

O PAPEL DE PROTÓTIPOS VIRTUAIS E FÍSICOS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO - UM ESTUDO DE CASO

*Israel Mercer Neto*¹

*Neri Volpato*²

*Silvio Luiz de Mello Junqueira*³

Resumo. O processo de desenvolvimento de produto pode ser acelerado e realizado com melhor qualidade quando se combinam recursos tecnológicos e pessoal técnico necessário dentro da ótica da Engenharia Simultânea. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um gabinete de um produto eletrônico dentro deste conceito, utilizando as tecnologias CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering) e a Prototipagem Rápida. É apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho e, por meio deste estudo de caso, é mostrado as vantagens do uso de modelos CAD 3D, das simulações CAE e da fabricação de protótipos físicos ainda na etapa de projeto no desenvolvimento de produto.

Palavras-Chave: Protótipo, Engenharia Simultânea, CAD, CAE.

Abstract: The product development process can be improved when technological resources and a development team are combined under the Concurrent Engineering concept. This work presents the development of an electronic good container using CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering) and Rapid Prototyping technologies under this concept. It also presents the methodology used and, via this case study, shows the advantages of using these technologies early in the design stage of the product.

Keywords: Prototype, Concurrent Engineering, CAD, CAE.

¹ Graduado em Tecnologia Mecânica – Mecatrônica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Professor do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *e-mail: israelmn@cefetpr.br*

² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de Leeds - Inglaterra. Professor do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *e-mail: nvolpato@cefetpr.br*

³ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade do Texas – EUA. Professor do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *e-mail: silvio@cefetpr.br*

1. Introdução

Os profissionais de desenvolvimento de produto (design, projeto, fabricação, etc.) não podem executar os seus trabalhos de forma individual ou independente dos resultados dos trabalhos da equipe. Somente a realização das atividades de forma afinadas entre todos os participantes leva a resultados satisfatórios no processo de desenvolvimento de produto (Pahl *et al.* 2005). Para desenvolver produtos dentro do contexto acima é necessário uma definição clara das etapas do processo, das tarefas de cada integrante e da maneira que transcorre a troca das informações.

Ainda, segundo Pahl *et al.* (2005), a busca pela eficiência do processo de projeto e desenvolvimento visa aos seguintes pontos:

- redução da interação interna, ou seja, repetições das mesmas etapas de trabalho;
- redução da interação externa, retorno a uma etapa de trabalho já realizada ou até mesmo uma nova etapa de trabalho;
- omissão de algumas etapas, quando não necessárias;
- execução em paralelo de etapas de trabalho.

Este último ponto é fundamental quando se fala em redução de tempo no processo de desenvolvimento de um produto. Agregando-se este à uma equipe multidisciplinar, cria-se os fundamentos para a Engenharia Simultânea (ES).

A ES surgiu em meados de 1980, e tem como característica principal a execução das etapas de engenharia em paralelo (Hartley, 1992), como observado na Figura 1. Desta forma, tem-se um processo simultâneo onde as etapas de concepção, desenvolvimento, industrialização e produção são trabalhadas de forma integrada, resultando assim numa redução de tempo e custos.

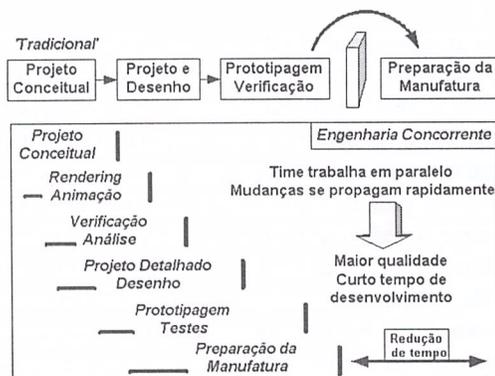


FIGURA 1. Fluxograma representativo dos fundamentos da Engenharia Simultânea (Sohlenius, 1992).

Com o advento das tecnologias computacionais dentro do processo de desenvolvimento de produto, a troca, o aproveitamento e a documentação das tarefas foram facilitadas no tocante a tempo e facilidade de manipulação. Dentre as muitas ferramentas existentes, podem-se destacar as ferramentas CAD (*Computer Aided Design*), CAE (*Computer Aided Engineering*) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Programas CAD consistem na criação de modelos virtuais que fornecem apoio às atividades de projeto como *layout* e detalhamento do produto. Informações como volume, massa, propriedade física do material, podem ser inseridas nos modelos CAD. Essas informações podem ser reutilizadas em outros sistemas, como por exemplo, o CAE, *softwares* responsáveis pelas análises de Engenharia no produto. O uso do CAM traz para a etapa de concepção do produto a área da fabricação, esta que em outra metodologia que não a ES, seria tratada somente no final do desenvolvimento do produto. Essa integração permite que o projeto do produto seja facilitado no que diz respeito à fabricação, montagem e inspeção do produto, aumentando assim a qualidade do mesmo. Adicionalmente, observou-se que com o desenvolvimento das tecnologias CAD/CAM essa integração vem se tornando cada vez mais eficiente, colaborando também para o compartilhamento das informações.

Um recurso que pode ser utilizado para auxiliar na comunicação entre as pessoas da equipe é o uso de protótipos, sejam eles, virtuais (modelos eletrônicos tridimensionais) ou físicos. Segundo Volpato (1999), os protótipos físicos são um excelente auxílio para a Engenharia Simultânea, porque contribuem para o aprendizado, comunicação e integração entre a equipe multidisciplinar. Além das tecnologias CAD/CAM 3D estarem se tornando mais acessíveis, pode-se destacar as tecnologias de Prototipagem Rápida para a fabricação de protótipos físicos, que consiste na fabricação do protótipo através do princípio da manufatura por camadas. A partir de um modelo feito em CAD 3D é possível obter-se o protótipo físico.

Este trabalho apresenta um estudo de caso objetivando enfatizar a importância da utilização das ferramentas acima apresentadas para a obtenção de protótipos virtuais e físicos e, análises de Engenharia. No desenrolar do trabalho, as etapas do desenvolvimento do produto foram tratadas dentro do contexto da ES. As tecnologias computacionais foram aplicadas no desenvolvimento do gabinete de um produto eletrônico produzido pela SDS, cuja função é o monitoramento e controle dos parâmetros de rede, tal como a qualidade da energia elétrica fornecida aos equipamentos ligados a ela. Apesar de todo o produto ter sido desenvolvido no CITEC (Centro de Inovação Tecnológica) da UTFPR, envolvendo a parte mecânica (gabinete), eletrônica (placas internas) e a programação (*software* de controle), apenas o desenvolvimento da parte mecânica será apresentada neste trabalho.

2. Metodologia

Inicialmente, foi definido o time de trabalho para o desenvolvimento do produto (Tabela 1). Este time é composto basicamente por profissionais da área de design, mecânica e eletrônica. Além da equipe citada, houve consulta, durante todo o desenvolvimento, a fornecedores de componentes e empresas responsáveis pela fabricação, tanto da parte mecânica (ferramentarias) quanto da eletrônica.

TABELA 1. Time de Trabalho.

Fases do Projeto	Áreas Envolvidas	Empresas / Laboratórios	Qtd. Int.
Design		Tec Design (Empresa Externa)	2
Desenvolvimento	Mecânica	NUFER (Núcleo de Prototipagem e Ferramental)	3
	Eletrônica	LACIT (Laboratório de Ciências Térmicas)	2
	Protótipos	GAP (Grupo de Projeto e Análise de PCIs)	2
	montagem	Q ₃ E (Grupo de Qualidade e Eficiência Energética)	1
	Testes	SDS (Soluções em Desenvolvimento de Sistemas) - Empresa Externa	2
Testes		NUFER	2
		SDS	2
		SDS	2
Fabricação	Mecânica	Empresa contratada para a execução da fabricação	---
	Eletrônica	Empresa contratada para a execução da fabricação	----

O ponto de partida do desenvolvimento do gabinete ocorreu no grupo de Design, que concebeu os primeiros modelos do produto a partir dos requisitos do cliente utilizando o sistema CAD *Rhinoceros*. A área da mecânica não foi englobada nesse primeiro momento. O grupo de desenvolvimento da parte mecânica recebeu do Design os modelos geométricos 3D dos componentes (num total de 3: i)carcaça; ii)base e; iii)clip) no formato IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*) apresentados na Figura 2. A extensão IGES é um formato neutro de arquivo que permite a manipulação dos modelos em qualquer *software* CAD, independente da plataforma que o modelo tenha sido construído. Os componentes foram remodelados, gerando modelos geométricos em sólidos pela equipe da mecânica, facilitando assim a manipulação das geometrias. Foi utilizando o programa CAD *Pro-Engineer* da Empresa PTC. A partir deste ponto, todas as alterações e correções foram concentradas neste sistema, centralizando o desenvolvimento.

Tendo-se as versões iniciais dos modelos em sólidos, estes foram fornecidos para a equipe responsável pelas simulações CAE. Para a análise CAE foi utilizado o programa *Flotherm* (versão 4.1), destinado ao estudo térmico em sistemas onde a dissipação de potência provoca gradiente de temperatura. O programa é baseado no método dos volumes finitos, usado no estudo da dinâmica dos fluidos computacional. O modelo térmico foi construído baseado

nos dados fornecidos pela empresa parceira, tais como: geometria do módulo, localização dos componentes, potências dissipadas e propriedades materiais construtivos.

Durante os estudos CAD, foram realizadas várias análises no modelo virtual do produto em busca de erros de projeto. Uma ferramenta importante de análise é que apresenta possibilidade de montar todas as peças de um produto verificando a existência de interferência entre as mesmas, bem como toda a parte dimensional. Na presente análise, foram modelados não somente os três componentes do gabinete, mas também todas as placas e principais componentes eletrônicos a serem alojados no interior do produto.

Na seqüência partiu-se para a confecção do protótipo físico do produto obtido por Prototipagem Rápida. Nesta etapa foi utilizada a tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling* – Modelagem por Fusão e Deposição) - equipamento FDM 2000 do Laboratório NUFER da UTFPR - para uma primeira montagem física com as placas eletrônicas, estas desenvolvidas pelos integrantes da eletrônica.

A equipe de testes recebeu o protótipo do gabinete junto com as placas eletrônicas e demais componentes. Durante a montagem foram feitas anotações de todas as dificuldades e incompatibilidades encontradas e também foram realizadas medições de temperaturas (experimental e através de simulação numérica) para alimentarem o modelo virtual CAE.

Foram levantados os problemas e estes discutidos em reunião com a equipe de projeto. A próxima etapa foi a correção das falhas encontradas, e a geração de novos modelos matemáticos e também um segundo grupo de protótipos físicos.

A comunicação entre a equipe foi realizada através de reuniões, muitas destas feitas na frente do computador com modelos virtuais, telefonemas e correio eletrônico. Isto visando acelerar o processo de troca e distribuição das informações para as diversas áreas envolvidas.

Esta metodologia descreve como foi conduzido o trabalho desde a concepção até as etapas iniciais da fabricação, sendo que o objetivo do trabalho não foi desenvolver uma metodologia para tal finalidade.

3. Apresentação do Produto - Estudo de Caso

O produto utilizado neste estudo é composto basicamente de uma parte eletrônica, responsável pelo monitoramento e proteção de uma rede elétrica, e por uma parte mecânica (gabinete de plástico a ser injetado), que deverá acomodar e proteger a parte eletrônica. Trata-se de um produto novo, ainda não existente no mercado que foi idealizado pela empresa SDS. A Figura 2 mostra os modelos recebidos do grupo de Design. Na Figura 2(a) tem-se o gabinete formado pela carcaça, base e clip e na Figura 2(b) os componentes eletrônicos do produto.

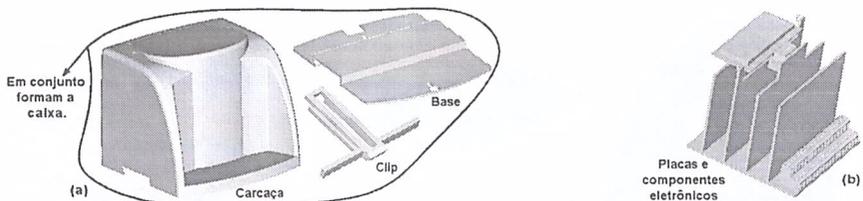


FIGURA 2. (a) gabinete; (b) componentes eletrônicos.

Para facilitar o entendimento do estudo de caso, é apresentado em separado a utilização de CAD, da ferramenta CAE e do protótipo físico. Contudo, para o desenvolvimento desse estudo informações foram trocadas durante todo o tempo de desenvolvimento do produto.

3.1. Modelos CAD - Protótipo Virtual

Em função das necessidades de uma maior potencialidade de formas geométricas, principalmente formas orgânicas, o pessoal de design geralmente utiliza sistemas CAD com modeladores matemáticos conhecidos como de superfície. Desta forma, somente a casca externa dos componentes (sem espessura) é modelada, pois o interesse inicial do design é um resultado visual. Com a exportação da geometria para o formato IGES do Rhinoceros e importação no sistema CAD Pro-Engineer (isso valendo para quaisquer sistemas CAD), perde-se as facilidades de alteração dos modelos, o que é fundamental nas etapas iniciais do desenvolvimento. Isto ocorre pelo fato do modelo ser importado como uma única entidade matemática, conhecida como *feature*. Adicionalmente, não há a preocupação com o detalhamento dos componentes nesta fase inicial e os modelos gerados não representavam um volume fechado, característica importante para o trabalho de engenharia (detalhamento). Sendo assim, houve a necessidade de modelar novamente o conjunto no CAD *Pro-engineer*. Sendo assim, os modelos no formato IGES recebidos do grupo de Design não puderam ser aproveitados para a construção dos modelos sólidos. O sistema *Pro-Engineer* conseguiu ler o arquivo IGES e deste foram retiradas as informações necessárias à modelagem 3D dos componentes mecânicos (Figura 3). Observa-se que esta incompatibilidade entre design e engenharia gerou a necessidade de retrabalho no processo de desenvolvimento de produto.

Para a acomodação correta dos componentes eletrônicos dentro da caixa foi necessário a modelagem geométrica dos mesmos. Os modelos iniciais também vieram do Design, mas assim como os modelos da parte mecânica, a extensão era IGES. Desta maneira, foram criados os modelos das placas eletrônicas com os principais componentes que apresentam impacto no gabinete (Figura 4). Isto porque as dimensões, formas e dispositivos de fixação da caixa eram dependentes da disposição e tamanho dos componentes eletrônicos utilizados.

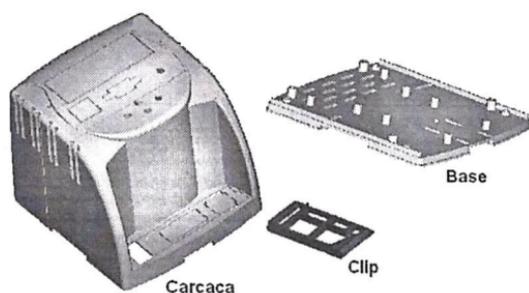


FIGURA 3. Componentes mecânicos.

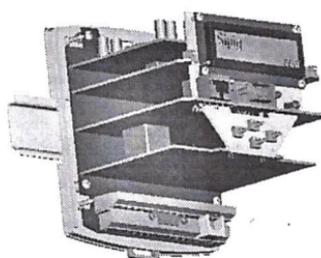


FIGURA 4. Componentes eletrônicos.

As geometrias dos modelos iniciais do grupo de Design sofreram modificações devido, principalmente, ao posicionamento dos componentes eletrônicos no interior do gabinete. Durante a fase de Design, alguns componentes agregados as placas eletrônicas não foram consideradas. E durante a remodelagem do conjunto, essas interferências puderam ser identificadas e, conseqüentemente, levaram à algumas modificações quanto a geometria dos componentes mecânicos. Também, os componentes que realizam a *interface* com os outros produtos (componentes externos ao gabinete) foram considerados na etapa de desenvolvimento, a exemplo do trilho do painel elétrico onde o gabinete seria montado, provocando mais algumas alterações relacionadas a forma do produto. Em cada modificação, era feita uma consulta a todas as áreas do projeto, com o objetivo de verificar o impacto que essas modificações poderiam causar sobre o produto, além da geometria estabelecida inicialmente.

Uma etapa importante foi à análise de montagem dos componentes no próprio sistema CAD. Com as informações da equipe de Eletrônica, os componentes eletrônicos foram posicionados nas respectivas placas em suas posições reais e estas montadas na carcaça, tampa e clip. Durante este estudo de montagem, foi possível identificar interferências da carcaça com a eletrônica, e estas foram corrigidas antes de se partir para a construção de um protótipo físico.

3.2. CAE – Análise Térmica

Para a simulação de análise térmica proposta para o estudo de caso, foram realizadas simplificações nos modelos, considerando tanto a parte mecânica quanto na eletrônica. Este é um procedimento normalmente adotado para viabilizar e reduzir o tempo da simulação. Não foi possível o aproveitamento dos modelos CAD e dos arquivos IGES já existentes. Com isso, foram criados modelos geométricos do gabinete e das placas mais simplificados no *Flotherm*, como pode ser observado na Figura 5.

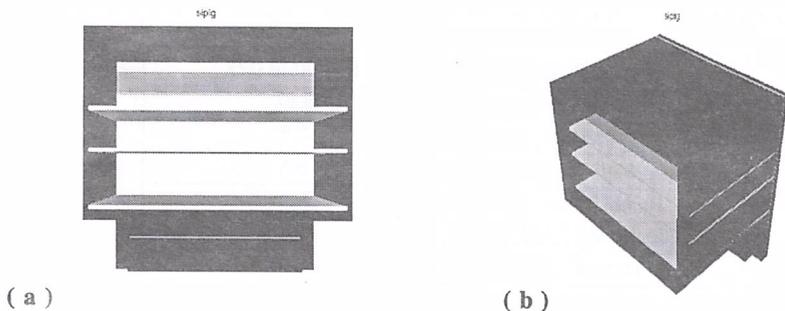


FIGURA 5. Modelo geométrico 3D no Flotherm; (a) vista superior; (b) vista isométrica.

Para atender aos objetivos da simulação térmica, foram definidas algumas condições de contorno para a análise do sistema. Ao invés de considerar a dissipação de cada componente das placas de circuitos impressos, foi considerado que cada placa dissipa uma potência correspondente à soma das potências de cada elemento que a compõe. Essa simplificação é válida, uma vez que apenas alguns componentes possuem dissipação relevante em relação aos outros. Na Tabela 2 estão as potências dissipadas por cada placa do sistema e na Figura 6 a posição das placas no conjunto.

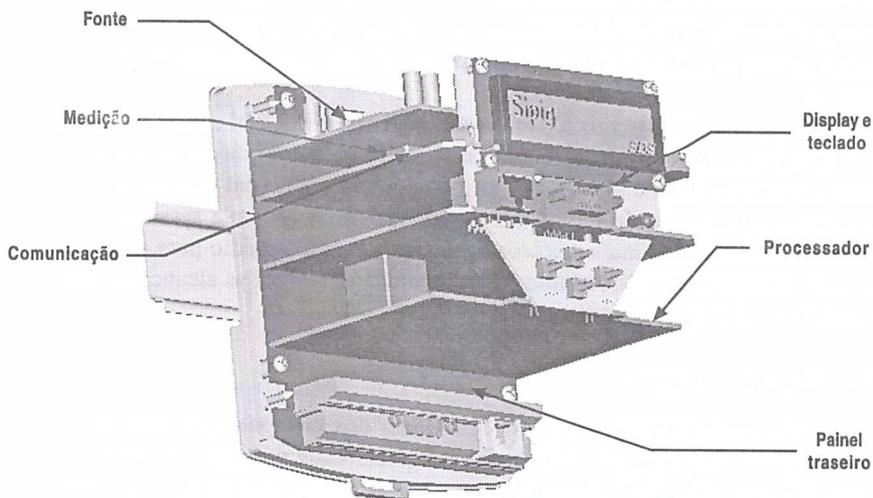


FIGURA 6. Posição das placas.

TABELA 2 - Potências dissipadas pelos componentes do módulo.

Placa PCB	Potência (W)
Fonte	5,97
Comunicação	0,3
Medição	0,5
Painel traseiro	Zero
Display e Teclado	0,1
Processador	0,4

O material da carcaça é o ABS, com as características termofísicas apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3 - Propriedades termifísicas consideradas.

Propriedade Física	Valor
Condutividade Térmica	0,18 W/mK
Densidade	1050 Kg/m ³
Calor Específico	1816,4 J/KgK

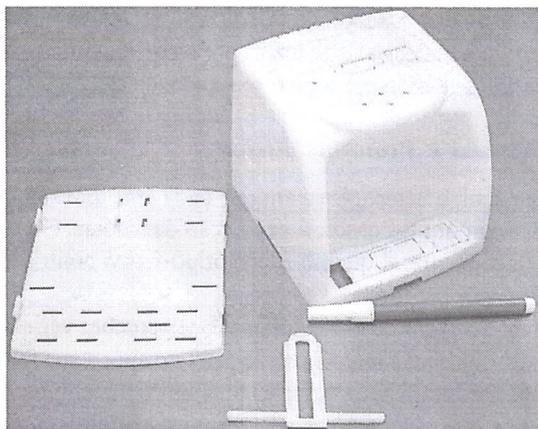
Com isso, definem-se as condições de contornos necessárias para a realização da simulação CAE. O objetivo dessa simulação é avaliar os níveis de temperatura atingida dentro da carcaça. A primeira configuração simulada considerou a carcaça fechada, tendo sido verificado que apenas a placa superior, onde se localizam os componentes da fonte, era responsável pelo aquecimento do interior da carcaça.

O modelo foi discretizado em aproximadamente 10.000 volumes de controle. A região de maior refino da malha corresponde ao interior da carcaça, próxima a fonte de energia. Isso é necessário por que é nessa região em que são esperados os maiores gradientes de temperatura. A malha mais refinada serve então para fornecer os resultados mais precisos na região. O tempo médio para a simulação de cada configuração variou entre 3 e 6 minutos. As melhorias alcançadas com os resultados estão apresentadas na seção 4.2.

3.3. Protótipo Físico

Para a construção do protótipo físico dos componentes mecânicos, a tecnologia de Prototipagem Rápida foi utilizada. Neste processo, os modelos em CAD 3D são “fatiados” eletronicamente por um programa de planejamento de processo e, em seguida, enviados para a máquina FDM 2000 que irá realizar a construção das peças por deposição dessas camadas. A Figura 7 mostra o primeiro conjunto de peças obtido.

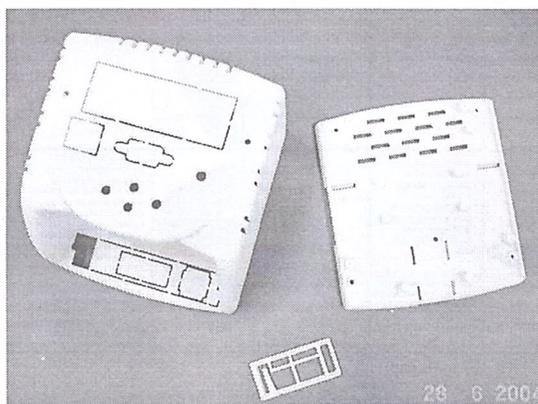
FIGURA 7. Protótipos dos componentes mecânicos.



Junto com os protótipos da parte eletrônica, obteve-se o primeiro protótipo do conjunto. Uma série de estudos foram realizados envolvendo todos os integrantes do time de trabalho. O objetivo foi identificar os erros de projeto e propor melhorias no tocante a manutenção, montagem e desmontagem do conjunto, otimização do espaço interno, acomodação das partes eletrônicas, *interface* entre os componentes mecânicos (ajustes e tolerâncias) e outros pontos que pudessem aumentar a funcionalidade do produto.

Essas idéias foram analisadas e levadas para os modelos CAD onde foram implementadas no conjunto. Essas alterações levaram a construção de uma segunda versão de protótipos físicos (Figura 8).

FIGURA 8. Segunda versão dos protótipos físicos.



4. Resultados

Os resultados do uso dos modelos CAD e do protótipo virtual foram unificados visando facilitar e realçar as diferenças por eles implementadas. O resultado da análise térmica foi discutido em tópico separado.

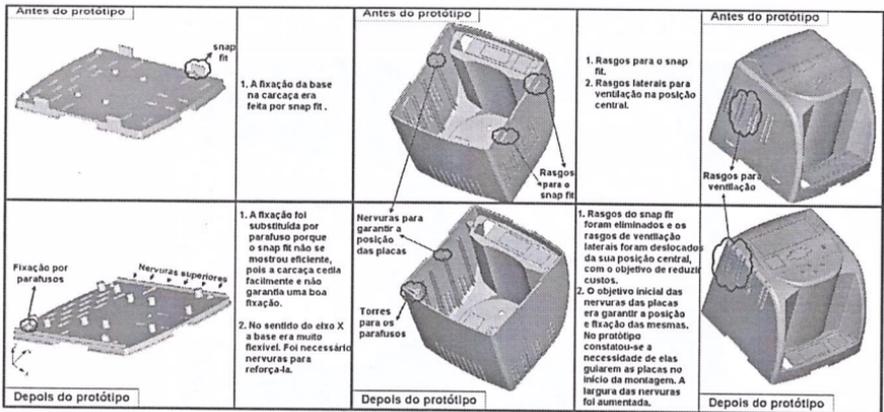
4.1. Protótipo Virtual e Protótipo Físico

Por ser uma equipe heterogênea em que cada área tem sua linguagem própria, torna-se difícil em muitos casos, a exposição das idéias. Observou-se então, que tanto a modelagem virtual quanto o protótipo físico contribuíram para que essa comunicação fosse facilitada.

Durante a modelagem no CAD foi possível perceber várias falhas na concepção que impossibilitariam a montagem do produto após a sua fabricação. Grande parte dos problemas foram detectados na análise de montagem do produto. No entanto, observou-se que alguns erros não foram percebidos neste estágio. Observou-se também que a etapa do CAD 3D (*Pro_Engineer*) funcionou como um centralizador de informações dos produtos, em que qualquer alteração advinda de qualquer área era concentrada. O profissional responsável pela modelagem teve uma interação considerável com todos os outros profissionais da equipe.

O protótipo físico se mostrou muito eficiente na detecção de falhas, pois os erros que não foram vistos no modelo CAD puderam ser corrigidos antes da fabricação final. No primeiro protótipo físico do gabinete foi encontrado um total de 20 itens a serem corrigidos. A Figura 9 apresenta alguns deles.

FIGURA 9. Alterações realizadas nos modelos devido à fabricação do protótipo.



Após o segundo protótipo físico, ocorreram poucas alterações. As mais marcantes para o conjunto foram relacionadas com otimizações das geometrias

das partes mecânicas visando facilitar a fabricação dos moldes para a injeção dos componentes.

4.2. CAE – Análise Térmica

Após a simulação do primeiro modelo, realizada a partir do modelo original, sem a criação de furos e rasgos, observou-se que a temperatura na parte superior do equipamento atingisse níveis impróprios (Figura 10).

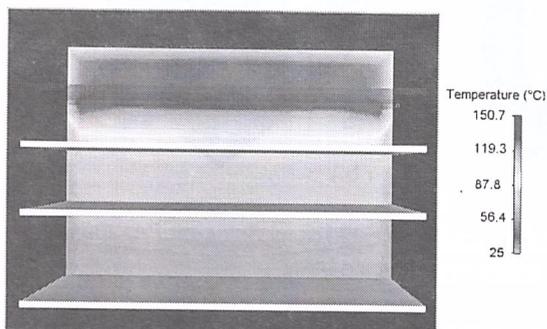


FIGURA 10. Perfil de temperatura na carcaça fechada, sem entradas de ar.

O passo seguinte foi considerar a introdução de rasgos em locais próximos à parte superior da carcaça, para melhorar o resfriamento nesta região. Para tanto, foram confeccionados rasgos nas laterais e em cima da carcaça, o que provocou uma acentuada queda de temperatura. Os resultados obtidos a partir desta configuração ainda não eram os esperados. Assim, a alternativa subsequente foi cortar a placa traseira e criar furos na parte posterior da carcaça, de modo a permitir a entrada do ar pelos furos traseiros e a saída pelos rasgos superiores.

Análises posteriores foram realizadas para diversas posições e quantidades de rasgos na carcaça e base. O perfil de temperatura do modelo final está apresentado na Figura 11. Na configuração final (Figura 12), foi prevista a criação de 8 rasgos de 35x2 mm em cada lado, 12 rasgos de 35x2 mm na parte superior e 11 furos de 11x3 mm na traseira da carcaça, além do corte de 70x 32 mm na placa PCB traseira.

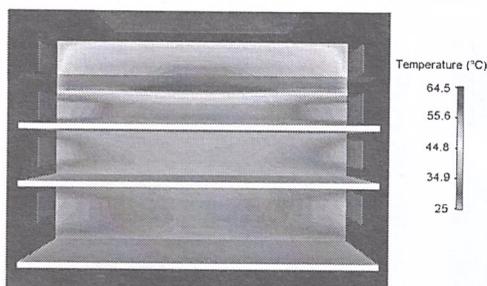
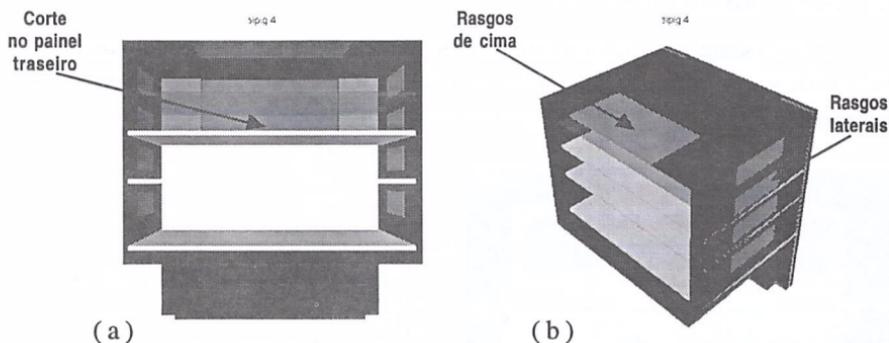


FIGURA 11. Perfil de temperatura no modelo com corte no painel traseiro.

Figura 12. (a) vista frontal do modelo final, com rasgos laterais, em cima e furos atrás, além de corte no painel traseiro; (b) vista isométrica do modelo final.



A título de comparação, na Figura 13 e 14 estão os modelos em *Pro-Engineer* referente à configuração inicial e final da carcaça e base.

FIGURA 13. Vista isométrica dos modelos; (a) sem rasgos e; (b) com rasgos.

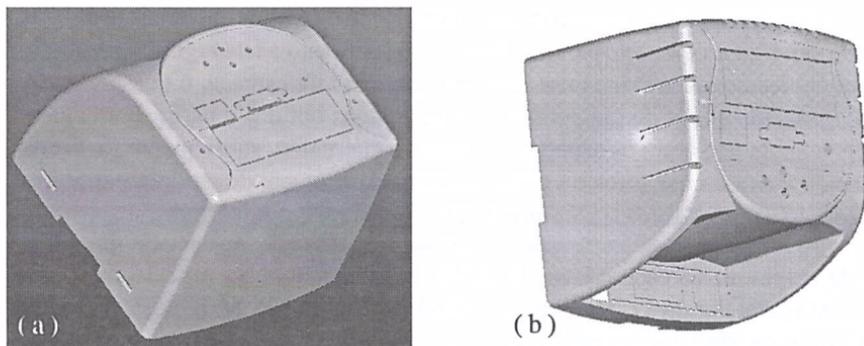
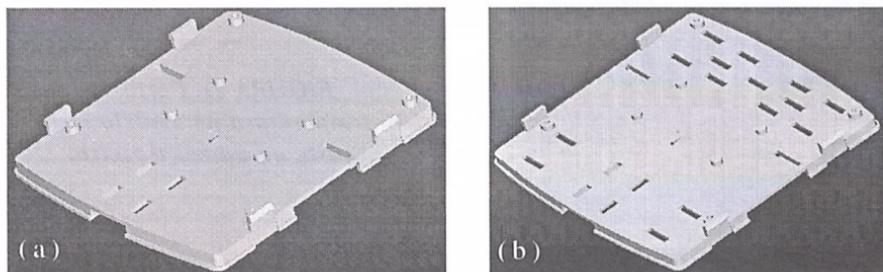


Figura 14. Vista da traseira do modelo sem furos (a) e com furos (b).



5. Discussões e Conclusões

Os conceitos fundamentais da Engenharia Simultânea foram aplicados no estudo de caso apresentado, contando com o auxílio das ferramentas CAD e CAE e com a utilização de protótipos físicos. O profissional responsável pela modelagem 3D no CAD funcionou como uma central de informações sobre a geometria do gabinete e também sobre as relações com os demais componentes, exigindo uma interação constante com as demais áreas de conhecimento. O fato de normalmente não ser possível a utilização do modelo CAD do pessoal do design, implicando na necessidade de remodelagem do produto, gera um gasto de tempo adicional nas etapas iniciais do desenvolvimento. Este problema é decorrente dos objetivos diferenciados das atividades entre design e engenharia e da utilização de tecnologias de modelagem geométrica diferentes.

O uso de protótipos físicos na etapa de desenvolvimento do produto mostrou-se muito útil para a detecção de problemas, pois foi possível encontrar várias falhas no produto de forma rápida. Adicionalmente, o protótipo físico possibilitou a realização de modificações que facilitaram o processo de manufatura e montagem do produto, o que não foi possível com os modelos em CAD.

A utilização da ferramenta CAE teve como objetivo melhorar a circulação de ar dentro do conjunto obtendo assim uma diminuição da temperatura interna. Tal objetivo foi alcançado, uma vez que foi possível uma redução significativa nos valores de temperatura máxima a cada mudança realizada no modelo. Foi verificado um decréscimo de 85 °C na máxima temperatura de dentro da carcaça (partiu-se de 150 °C com o sistema fechado e chegou a 65 °C com a adição de rasgos e furos). Tal redução possibilita que os componentes eletrônicos do equipamento trabalhem de maneira mais eficiente, operando abaixo de temperaturas do limite de falha. Desta forma, pode-se afirmar que a simulação numérica contribuiu para o desenvolvimento de novos produtos, uma vez que reduz o tempo de elaboração do projeto e os gastos com a criação de protótipos para ensaios.

Foi possível verificar que a integração das ferramentas de auxílio utilizadas com a Engenharia Simultânea trouxe benefício ao permitir redução no tempo de desenvolvimento do produto. Isto pôde ser observado, pois as falhas foram detectadas rapidamente e houve uma melhora considerável na comunicação dentro do time de projeto, o que acelerou as discussões e tomadas de decisões que tinham influências em todos os setores envolvidos.

6. Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a FINEP pelo financiamento deste projeto. Agradecem também a empresa SDS por permitir a publicação dos resultados deste trabalho com imagens do produto.

7. Referências Bibliográficas

HARTLEY, J.R. Concurrent Engineering: Shortening Lead Times, Raising Quality, and Lowering Costs. Cambridge, Massachusetts: Productivity Pressman, 1992.

PAHL, G.; BEITZ W.; FELDHUSEN J.; GROTE K. Projeto na Engenharia. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. pp. 95 -97.

SOHLENIUS, G. Concurrent Engineering. Annals of the CIRP. v.41/2, 1992, pp. 645-655.

VOLPATO, N. Prototipagem Rápida/Ferramental Rápido no Processo de Desenvolvimento de Produto. Máquinas e Metais, Aranda, n. 401, 1999. pp.76-89.

KIM, S. J.; Lee, S. W., Air Cooling Technology for Electronic Equipment, CRC Press, 1996.

PATANKAR, S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Washington: New York: Hemisphere Pub. Corp.; McGraw-Hill, 1980.

8. Nota de responsabilidade

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.