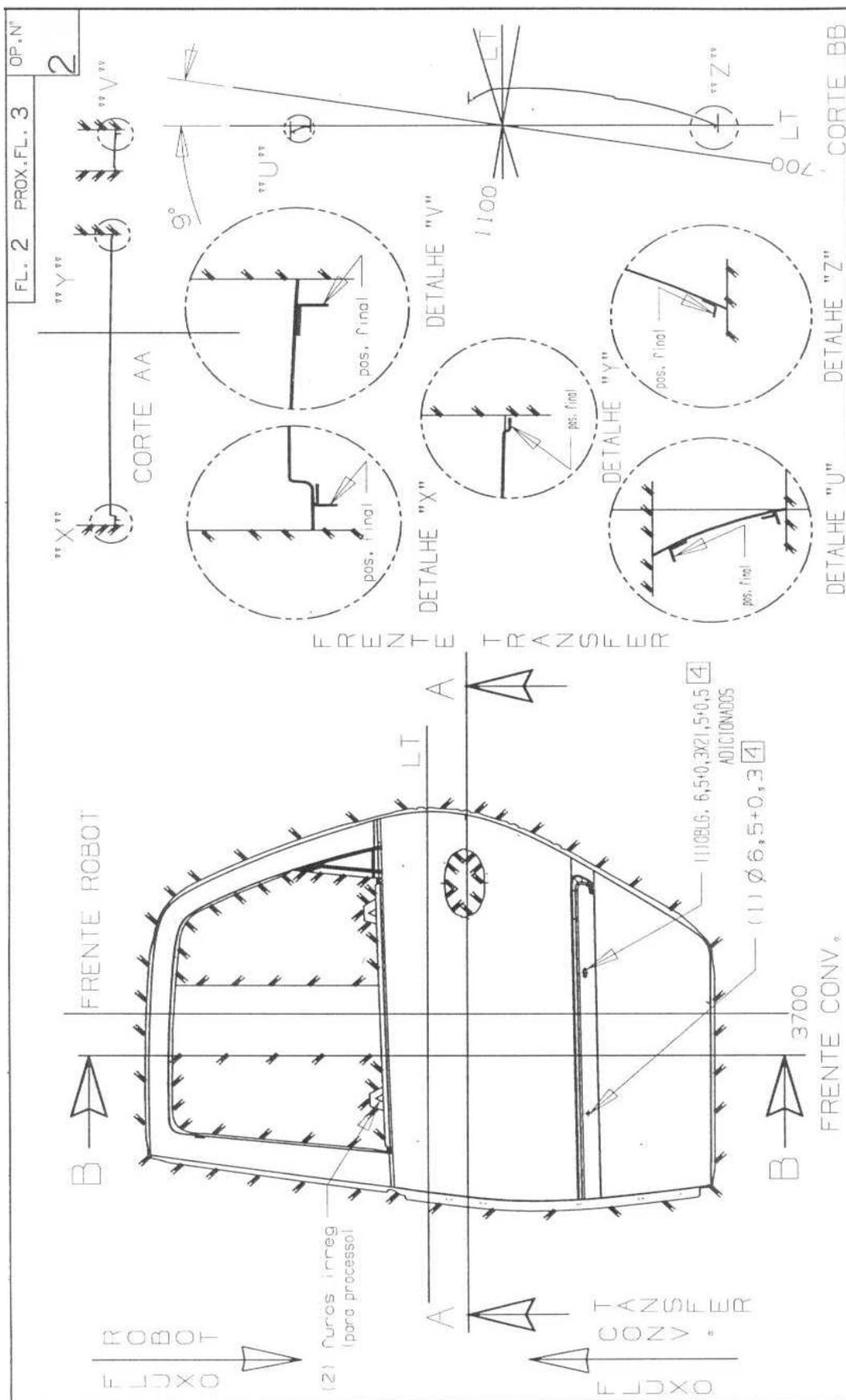
SILVA, Iris Bento da. Cap. 1: 1.2 Competitividade da indústria global, 1.3 Melhoria contínua de qualidade: uma proposta. In:_____.**Modelo de sistema integrado de produto e processo com melhoria contínua da qualidade**. 2000. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. p. 5 – 17.

THURSTON, D. L. internalizing environmental impacts in design. In: Design for Manufacturability, ASME 1994. **Anais...**p. 107-113.

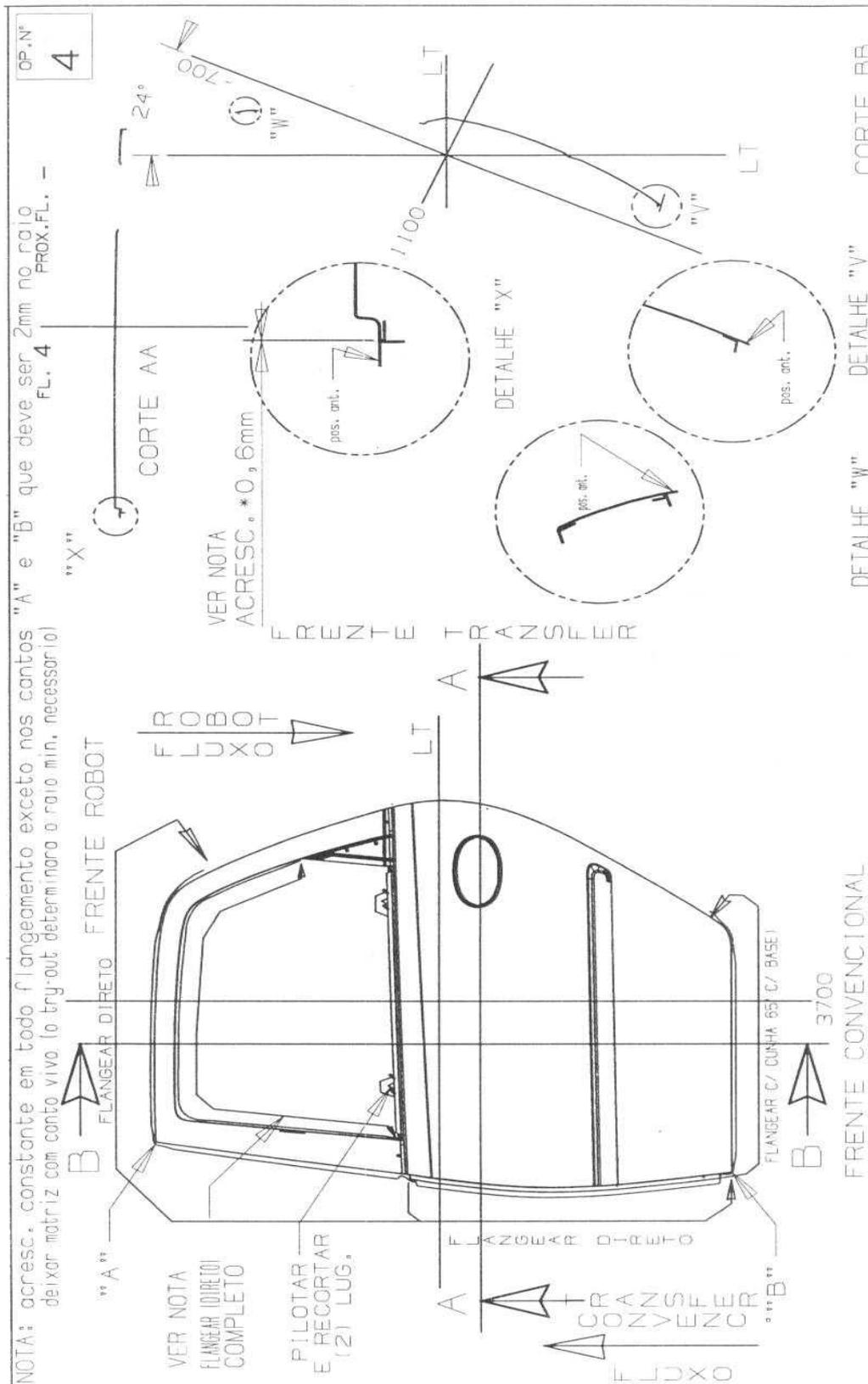
- Primeira operação: Repuxar



- Segunda operação: Recortar e puncionar

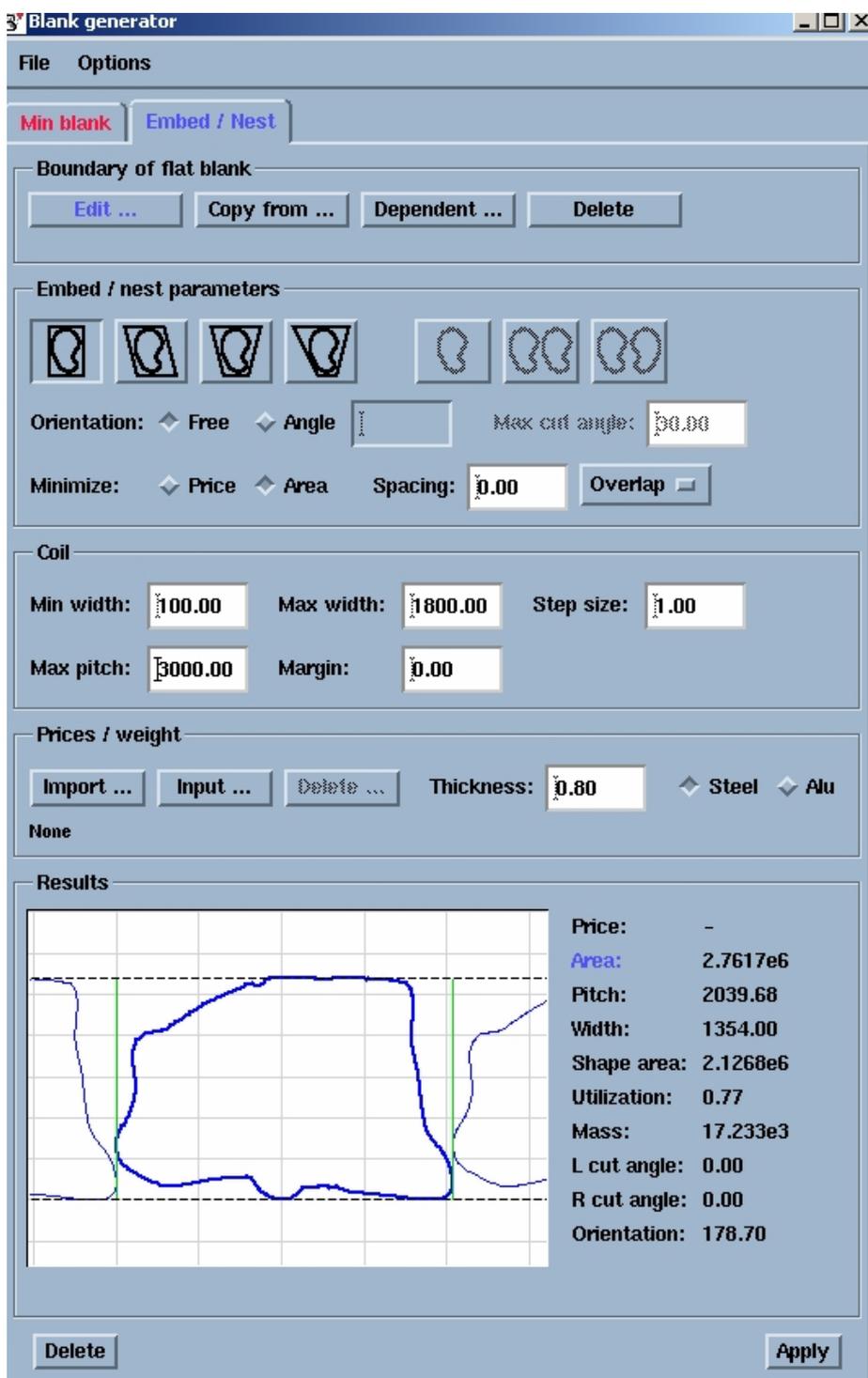


Quarta operação: Recortar, flangear e puncionar

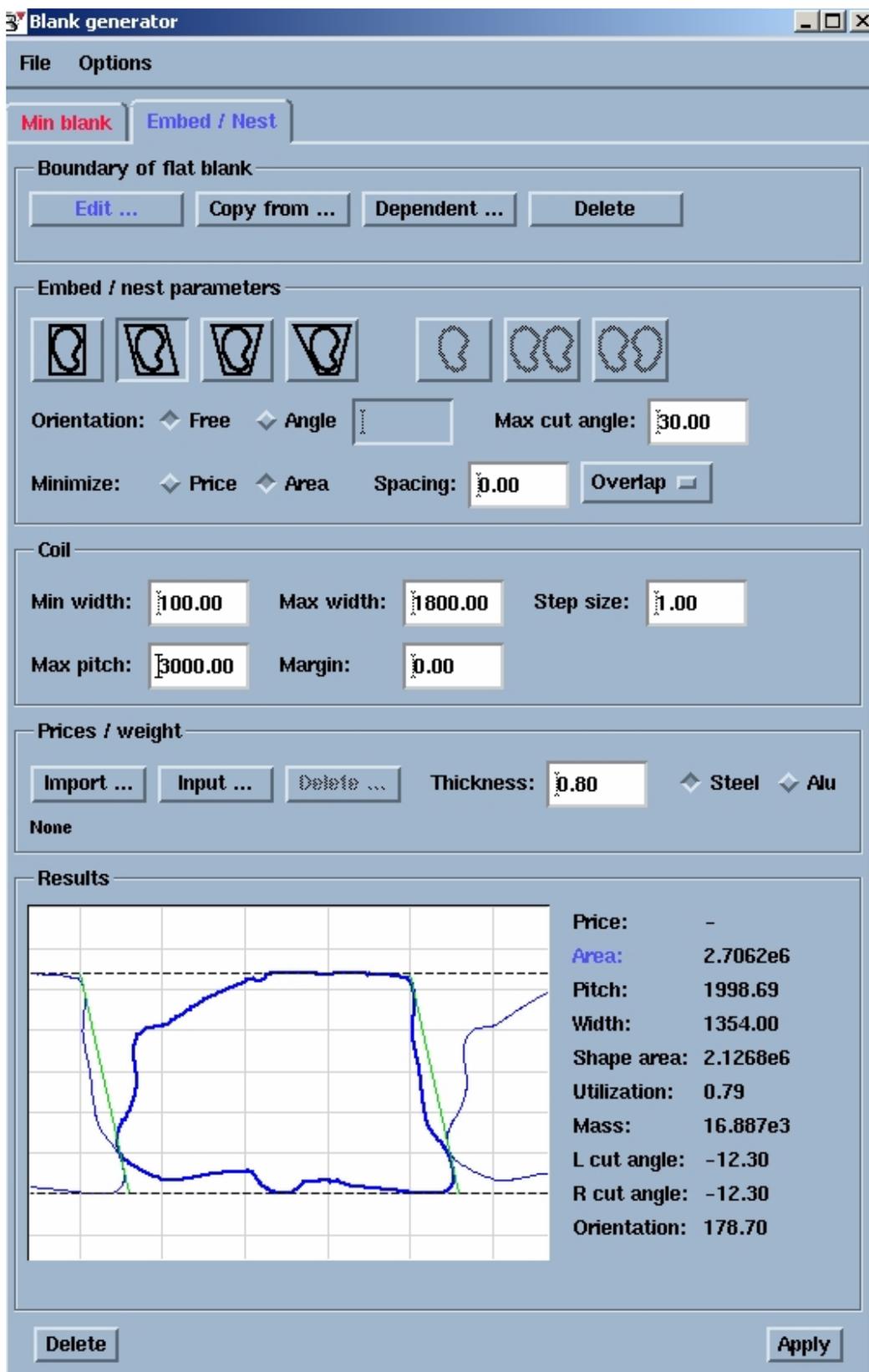


Anexo B – Resultados da simulação para obtenção do melhor *layout* do *blank* na tira da bobina (*nesting*)

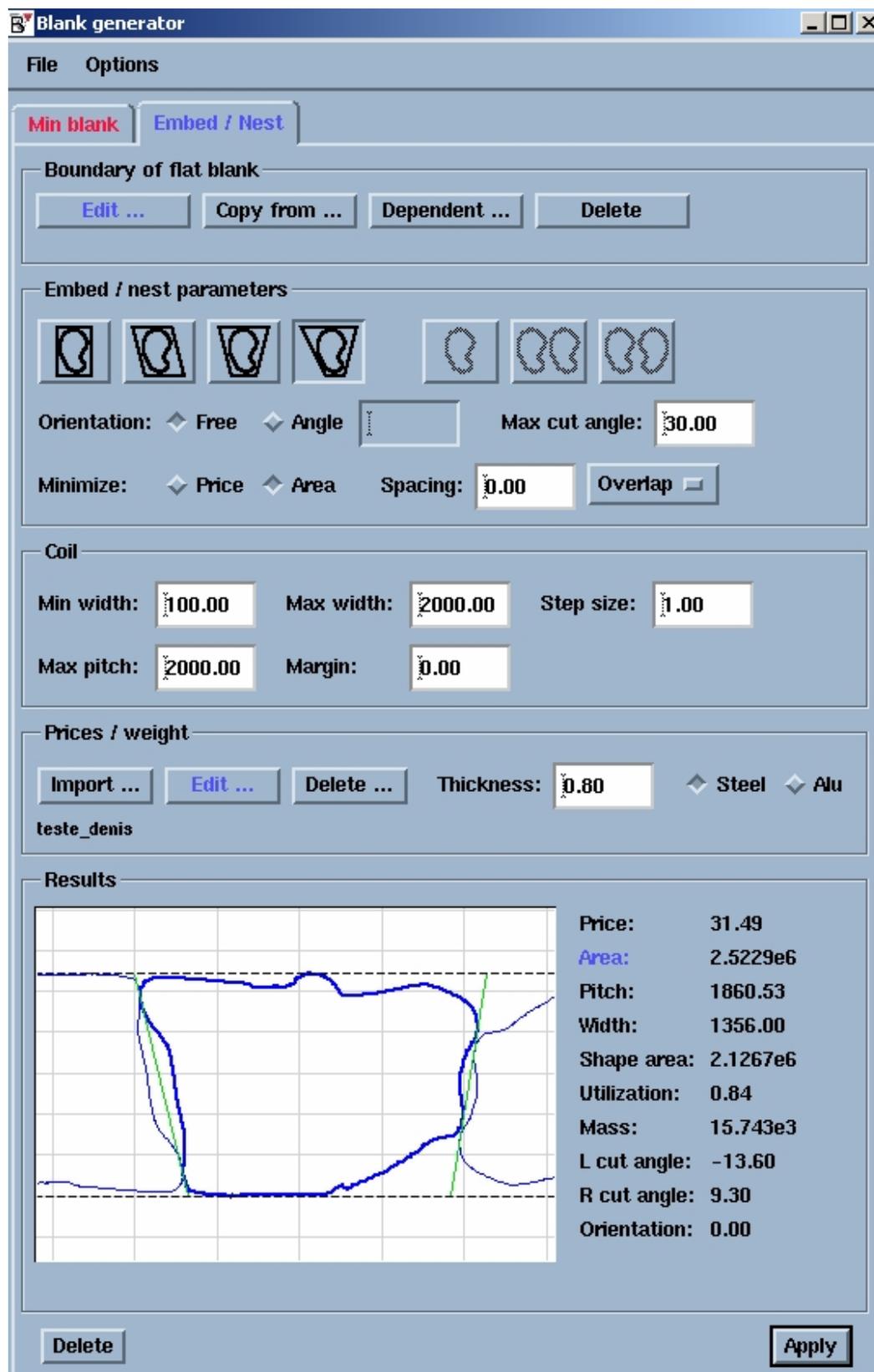
- Resultado 1:



- Resultado 2:



Resultado 3:



Resultado Final:

Blank generator

File Options

Min blank **Embed / Nest**

Boundary of flat blank

Edit ... Copy from ... Dependent ... Delete

Embed / nest parameters

Orientation: Free Angle Max cut angle: 30.00

Minimize: Price Area Spacing: 0.00 Overlap

Coil

Min width: 100.00 Max width: 1800.00 Step size: 1.00

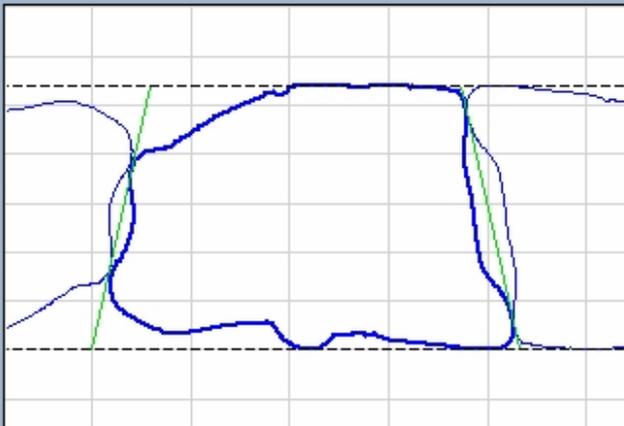
Max pitch: 3000.00 Margin: 0.00

Prices / weight

Import ... Input ... Delete ... Thickness: 0.80 Steel Alu

None

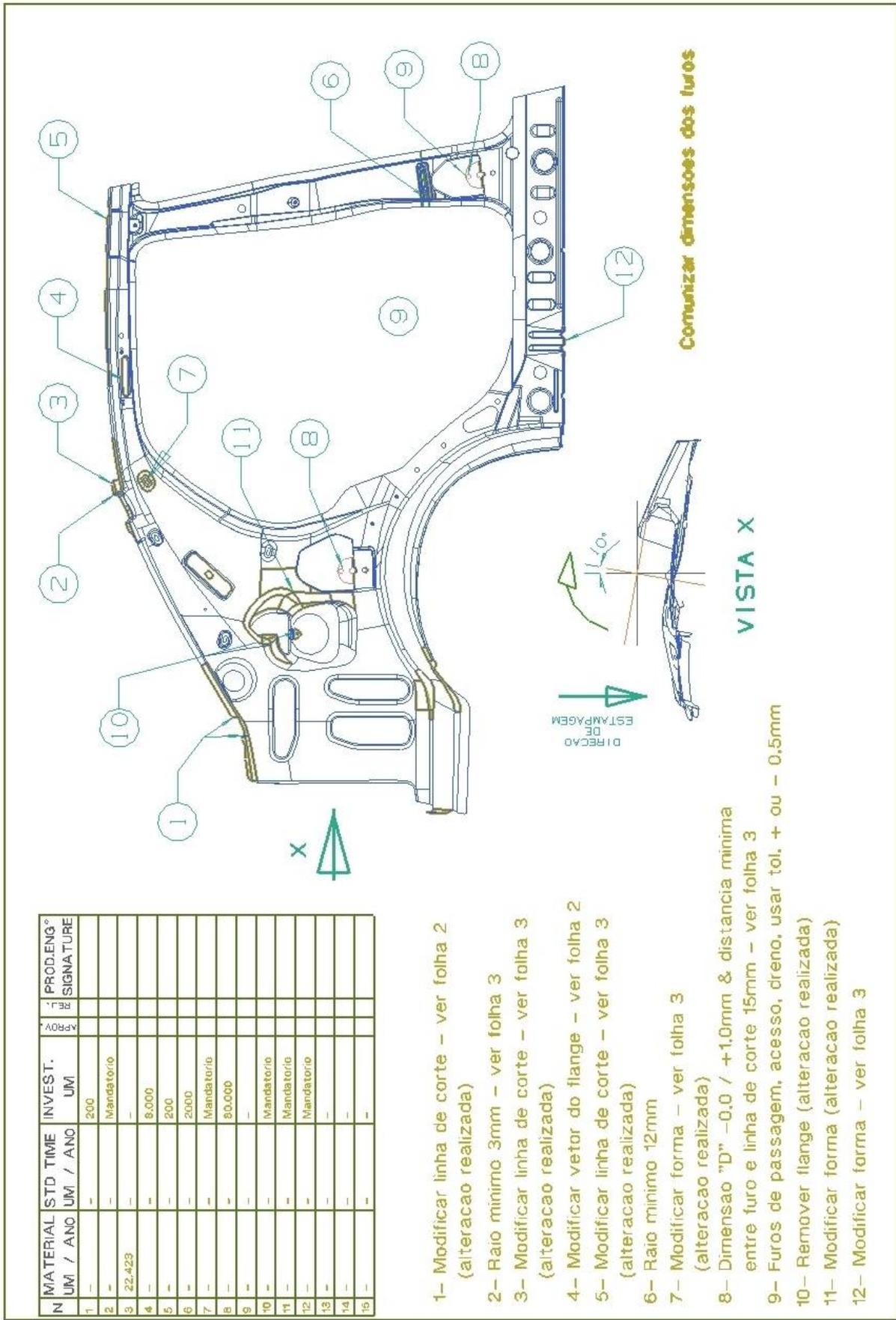
Results

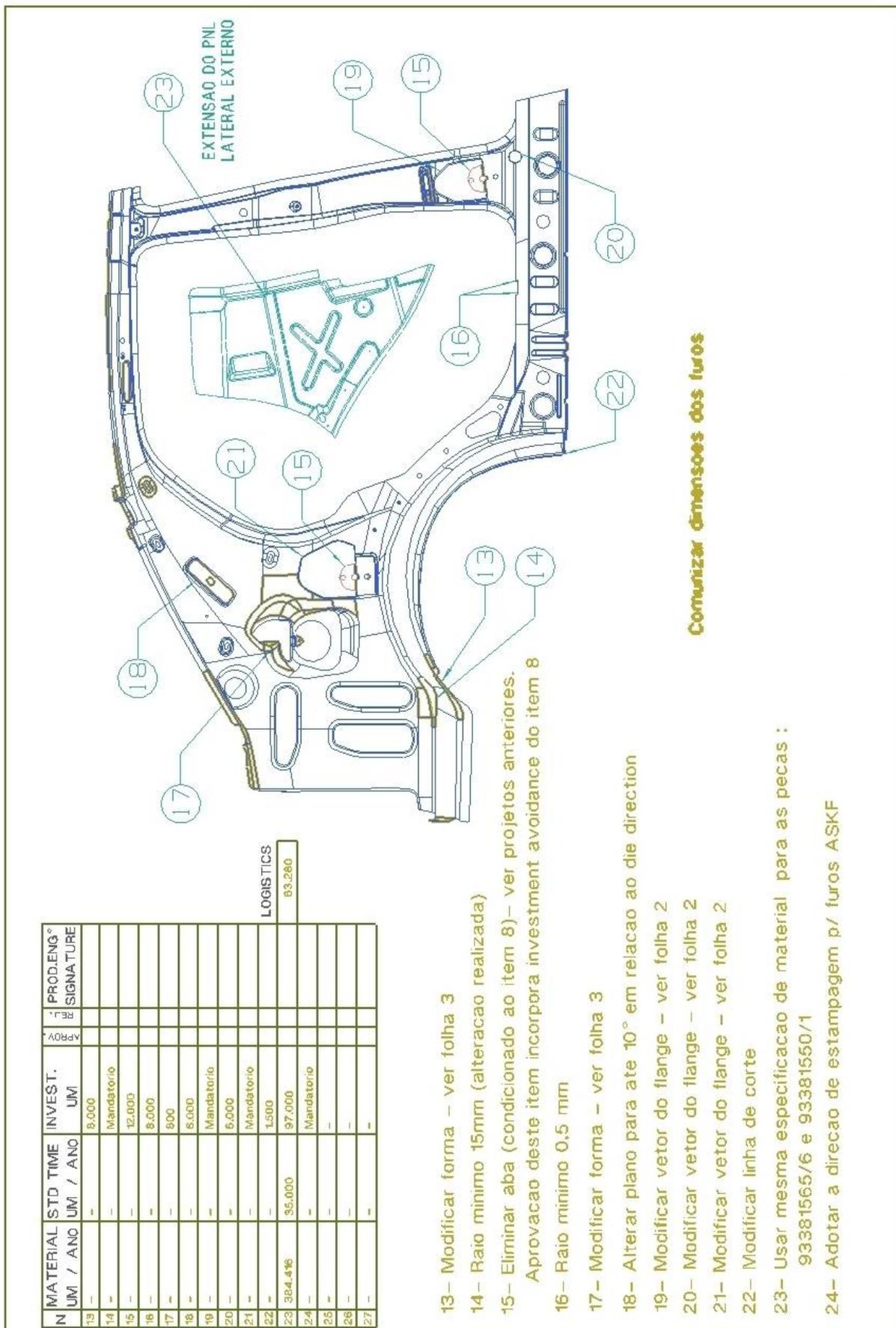


Price:	-
Area:	2.5280e6
Pitch:	1867.04
Width:	1354.00
Shape area:	2.1268e6
Utilization:	0.84
Mass:	15.775e3
L cut angle:	12.30
R cut angle:	-12.30
Orientation:	178.70

Delete Apply

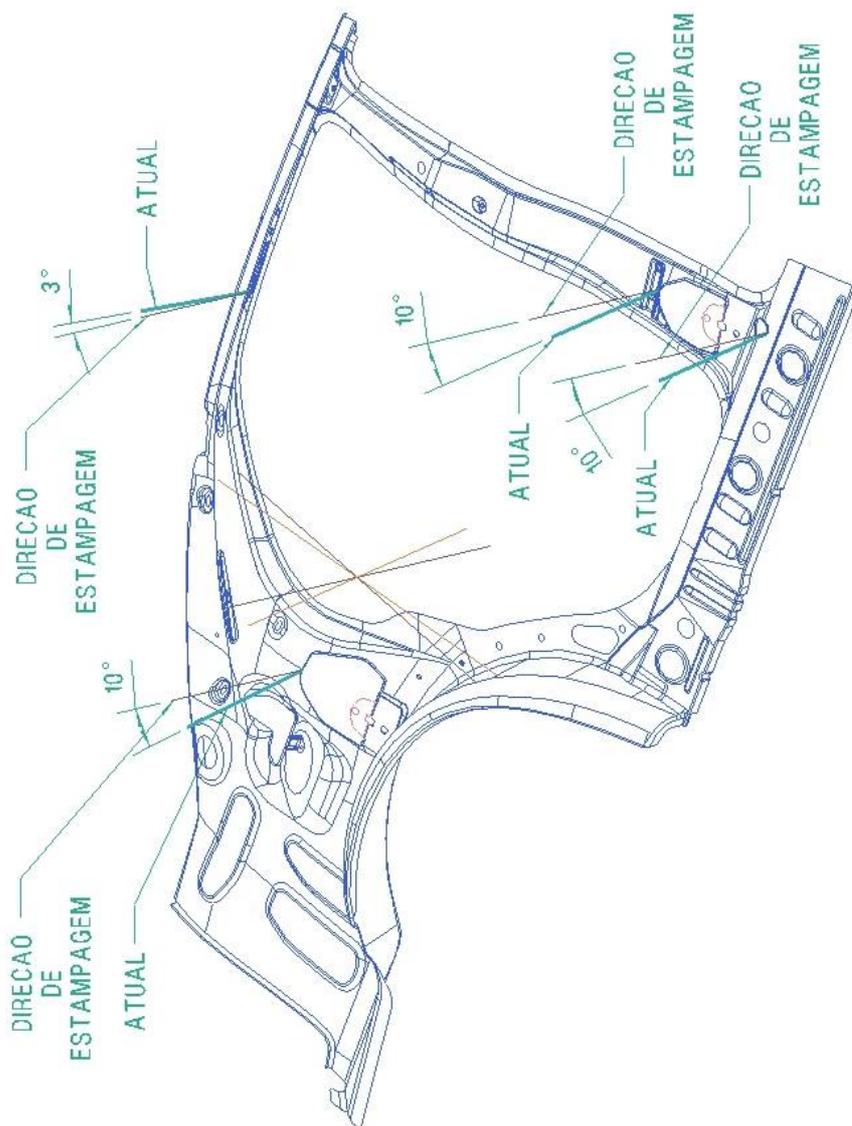
Anexo C – DFM das peças



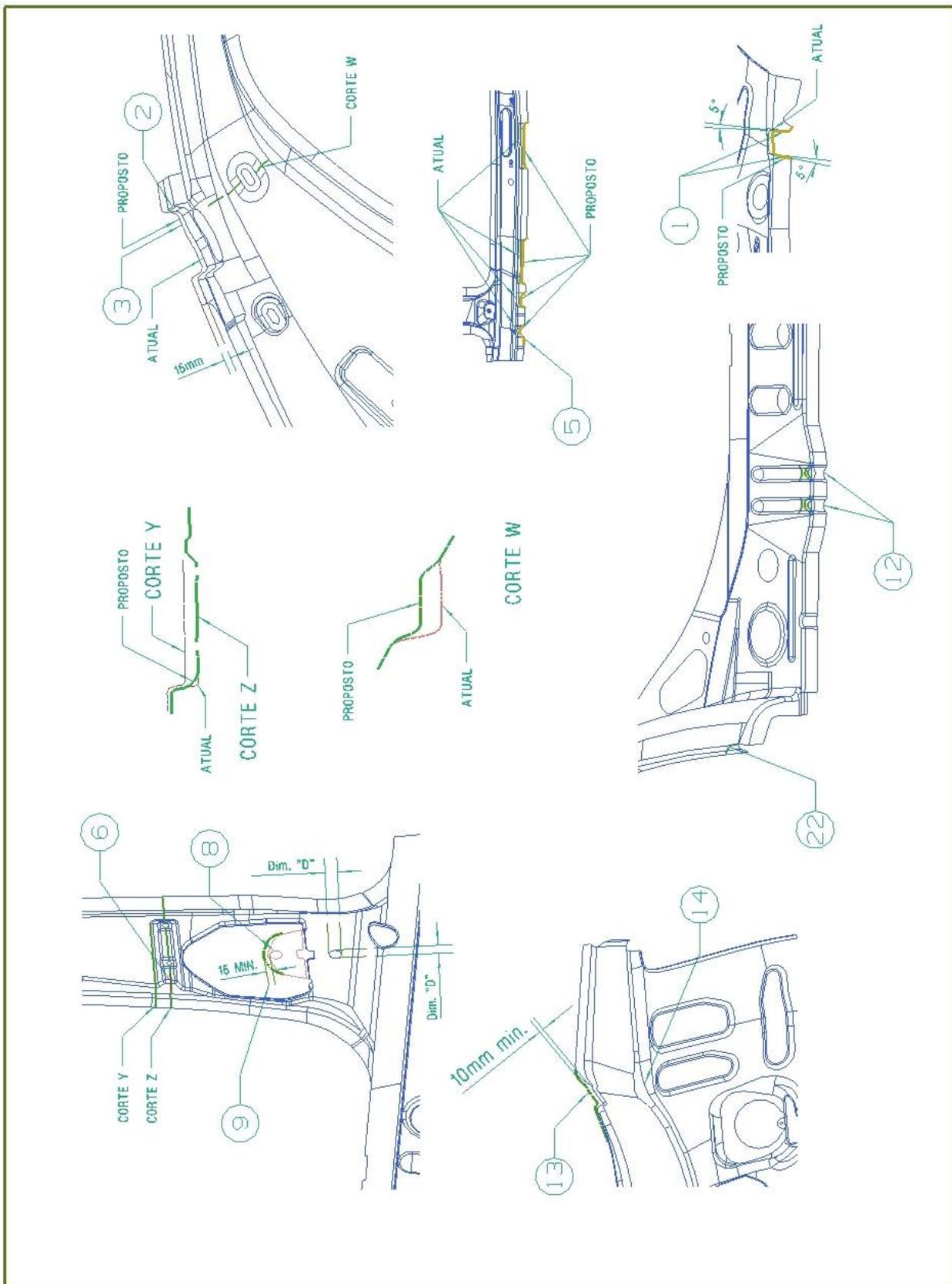


- 13- Modificar forma – ver folha 3
- 14- Raio mínimo 15mm (alteração realizada)
- 15- Eliminar aba (condicionado ao item 8) – ver projetos anteriores.
Aprovação deste item incorpora investment avoidance do item 8
- 16- Raio mínimo 0,5 mm
- 17- Modificar forma – ver folha 3
- 18- Alterar plano para até 10° em relação ao die direction
- 19- Modificar vetor do flange – ver folha 2
- 20- Modificar vetor do flange – ver folha 2
- 21- Modificar vetor do flange – ver folha 2
- 22- Modificar linha de corte
- 23- Usar mesma especificação de material para as peças :
93381565/6 e 93381550/1
- 24- Adotar a direção de estampagem p/ furos ASKF

Comunizar dimensões dos furos



- 4
- 19
- 20
- 21



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)