

DESIGN DE PÁS DE HÉLICE EÓLICA: ANÁLISE DE PROTÓTIPOS ATRAVÉS DE IMPRESSÃO 3D POR FDM

Mariana S. de Oliveira

DEG/FA/UFRGS

Porto Alegre, RS, Brasil

mari.schmidtoliveira@gmail.com

Prof. Dr. Fábio P. da Silva

DEG/FA/UFRGS

Porto Alegre, RS, Brasil

fabio.silva@ufrgs.br

Prof. Dr. Luis H. A. Cândido

DEG/FA/UFRGS

Porto Alegre, RS, Brasil

candido@ufrgs.br

RESUMO

Este trabalho aborda análises comparativas de protótipos de pás de hélice eólicas, resultantes de uma das tecnologias de prototipagem rápida, a Modelagem por Fusão e Deposição (FDM). Foram confeccionados oito protótipos de pás de hélice através de diferentes configurações das máquinas utilizadas, modificando tempo e velocidade de confecção, densidade e altura entre camadas da peça. O trabalho em questão contempla análises de precisão dimensional em relação aos quatro modos de impressão utilizados nas máquinas, sendo que foram prototipadas duas pás de hélice para cada configuração, uma pá de hélice reta e outra com torção em 24°. Aborda também a influência destes parâmetros em estudos aerodinâmicos, com o objetivo de otimizar o tempo na fase da prototipagem das peças. Para análise de precisão dimensional entre os protótipos realizados e os modelos CAD, utilizou-se a técnica de digitalização tridimensional a laser. O tratamento das nuvens de pontos geradas se deu através do programa Geomagic Studio e após se fez necessária a utilização do programa Geomagic Qualify para comparação entre os modelos prototipados com modelo CAD. Os estudos aerodinâmicos foram feitos em túnel de vento e analisados através da técnica de termografia. Os resultados obtidos se deram por análise quantitativa e qualitativa. Através deste estudo constatou-se que, no caso da análise visual com fumaça por termografia, não há influência significativa dos parâmetros de impressão tridimensional. Porém, as análises via

software, apresentaram diferenças dimensionais e de textura, o que pode influenciar na aplicabilidade do produto. Assim sendo, o presente trabalho, ao agregar a impressão 3D por FDM, com técnicas científicas de levantamento dimensional, vem demonstrar que o projeto de produto, orientado por essas informações, possibilita uma análise mais objetiva para a efetividade de aplicação do projeto final.

PALAVRAS CHAVES: Análises comparativas, FDM, Pás de Hélice.

DESIGN OF PROPELLER BLADES FOR WIND TURBINE: ANALYSIS OF PROTOTYPES MADE THROUGH THREE-DIMENSIONAL PRINTING BY FDM

ABSTRACT

This paper addresses comparative analysis of propeller blades prototypes, resulting from one of the rapid prototyping technologies, Fused Deposition Modeling (FDM). Eight propeller blades prototypes were made through different settings of machines, changing time and speed of confection, density and height between the layers. For each configuration, two propeller blades were prototyped, a straight propeller blade and the other with a twist of 24°. This study consists of dimensional accuracy analysis for the four print modes. It also discusses the influence of these parameters on aerodynamic trials, in order to optimize time and costs at the

stage of prototyping. For dimensional accuracy of analysis of the prototypes and the CAD model, three-dimensional laser scanning technique was used. The aerodynamic studies have been done in the wind tunnel and analyzed using a thermal imager. The results were obtained by quantitative and qualitative analysis. Through this study it was found that, in the case of visual smoke for thermographic analysis, there isn't significant influence of three-dimensional printing parameters. However, the analysis made by software demonstrated dimensional and texture differences which can influence the applicability of the product. Therefore, this paper, by adding the three-dimensional printing through FDM with scientific techniques dimensional survey, shows that the product design, guided by this information, allows a more objective analysis to the effectiveness of implementation of the final project.

KEYWORDS: Comparative Analysis, FDM, Propellers Blades.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da ciência e da tecnologia, organizações e empresas estão investindo em inovação de produtos através da adoção de métodos que proporcionam a confecção do produto em menor tempo possível, sendo uma das tecnologias contribuintes para esta finalidade a prototipagem rápida (RP - Rapid Prototyping). De acordo com Volpato (2007) [1], o termo prototipagem rápida consiste em um conjunto de tecnologias utilizadas na fabricação e desenvolvimento de objetos físicos por meio de sobreposição de camadas planas sucessivas, diretamente de um sistema de projeto auxiliado por computador (Computer Aided Design - CAD).

Para Foggiatto (2006) [2], a prototipagem rápida é uma ferramenta com grande utilidade no desenvolvimento de produtos, substituindo o conceito tradicional, facilitando a obtenção de produtos, ferramentas e protótipos que buscam reduzir a probabilidade de defeitos nos produtos finais, otimizando tempo e custo de desenvolvimento de novos produtos e conseqüentemente o prazo de colocação no mercado destes produtos. Uma das vantagens do processo de impressão 3D é a sua diversidade de

aplicações em vários setores; não só é limitada à criação de protótipos para atender a produção industrial, pois o sistema tem entrado também nas áreas sociais e acadêmicas.

Com as recentes descobertas e o desenvolvimento de ferramentas avançadas, integrando a manufatura rápida têm surgido algumas aplicações na área da medicina em próteses personalizadas, tomografia e anatomia do corpo humano [3]. Como comenta Volpato (2007) [1], a prototipagem rápida pode ser aplicada para o auxílio no desenvolvimento de produtos em geral, como comentado acima, bem como para áreas mais específicas, tais como na modelagem de cadeias de proteínas, estruturas de vírus, engenharia reversa, setor joalheiro. O autor referido concorda com Raulino (2011) [3] que a prototipagem rápida pode ser também aplicada a área da saúde através de reconstruções tridimensionais de estruturas envolvidas nas cirurgias. Além destas aplicações, a prototipagem rápida também é utilizada em estudos aerodinâmicos. Pupo (2009) [4], por exemplo, relata o processo de prototipagem rápida com finalidade de verificação de eficiência aerodinâmica em um túnel de vento. O trabalho referido analisa a inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projetos de arquitetura. A autora citada fala que as maquetes para avaliações de projetos destacam-se pela necessidade de análises estruturais, de forma que precisam ser testadas em túnel de vento. Para tanto se fez uso de gelo seco e um aspirador de pó para análise das correntes de vento através das aberturas do modelo.

A prototipagem rápida pode ser dividida em dois tipos de processos por meio de sistema CAD/CAM: a prototipagem rápida "aditiva" (RP), ou manufatura aditiva, na qual os modelos são construídos progressivamente por camadas não havendo necessidade de utilizar quaisquer tipos de ferramentas; e a prototipagem rápida subtrativa (SRP, Subtractive Rapid Prototyping), na qual os modelos são obtidos por desbaste de blocos de diversos materiais.

Existem vários sistemas que se enquadram na manufatura aditiva, dentre os quais pode-se citar: Estereolitografia (SLA, Stereolithography), Manufatura de Objetos em Lâminas (LOM, Laminated Object Manufacturing), Sinterização

Seletiva a Laser (SLS, Selective Laser Sintering), Modelagem por Fusão e Deposição (FDM, Fused Deposition Modeling), Cura Sólida na Base (SGC, Solid Ground Curing), Impressão por Jato de Tinta (MJM, Multi Jet Modeling; BPM, Ballistic Particle Manufacturing; Polyjet), Conformação Próxima ao Formato Final via Laser (LENS, Laser Engineered Net Shaping), Transferência de Imagem por Filme (FTI, Film Transfer Imaging), Impressão tridimensional (3DP, Three Dimensional Printing), entre outras.

O processo utilizado neste artigo foi a Modelagem por Fusão e Deposição (FDM, Fused Deposition Modeling) também chamada de Fabricação por Filamento Fundido (FFF, Fused Filament Fabrication). Esse é um dos processos mais difundidos, conhecido por produzir protótipos com boas propriedades mecânicas. A tecnologia é baseada na deposição, sobre uma plataforma, de um filamento fino de material termoplástico aquecido a partir de uma matriz que se move em um plano X-Y, enquanto a plataforma se movimenta em eixo Z. A maioria das máquinas de FDM possui um cabeçote provido de dois bicos extrusores de filamentos poliméricos aquecidos: um para alimentar as camadas do modelo e outro para a construção automática dos suportes. Nos equipamentos industriais, esses filamentos ficam estocados dentro da máquina, em ambiente a vácuo aquecido, pois a umidade do material dentro do bico extrusor poderia causar formação de bolhas, que impediria a continuidade de sua deposição pelo bico. Os bicos extrusores são alimentados por esses filamentos através de duas guias giratórias ligadas a um motor, as quais vão transferindo para eles os arames estocados no rolo.

O software da FDM é um misto CAD/CAM e não é integrado à máquina. Esta é conectada ao computador, com o sistema CAM, que monitora constantemente os comandos de construção. Para cada camada geram-se coordenadas ou caminhos pelos quais o bico extrusor vai depositando os fios fundidos. Ao final de cada camada a plataforma desce e o cabeçote inicia a deposição de mais material para a outra camada, repetindo a operação até a conclusão do modelo [5].

Esta técnica cria material de suporte que deverão ser retirados posteriormente. As resinas termoplásticas adequadas a esse processo incluem poliéster, polipropileno, ABS, elastômeros e cera usada no processo de fundição por cera perdida [6]. O processo não desperdiça material durante ou após a produção do protótipo e permite sua instalação em ambientes não industriais [7]. Nos últimos anos, vários equipamentos de pequeno porte vêm sendo desenvolvidos, inclusive já há alguns de fabricação nacional, como os utilizados neste trabalho.

Diversos estudos abordam análises comparativas entre diferentes processos de manufaturas aditivas. Rockenbach et al. (2009)[8], por exemplo, versou sobre processos de SLS, FDM, 3DP e PolyJet e relatou que o processo FDM produziu o protótipo com os menores desvios dimensionais. Este resultado pode ser atribuído ao fato de que o processo apresenta elevada precisão devido, principalmente, à pequena espessura do filete de material depositado. Porém, esta característica também contribui para um grande aumento no tempo de processamento. Destacou-se, ainda, que o processo FDM exige, como etapa de pós-processamento, a remoção dos suportes. Para avaliação da precisão dimensional dos modelos prototipados, a pesquisa citada utilizou a técnica de digitalização tridimensional a laser através do cabeçote de leitura Conoprobe 1000, acoplado à máquina CNC Digimill 3D e do tratamento das nuvens de pontos geradas por meio do software Geomagic Studio. Para análise comparativa dos modelos digitalizados com o modelo CAD original, foi utilizado o software Geomagic Qualify.

Em relação à técnica de digitalização tridimensional a laser por Holografia Conoscópica, Brandi et al. (2014) [9] afirma que a mesma é precisa, tem maior resolução, verossímil e de maior custo no processo se comparado a digitalização por fotogrametria (123D Catch); contudo a última pode ser suficiente, dependendo da qualidade necessária no projeto desenvolvido.

Júnior (2008) [10], por sua vez, comparou os processos de prototipagem rápida SLA, SLS, LOM, MJT, e FDM. O trabalho relata que os processos SLS e FDM são os que mais se

aproximaram das dimensões projetadas no modelo CAD 3D, mas ainda assim apresentaram distorções de décimos de milímetros na estrutura do objeto.

Sobre a comparação das tecnologias SLA e FDM, Macedo (2010) [11] sustenta que é possível identificar diferenças que determinam qual processo é mais adequado a cada tipo de necessidade advinda das fases do projeto. O autor conclui que: quando o tempo é o ponto estratégico do projeto, a tecnologia mais adequada é a SLA; por outro lado, quando o fator estratégico for o custo deve-se adotar a tecnologia FDM; já no que se refere à flexibilidade e qualidade dos protótipos rápidos, é possível afirmar que ambas as tecnologias podem ser utilizadas; entretanto apresentam sutis diferenças entre si que também deverão ser consideradas no momento da escolha. Com esse posicionamento, destaca a importância de se determinar previamente que características são consideradas estratégicas para o projeto e, então, fazer a escolha criteriosa da tecnologia de prototipagem rápida que mais se adapta a ele. O estudo citado utilizou como parâmetros tempo de fabricação, custo de fabricação, adequação do processo à geometria da peça, textura. Para análise de precisão dimensional dos protótipos foi utilizado um paquímetro.

Um estudo desenvolvido por Chechi (2014) [12] teve como objetivo a análise da influência da topologia geométrica superficial de ventoinhas para a otimização aerodinâmica; para tanto se fez necessária a prototipação de cinco hélices, realizada no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI). O processo empregado foi o Polyjet, através da impressora 3D Connex350. A impressão só foi possível após a construção do modelo por meio do processo de digitalização com o Scanner Tridimensional a Laser Digimill 3D. Para o tratamento das nuvens de pontos geradas foram utilizados os softwares Geomagic Studio e 3D Studio Max. Após confecção dos modelos utilizou-se um túnel aerodinâmico de pequeno porte desenvolvido no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com o objetivo de verificação da diferença na eficiência aerodinâmica das hélices com diferentes texturas aplicadas.

A questão energética é um dos tópicos de maior importância na atualidade. A qualidade de vida de uma sociedade está intimamente ligada ao seu consumo de energia. O crescimento da demanda energética mundial em razão da melhoria dos padrões de vida nos países em desenvolvimento traz a preocupação com alguns aspectos essenciais para a política e planejamento energético de todas as economias emergentes. Dentre eles, pode-se citar a segurança no suprimento de energia necessária para o desenvolvimento social e econômico de um país e os custos ambientais para atender a esse aumento no consumo de energia [13]. Psicólogos reconhecem que o ser humano tem um papel fundamental tanto nas questões relacionadas à escassez dos recursos energéticos como no sucesso de propostas que favorecem o cuidado com as reservas naturais, a exemplo da tecnologia da energia eólica [14].

Neste contexto, é essencial que se busque aprimorar ou contribuir para estudos relativos a fontes de energias renováveis, objetivo do presente artigo, que busca analisar diferentes configurações de impressoras 3D FDM para produção de protótipos de pás de hélice. A finalidade é verificar qual a configuração mais adequada para a confecção dessas peças e sua utilização em testes aerodinâmicos em túneis de vento, de forma a otimizar custo e tempo neste procedimento. Para tanto, o presente estudo foi baseado nas técnicas e instrumentos validados nos estudos supracitados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram confeccionados oito protótipos de pás de hélice através de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), usando-se quatro diferentes configurações de máquinas. As máquinas utilizadas neste processo são fabricadas pelas empresas Cliever (CL-1) e a PrintUp 3D, as duas localizadas em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Foram utilizadas três configurações para a Cliever e uma para a PrintUp 3D. Na máquina PrintUp 3D foi utilizado o modo “personalizado”, com densidade 30%, altura entre as camadas de 0,15mm e velocidade 70%. Este mesmo modo foi aplicado também pela Cliever, selecionando os mesmos parâmetros com o objetivo de comparar esses processos utilizando duas máquinas

diferentes. Os outros dois modos de impressão foram feitos utilizando a Cliever nos modos “rápido” e “qualidade”. Estas configurações modificam tempo e velocidade de confecção, densidade e altura entre camadas da peça.

Os parâmetros utilizados, objeto da abordagem anterior, podem ser sintetizados da seguinte forma: modo, densidade, altura entre camadas, velocidade e tempo total de prototipagem (tabela 1), sendo que as informações relativas e estas variáveis são pré-definidas pelas máquinas. As impressoras tridimensionais da Cliever e da PrintUp 3D utilizam como materiais o Ácido Polilático (PLA) e Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), para o trabalho em questão usou-se o PLA. O diâmetro do bico extrusor das impressoras é de 0,3 mm.

Modo	Densidade	Altura entre camadas	Velocidade
Alta Qualidade Cliever	30%	0,15 mm	70%
Rápido Cliever	5%	0,3 mm	120%
Personalizado Cliever	30%	0,2 mm	70%
Personalizado PrintUp	30%	0,2 mm	70%

Tabela 1: Modos Máquinas de FDM

Para cada configuração utilizada foram prototipadas duas peças/pás de hélices, uma pá de hélice reta e outra com torção em 24°. As pás possuem 67,5 mm de comprimento (Figura 1).

Foram analisados oito modelos e nomeados da seguinte maneira: pá de hélice reta, modo Personalizado PrintUp 3D (modelo A); pá de hélice com torção de 24°, modo Personalizado PrintUp 3D (modelo B); pá de hélice reta, modo Personalizado Cliever (modelo C); pá de hélice com torção de 24°, modo Personalizado Cliever (modelo D); pá de hélice reta, modo Alta Qualidade Cliever (modelo E); pá de hélice com torção de 24°, modo Alta Qualidade Cliever (modelo F); pá de hélice reta, modo Rápido Cliever (modelo G); pá de hélice

com torção de 24°, modo Rápido Cliever (modelo H).

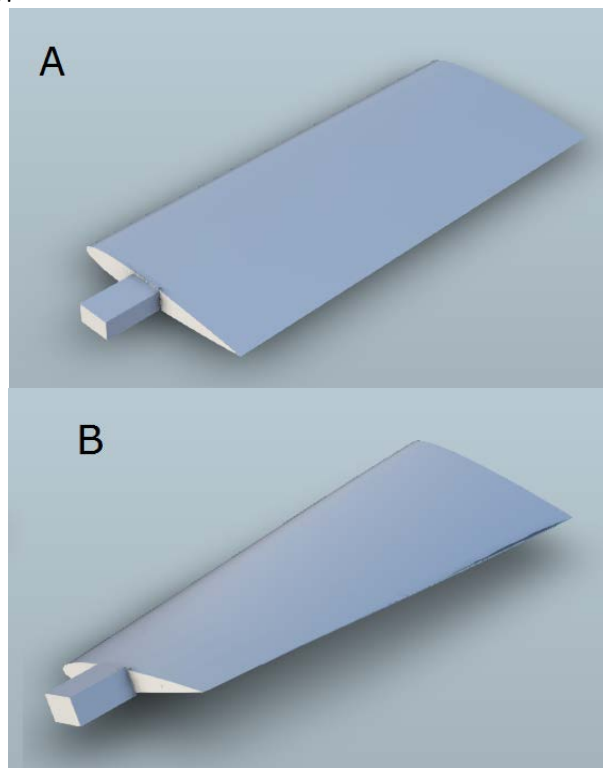


Figura 1: A: Pá reta; B: pá com torção de 24°.

Para fazer a análise de precisão dimensional dos protótipos obtidos, as oito peças foram escaneadas pela técnica de digitalização tridimensional a laser. O cabeçote de leitura a laser utilizado foi o Optimet, sendo que este é acoplado na máquina CNC Digimill 3D, disponibilizado pelo Laboratório de Design de Seleção de Materiais (LDSM). Como explica Rockenbach et al. (2009) [12], o processo consiste na varredura de uma superfície por um feixe de laser capaz de determinar a distância entre ele e o ponto sobre o qual incide obtendo-se assim a coordenada z. As coordenadas x e y são dadas pelo programa CNC responsável pelo posicionamento do cabeçote laser. O cruzamento destes dados geram numerosos pontos no espaço tridimensional, conhecidos como nuvem de pontos. O espaçamento entre estes pontos é chamado de resolução da medição e é diretamente responsável pelo tempo de digitalização.

Após a digitalização, as nuvens de pontos foram tratadas no software Geomagic Studio, o

qual as processa para trabalhar com malhas tridimensionais. Utilizou-se o software Geomagic Qualify para comparar geometricamente cada modelo digitalizado com o modelo CAD que serviu de base para todos os processos de prototipagem rápida utilizados neste estudo. Como resultados obtiveram-se figuras que exibem em cores os desvios geométricos, bem como alguns dados estatísticos relativos a estes desvios. A qualidade superficial dos modelos foi também avaliada qualitativamente através de uma lupa estereoscópica Olympus S2X16 com lente de aumento de 2,5 vezes.

Os protótipos foram então testados em ensaios aerodinâmicos. O instrumento utilizado foi um túnel de vento de pequeno porte desenvolvido no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM) na UFRGS. Para avaliação da eficiência das pás de hélice utilizou-se uma máquina de fumaça e um termógrafo para visualização do comportamento da fumaça (figura 3). Este instrumento permite mapear um corpo ou uma região com o intento de distinguir áreas de diferentes temperaturas. O Termógrafo utilizado foi o modelo t890-2 da empresa Testo, com a lente Standard 42°. Pelos dados gerados pelo termógrafo, verifica-se que a variação de temperatura se expressa pela cor representada na imagem, de modo que os pontos de maior calor estão representados em branco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de FDM, como comentando por Rockenbach et al. (2009) [8] e Júnior (2008) [10], exige a remoção dos suportes como etapa de pós-processamento, sendo que o tempo total de prototipagem descrito na tabela 2 desconsidera esta etapa, levando em conta somente o tempo total de operação das máquinas utilizadas.

Modo	Tempo Pá Reta	Tempo Pá com Torção de 24°
Alta Qualidade Cliever	3 h	3 h 5 min
Rápido Cliever	37 min	42 min
Personalizado Cliever	3h 16 min	3h 21 min
Personalizado PrintUp 3D	3h 15 min	3h 20 min

Tabela 2: Tempos modos FDM

Os parâmetros pré-estabelecidos pelas máquinas utilizadas foram atendidos com êxito na prática. Sendo assim, os protótipos que levaram menos tempo para serem confeccionados foram os resultantes do modo rápido da máquina Cliever (modelos G e H) e os que tiveram o maior tempo de prototipagem foram os decorrentes do modo personalizado da máquina Cliever (modelos C e D), sendo que a diferença entre o menor e o maior tempo foi de duas horas e trinta e nove minutos, de forma que os modelos C e D levaram aproximadamente 4,3 vezes mais tempo em relação aos modelos G e H.

A partir do software Geomagic Qualify obtiveram-se figuras que exibem em cores os desvios geométricos e dados estatísticos relativos a estes desvios, como pode ser observado nas figuras 3 a 10. Os tons do amarelo ao vermelho representam os desvios positivos, ou seja, os pontos onde o modelo produzido é mais alto do que o modelo original, sendo que as regiões vermelho-escuras são as regiões onde este desvio foi maior do que 0,5mm. Os tons de azul são as regiões de desvio negativo, onde o modelo produzido é mais profundo que a referência, com o azul-escuro representando os desvios mais baixos do que -0,5mm. Alguns dados estatísticos são exibidos na parte inferior esquerda de cada figura, sendo: Max: valores dos pontos com o

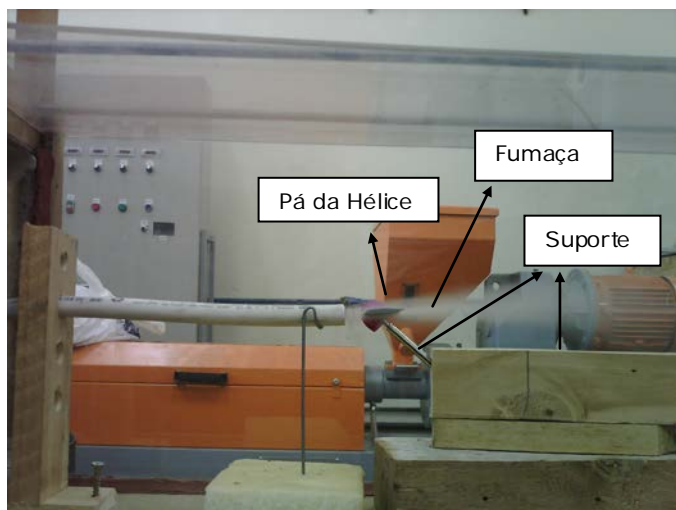


Figura 2: Sistema para avaliação das pás de hélice com máquina de fumaça em túnel de vento.

maior desvio tridimensional positivo e negativo, respectivamente; Average: médias dos desvios positivos e negativos, respectivamente; Standart Deviation: desvio padrão dos desvios tridimensionais entre os modelos.

Através de uma análise quantitativa que leva em conta os resultados do programa referido, é possível relatar que os protótipos apresentaram o menor desvio em relação ao modelo CAD na respectiva ordem: modelo D, C, G, H, E, A, B, F (Figura 3 a 10); do menor ao maior desvio. Este resultado foi obtido através da média resultante entre o desvio máximo e mínimo bem como pela análise do desvio padrão e do desvio máximo, fornecidos pelo software, sendo que a diferença entre as médias dos modelos é pouco significativa.

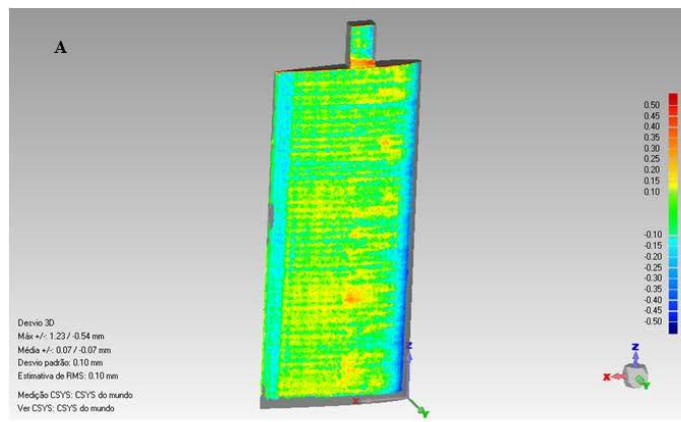


Figura 3: A- pá de hélice reta, modo Personalizado PrintUp 3D.

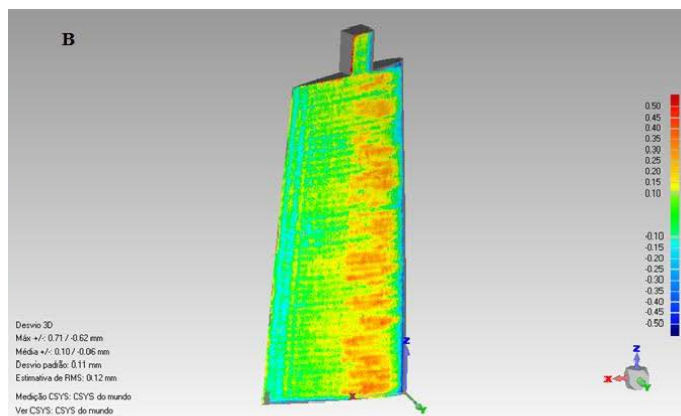


Figura 4: B- pá de hélice com torção de 24°, modo Personalizado PrintUp 3D.

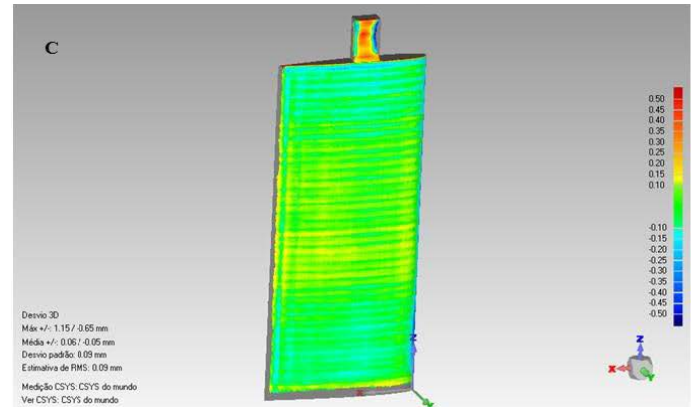


Figura 5: C- pá de hélice reta, modo Personalizado Cliever.

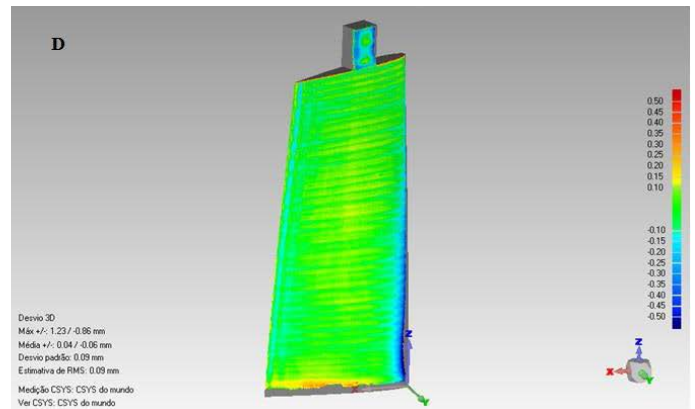


Figura 6: D- pá de hélice com torção de 24°, modo Personalizado Cliever.

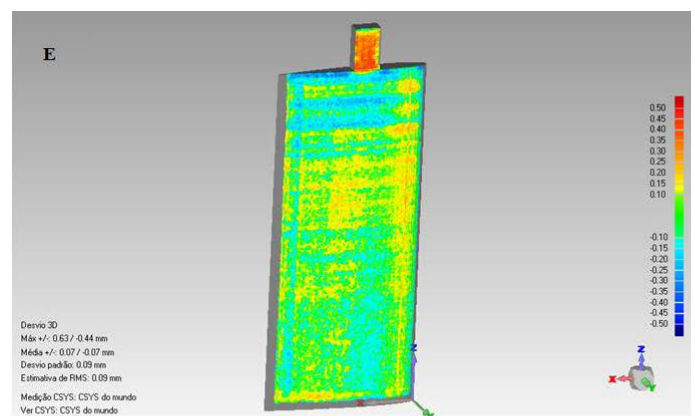


Figura 7: E- pá de hélice reta, modo Alta Qualidade Cliever.

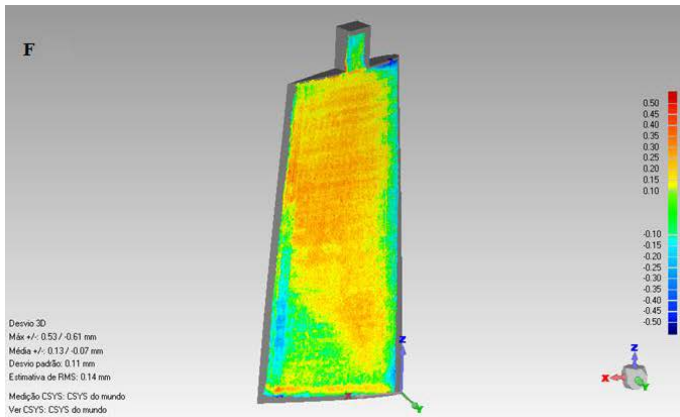


Figura 8: F- pá de hélice com torção de 24°, modo Alta Qualidade Cliever.

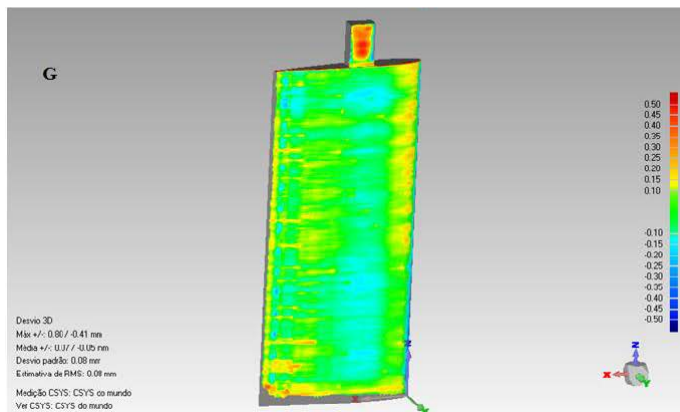


Figura 9: G- pá de hélice reta, modo Rápido Cliever.

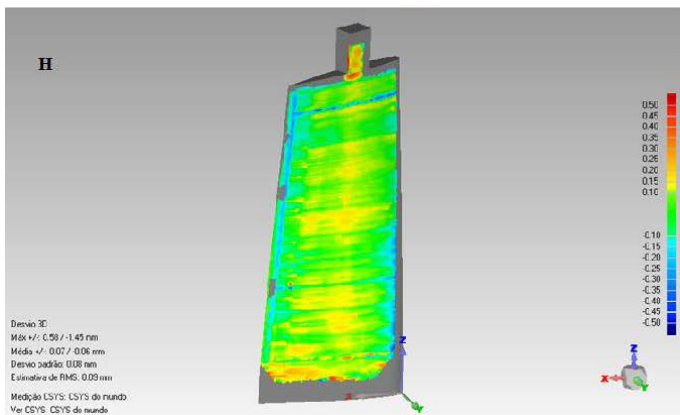


Figura 10: H- pá de hélice com torção de 24°, modo Rápido Cliever.

É válido ressaltar que estes dados levam em conta somente a superfície comparada ao modelo CAD, sendo assim fez-se necessário também uma análise qualitativa, na qual foram aplicadas avaliações visuais. A identificação desses modelos ocorre da seguinte maneira (Figuras 11 a 14): modo Personalizado PrintUp 3D (modelo A); modo Personalizado Cliever. (modelo B); modo Alta Qualidade Cliever (modelo C) e modo Rápido Cliever (modelo D). Através dessa análise, se percebe que o modo personalizado PrintUp 3D (figura 11) tem as camadas de material mais sobrepostas dentre todos os modelos. Já o modo personalizado da Cliever (figura 12) tem filamentos mais grossos e menos sobrepostos, se comparado ao PrintUp 3D. No modo Cliever alta qualidade (figura 13) existe menor distanciamento entre as camadas, enquanto o modo Cliever rápido (figura 14) é o que possui maior distanciamento entre as camadas.

Os modelos G e H (figuras 9 e 10) possuem menor precisão dimensional se comparados aos outros modelos, uma vez que têm um tamanho consideravelmente menor que o modelo em CAD. Observou-se também que estes protótipos são mais suscetíveis a quebras, sugerindo a necessidade de futuros ensaios mecânicos. Não se pode constatar que as pás de hélice retas são mais precisas que as pás com torção de 24°, apesar de estas apresentarem formatos mais complexos.

Os parâmetros densidade da peça, altura entre camadas, velocidade e tempo total de confecção (tabela 1) não foram fatores influentes para a análise quantitativa dimensional das peças. Foram determinantes, porém, na análise qualitativa das mesmas, uma vez que os protótipos obtidos através do modo rápido (modelo G e H) resultaram em modelos mais frágeis, de menor fidelidade geométrica e de pior aparência, características estas que foram apontadas por Capuano (2000) [15] como importantes aspectos a serem notados ao se realizar uma análise de qualidade de um protótipo. Este resultado é devido à densidade destas peças, 6 vezes menor que as demais, à maior altura entre as camadas, à velocidade de confecção das peças de 1,7 vezes superior aos outros modelos e ao tempo de confecção, já comentado anteriormente.

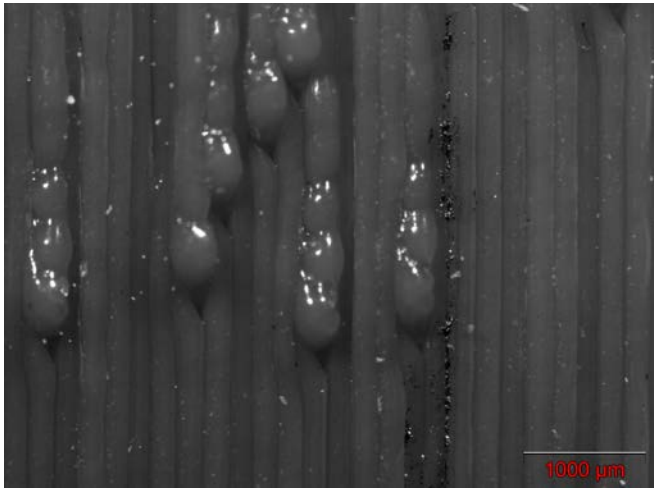


Figura 11: A- Modo Personalizado PrintUp 3D

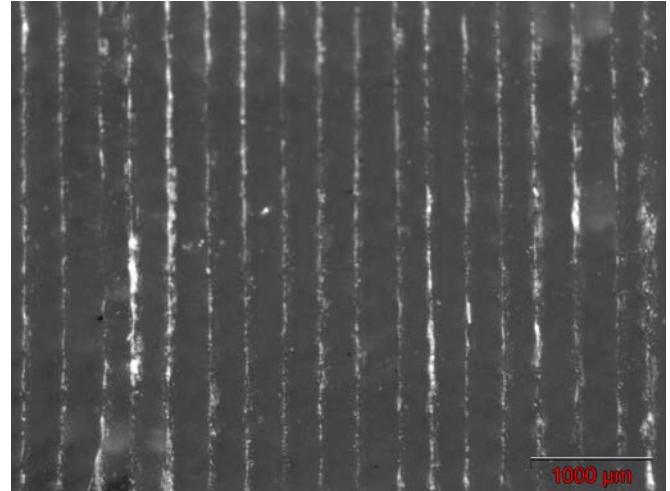


Figura 14: D- Modo Rápido Cliever

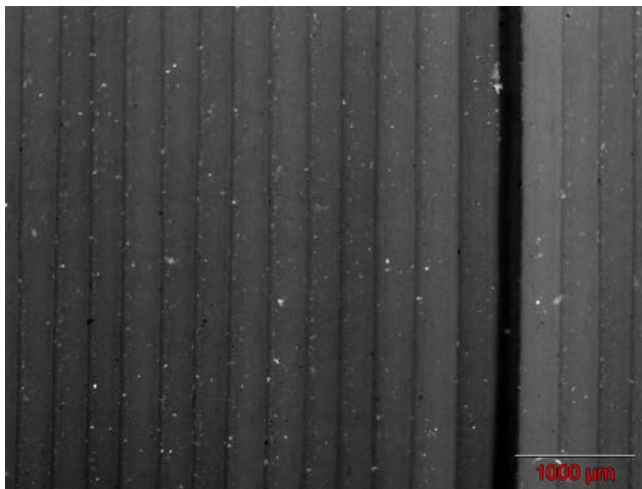


Figura 12: B- Modo Personalizado Cliever

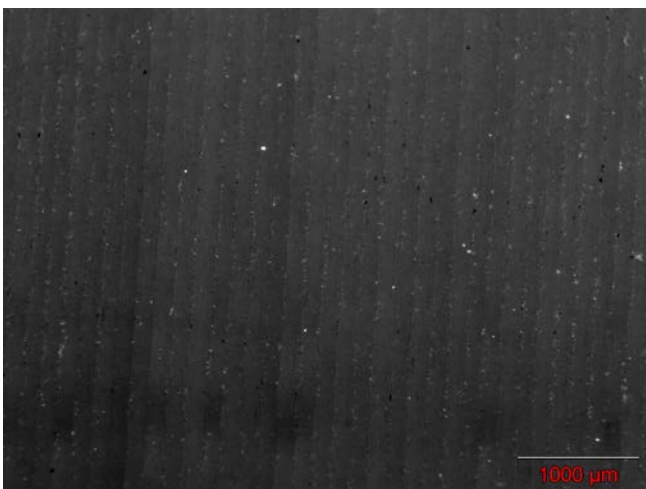


Figura 13: C- Modo Alta Qualidade Cliever

Nas imagens geradas através do termógrafo, os pontos de maior calor estão representados em branco e representam maior atrito com a área de superfície da pá; desta forma as pás com maior quantidade de pontos brancos apresentam desempenho superior em relação a pás que relatam menores influencia da fumaça quente.

Constatou-se ao investigar os resultados obtidos que a diferença entre os valores encontrados são pouco representativas, sendo a diferença dimensional das peças prototipadas pouco influente em relação ao comportamento da eficiência aerodinâmica destes modelos (Figura 15). Sendo assim, concorda-se com Macedo (2010) [11] na afirmação de que é necessário levantar informações e definir os objetivos da construção do protótipo para que seja estabelecido o processo a ser utilizado.

Deve-se avaliar o quanto se pretende gastar, o tempo disponível, a qualidade superficial exigida, a resistência mecânica e a precisão dimensional, enfim, é a aplicação do protótipo que definirá a tecnologia a ser utilizada. No caso específico deste trabalho, foi possível fazer uso das peças que demandaram menor tempo de prototipagem, bem como menor utilização de material, as quais acarretam em menores custos.

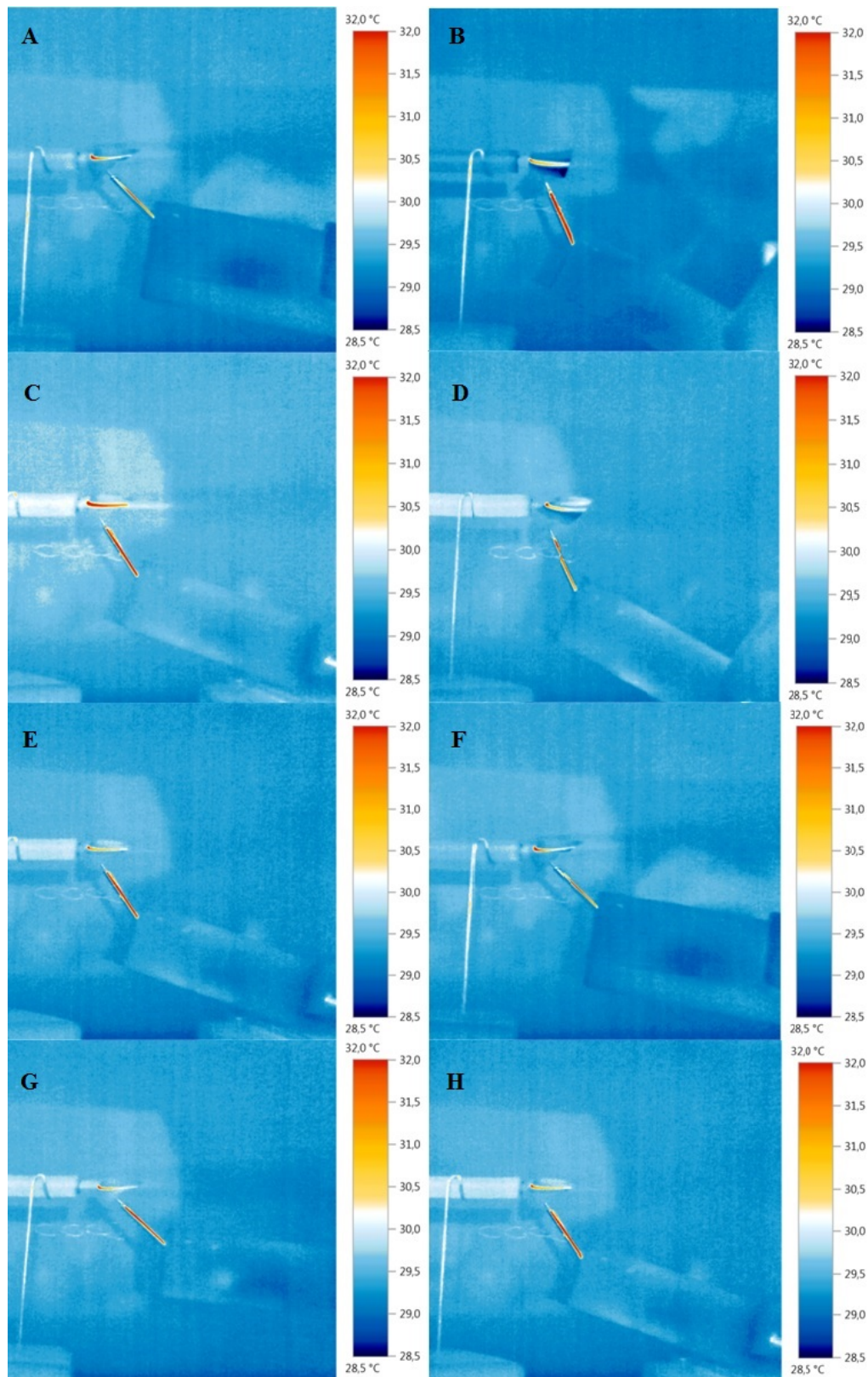


Figura 15: Análise aerodinâmica em túnel de vento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através de análises quantitativa e qualitativa evidenciam que no caso da análise visual com fumaça por termografia, não há influência significativa dos parâmetros de impressão tridimensional. Sendo assim é possível, diante de estudos similares, otimizar o tempo na fase de prototipagem rápida. Cabe a ressalva de que os métodos analíticos utilizados no túnel de vento devem ser aprimorados para uma análise mais eficaz e precisa.

As análises realizadas via software Geomagic Qualify, demonstram que os levantamentos dimensionais e de rugosidade, apontam para uma diferença na textura entre as pás, fator esse que deve ser levado em consideração diante da aplicação para fabricação de pás eólicas. Neste sentido, os processos de impressão 3D devem levar em consideração a aplicação do produto, em conjunto com fatores que podem influenciar sua efetiva utilização, como por exemplo, o movimento do ar que atuara para o giro das pás. Assim sendo, ao agregar técnicas de fabricação 3D validadas por análise científica, pode-se qualificar o produto a ser desenvolvido, garantido sua efetiva aplicação.

REFERÊNCIAS

- [1]. VOLPATO, N. PROTOTIPAGEM RÁPIDA: TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES. São Paulo: Edgar Blücher, 2007.
- [2]. FOGGIATTO, José Aguiomar. O USO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA ÁREA MÉDICO-ODONTOLÓGICA. Revista Tecnologia e Humanismo, v. 30, 2006.
- [3]. RAULINO, Bruno Ribeiro. MANUFATURA ADITIVA: DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA BASEADA NA TECNOLOGIA FDM (MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO). Unb: Projeto final de graduação, 2011.
- [4]. PUPO, Regiane Trevisan, Inserção da PROTOTIPAGEM e FABRICAÇÃO DIGITAIS no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura. Campinas, SP 2009. 260 p.
- [5]. ARTIS. Tecnologias de prototipagem - estereolitografia SLA. Clínica de Odontologia Integrada Artis, Brasília/DF. Disponível em: <http://www.artis.com.br>. Acesso em: 25 de maio de 2006
- [6] GORNI, Antonio Augusto. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. Antonio Gorni Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/protrap.html>. Acesso em 20 de janeiro de 2015 >.
- [7] WOHLERS, Terry T. Rapid Prototyping Systems. Proceedings of the First European Rapid Prototyping Convention, Junho, Paris, França, 1993. Disponível em: <http://www.wohlersassociates.com/overview.html>. Acesso em 19 de janeiro de 2015.
- [8]. ROCKENBACH, Maurício et al. AVALIAÇÃO DA PRECISÃO E DA FACILIDADE DE FABRICAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE PROTÓTIPOS: PROTOTIPAGEM RÁPIDA E USINAGEM CNC= EVALUATION OF PRECISION AND EASE OF FABRICATION FROM DIFFERENT MANUFACTURING METHODS FOR PROTOTYPES: RAPID PROTOTYPING AND CNC MACHINING. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design (5.: 2009 out. 10-12: Bauru, SP) Anais..[recurso eletrônico]. Bauru: UNESP, 2009.2009.
- [9]. BRANDI, Leonardo Barili; Pereira, Renan Willian Leite; Maldonado, Ana; Silva, Fábio Pinto da; Teixeira, Fábio Gonçalves; Roldo, Liane. OBTENÇÃO E COMPARAÇÃO DE TEXTURAS POR PROCESSO DE DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL. p. 1889-1901 . In: Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design [= Blucher Design Proceedings, v. 1, n. 4]. São Paulo: Blucher, 2014.
- [10]. JUNIOR, AGUILAR SELHORST. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PROCESSOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA CONCEPÇÃO DE NOVOS PRODUTOS: UM ESTUDO DE CASO PARA DETERMINAÇÃO DO PROCESSO MAIS INDICADO. 2008. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- [11]. MACEDO, Graciele Marcela Almeida. COMPARAÇÃO DE DUAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA CONCEPÇÃO DE NOVOS PRODUTOS: ESTEREOLITOGRAFIA E MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO (FDM) - UM ESTUDO DE CASO. 2010. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade

Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2010_3_Gr aciele.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2015.

[12]. CHECHI, Florence Endres. DESIGN E AVALIAÇÃO AERODINÂMICA DA TOPOLOGIA GEOMÉTRICA SUPERFICIAL DE VENTONHAS. 2014.

[13]. GOLDEMBERG, J. e L.D. Villanueva. ENERGIA, MEIO AMBIENTE & DESENVOLVIMENTO (Edusp, São Paulo, 2003), 2a. ed.

[14]. CORRALIZA, J. A., Martín Herreros, R., & Muñoz Cáceres, D. (1998). LA EXPLICACIÓN DE LA CONDUCTA DE CONSUMO DE RECURSOS NATURALES: DE LA INTENCIÓN AL COMPORTAMIENTO. In J. M. Sabucedo, R. Garcia-Mira, E. Ares, & D. Prada (Eds.), Libro de comunicaciones VI Congreso de Psicología

Ambiental (pp. 261-266). La Coruña, España: Universidad de La Coruña

[15]. CAPUANO, E. A. P. CARVALHO, M. M. PROTOTIPAGEM RÁPIDA: A ESCOLHA DA TECNOLOGIA PR MAIS ADEQUADA À ESTRATÉGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS. In: ENEGEP, 2000, Rio de Janeiro. Anais Eletrônicos. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2000_E0001.PDF>. Acesso em: 10/01/15.

[16]. SAURA, C. E. APLICAÇÃO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA MELHORIA DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EM MÉDIAS E PEQUENAS EMPRESAS. Dissertação de mestrado, PósGraduação em Engenharia Mecânica – Campinas: Unicamp, 2003