**Sandro Lombardo**

**Projeto de Pesquisa**

Engenharia de Instrumentação, Automação e Robótica/ Processo de Desenvolvimento de Produto

|  |
| --- |
| Projeto de Pesquisa:  “Práticas Sustentáveis no Processo de Fabricação por CAD/CAE/CAM” |

2022

UFABC

**Projeto de Pesquisa**

|  |
| --- |
| **Título do projeto**: Práticas sustentáveis no processo de fabricação por CAD/CAE/CAM. |

|  |
| --- |
| **Candidato:** Sandro Lombardo |

|  |
| --- |
| **E-mail do candidato**: sandro\_lombardo@hotmail.com |

|  |
| --- |
| **Palavras-chave do projeto**: processo de fabricação, CAD/CAE/CAM, sustentabilidade, eco-design. |

|  |
| --- |
| **Área de conhecimento do projeto**: Engenharia de Instrumentação, Automação e Robótica, Processo de Desenvolvimento de Produto. |

2022

UFABC

**INTRODUÇÃO**

O processo de fabricação com consciência ambiental, *Environmentally Conscious Manufacturing Process* (ECMP) tem se tornado ao longo dos anos mais do que uma obrigação, mas um compromisso para com o meio ambiente e para com a própria sociedade, imposta principalmente por regulamentações governamentais e pela perspectiva dos próprios clientes sobre questões ambientais. O ECMP envolve a integração do pensamento ambiental no desenvolvimento de novos produtos (GAHA et al, 2016).

Hoje a tecnologia CAD/CAE/CAM pode ser encontrada nas áreas: (a) automobilística, nas linhas de produção automatizadas; (b) odontológica, como ferramenta de análise para ortodontia e cirurgia, além da confecção de próteses e aparelhos ortodônticos; (c) construção civil, auxiliando na construção de maquetes e no processo de projeto integrado; entre outras.

O amadurecimento sustentável das práticas de fabricação nasce da intenção estratégica da indústria para a sustentabilidade, acarretando na diminuição do consumo de recursos, em processos sustentáveis que preservam requisitos de desempenho, aumento de produtividade e menor degradação ambiental (Tecnologia de Usinagem da Força Aérea, 2020). Para alcançar os objetivos supracitados, é necessário:

- Identificar, analisar e documentar métodos, ferramentas e equipamentos utilizados ​​na indústria para realizar avaliações de sustentabilidade;

- Amadurecer e adaptar ferramentas quantitativas e qualitativas, permitindo a indústria identificar oportunidades de manufatura sustentável;

- Integrar ferramentas de avaliação em procedimentos operacionais padrão para validação de resultados de melhoria de fabricação;

-Desenvolver uma consciência sustentável que possa ser aplicada em todo o processo de fabricação e na indústria.

A tecnologia de recursos (*feature technology -* FT) - o núcleo da fase CAD - é então utilizada para integrar os aspectos ambientais. Além disso, integrações realizadas em sistemas de CAD, como manufatura auxiliada por computador (CAM), plano de processo auxiliado por computador (CAPP) e gerenciamento de vida do produto (PLM), são exploradas para produtos de design ecológico (GAHA et al, 2016; RUSSO, 2011).

O artigo de GAHA (2016) propõe ferramentas para selecionar um processo de fabricação com consciência ambiental simples para apoiar novos eco-designers inexperientes, facilitando a implementação, apoiando os engenheiros durante o processo de design de produtos verdes.

Apresentaremos neste projeto uma adaptação do trabalho feito por RUSSO (2011), criando uma metodologia simples de avaliação dos processos de sustentabilidade através das ferramentas CAD/CAM/CAE para a indústria brasileira.

**OBJETIVO**

O projeto consiste em analisar o processo CAD/CAE/CAM para a prática sustentável em indústrias brasileiras de pequeno porte, comprovando eficiência, redução custos, aumento de produtividade e baixo impacto ambiental. Uma vez comprovada sua eficiência, será possível expandir o projeto para indústrias de médio e grande porte. Este projeto conta com a interdisciplinaridade entre as engenharias mecânica, elétrica e de produção.

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A prática sustentável é um assunto amplamente discutido pelas Nações Unidas e Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Em 2015 foi definida a agenda com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como pode ser visto na Figura 01, abordando várias dimensões do desenvolvimento sustentável (sócio, econômico, ambiental), com uma meta definida para 2030 (NAÇÕES UNIDAS, 2020).

Figura 01 – 17 objetivos de desenvolvimento sustentável.



Fonte: Nações Unidas.

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criou uma das definições mais conhecidas e frequentemente utilizadas (NAÇÕES UNIDAS, 2020; RUGGLES et al., 2020): “O Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”.

As práticas sustentáveis são uma preocupação das indústrias, provenientes desde meados de 1960, quando os movimentos ambientalistas começaram a se configurar como os conhecemos hoje. A partir de então, começou a se falar em uma nova abordagem das práticas sustentáveis (*design*) voltada para o meio ambiente (NAIME, 2012).

O design sustentável, chamado hoje de *Eco Design*, surgiu para garantir novas práticas de produção por meio de atividades sustentáveis. O termo eco-design visa desenvolver produtos inovadores e competitivos que causem menos impactos ambientais (produtos eco-eficientes) e implica na introdução sistemática de requisitos ambientais ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) (NAIME, 2012; GUELERE, 2009).

Determina-se o desempenho ambiental de um produto através da soma de todos os impactos causados ao ambiente no decorrer do seu ciclo de vida. Observa-se que, para se obter uma redução no impacto ambiental, os novos produtos devem ser competitivos e substituir produtos já no mercado, porém com menor impacto ambiental (GUELERE, 2008; NIELSEN, 2002).

Com o contexto do design sustentável e o processo de fabricação com consciência ambiental, o produto não deve apenas cumprir seus objetivos / desempenho funcional sem se preocupar com a disponibilidade de recursos naturais no futuro, mas também atender às necessidades do mercado e garantir o mínimo de desperdício de material e / ou energia (RUSSO, 2011; KNIGH, 1999).

Para atingir este objetivo, várias ferramentas foram concebidas para identificar onde é mais útil intervir e como melhorar os produtos e processos atuais. Para ordená-los, KNIGHT (1999) agrupou essas ferramentas em três categorias:

1. Diretrizes definidas fornecendo amplo suporte, com poucos detalhes, mas aplicáveis ​​em todo o processo de desenvolvimento do produto e ciclo de vida, cobrindo uma área significativa (por exemplo, design para reciclagem; design para desmontagem; design para otimização de vida útil).

2. Listas de verificação definidas, fornecendo uma aplicação detalhada, mas limitada, em estágios selecionados do processo de desenvolvimento do produto ou ciclo de vida.

3. Ferramentas analíticas definidas fornecendo análise detalhada e / ou sistemática em estágios específicos do processo de desenvolvimento do produto ou do ciclo de vida, por exemplo: eco-indicadores; análise de efeito ambiental; avaliação de impacto ambiental; avaliação do ciclo de vida; matriz de material, energia e toxicidade; análise do custo do ciclo de vida.

Muitas destas ferramentas podem ser consideradas ferramentas excelentes, de fácil utilização, bem organizadas e econômicas. No entanto, elas não fornecem um mecanismo para priorizar os requisitos ambientais e implantá-los no processo de desenvolvimento de produto (RUSSO, 2011; KOBAYASHI, 2005).

Como comenta RUSSO (2011) em seu artigo, as ferramentas mais importantes no processo de design tradicional são os softwares CAD e CAE. No entanto, as ferramentas CAD atuais auxiliam engenheiros a projetar um produto que atenda às restrições funcionais e estruturais, mas não são capazes de gerenciar as restrições ambientais.

O objetivo da ferramenta base CAD para eco-design é medir as variações nos índices de impacto ambiental durante toda a atividade de design, e não apenas no final, e assim monitorar em tempo qualquer mudança no produto, e ao mesmo tempo permitir traçar a melhor direção de intervenção promissora (BRUNTLAND, 1997).

O contrário de outras ferramentas de eco-melhoria, a peculiaridade dessa abordagem é que o designer, seguindo as sugestões diretamente propostas dentro do ambiente CAD, pode visualizar em tempo real não só como a fase atual muda, mas também os impactos em todas as outras fases (RUSSO, 2011).

Através de um exemplo mencionado no artigo de RUSSO (2011), sobre fase de pré-fabricação e para a fase de utilização do produto, podemos verificar a interação das ferramentas CAD/CAE/CAM no projeto sustentável. O objetivo é reduzir os impactos, atuando da fase de abastecimento do produto do início ao fim, reajustando a geometria da peça e de sua embalagem de forma a minimizar massa, volume e impacto nos transportes e na logística interna dos materiais que entram na fábrica. Vide Tabela 1.

Tabela 1 - Lista de estratégias para a fase de pré-fabricação, para a fase de fabricação e fase de uso.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Objetivos** | | **Ferramentas** | **Estratégia CAE** |
| Minimizar o desperdício de volume e / ou massa da matéria-prima | | Modelagem CAD  +  caminho de OTIMIZAÇÃO | Definir o volume mínimo de trabalho, com base nas dimensões máximas da matéria-prima a partir da qual o componente deve ser  extraído - define a restrição da estratégia de otimização (topológica ou tamanho livre) e as restrições específicas do tamanho mínimo associado (eventualmente combinam com direção de desenho e simetria). |
| Energia de fabricação e redução de massa | CAM | Simulação e maximização da economia de energia do caminho da ferramenta durante a usinagem CNC |
| Otimização do acoplamento termomecânico | O cálculo do acoplamento termomecânico é usado para melhorar o desempenho de otimização, a fim de maximizar a economia de energia e o uso de material durante o processo de fundição |
| OPT  multidisciplinar | Configura a geometria da peça acabada usando um otimizador estrutural e um material adequado |

Fonte: RUSSO, 2011

A tarefa do projetista é identificar a forma adequada do componente para atingir o desempenho desejado com o mínimo de material e energia. O estudo de caso acima mostra a metodologia para facilitar para o designer a visualização da melhor direção. A fim de atingir o benefício máximo, o ciclo de otimização pode ser fornecido ao produto inicial seguindo a direção sugerida pelo método.

O Brasil hoje se empenha no estudo da sustentabilidade e nas práticas de fabricação com consciência ambiental, as universidades já se preocupam na formação de seus engenheiros com esta consciência. Historicamente, na Conferência do Rio 1992 foi iniciada a inclusão da sustentabilidade no ensino acadêmico. Através do trabalho de ULIANA (sem data), acredita-se que existem três estágios para integração da sustentabilidade no ensino: primeiro ensinar sobre a sustentabilidade; depois ensinar para a sustentabilidade; por fim, ensino baseado nos princípios da sustentabilidade.

Os temas que devem ser abordados na formação acadêmica são: Energia; Análise de Risco; Eco-Design. Algumas das disciplinas aplicáveis aos temas mencionados são: Análise do Ciclo de Vida; Ciclo de Vida do Produto; Remanufatura; ISO 14000; Design Sustentável; Energia; Avaliação e Administração de Riscos; Eco-Marcas; Aquecimento Global, CO2, Troca de Carbono; etc (ULIANA, sem data).

Investimentos no Brasil relacionadas as tecnologias CAD/CAE/CAM para fabricação de produtos sustentáveis já não são um problema, em 2005 o trabalho de KANITAR (2005) mencionava o autor CASTELL, dizendo que: “não existe dificuldade para o Brasil avançar no campo da vigilância tecnológica, pois considera que estes procedimentos não requerem investimentos elevados. Observa que as organizações podem investir na capacitação de equipe e em parcerias com universidades.”

Assim, propomos uma nova metodologia baseada em recursos para gerar possíveis planos de processo de um lado e avaliar ambientalmente cada cenário a fim de selecionar o mais verde do outro lado (PIECHNIK et al., 2018).

**METODOLOGIA**

O desenvolvimento de um produto consiste em um conjunto de atividades, que pode iniciar a partir de uma necessidade de mercado, das possibilidades e das restrições tecnológicas. Esse conjunto de atividade que acompanha o produto passa por etapas como:

**a) projeto informacional**: é o momento em que se adquire as informações necessárias para o início de um novo produto ou um re-projeto de produto;

**b) projeto conceitual**: é a etapa na qual são identificados os problemas essenciais que envolvem as linhas de produção, focada nos princípios funcionais da engenharia, ou seja, o planejamento do produto correspondente as informações obtidas na fase do projeto informacional.

**c) projeto preliminar**: é a fase final do projeto conceitual, definida em 3 partes:

1 – Otimização do layout do produto, considerando todos os fatores possíveis como: função técnica (materiais, tecnologia, processo de fabricação), função de sustentabilidade, função estético formal, função simbólica, função ergonômica, função operacional, função informacional, função de marketing, etc;

2 – Verificação dos erros e custo efetivo, preparação da lista preliminar das partes e dos documentos de produção;

3 – Obtenção de uma alternativa definitiva de projeto, iniciando então a utilização das ferramentas de sistema: CAD, CAM, CAE.

**d) projeto detalhado**: fase de criação dos detalhamentos dos planos de processo de fabricação e montagem, como geometria, materiais, acabamento, padronização, codificação de componentes, ajustes e tolerâncias. Seguem os passos:

- DFMA (projeto para fabricação e montagem) é a realização dos desenhos de detalhes, documentos de produção e verificação de todos os documentos.

- Tarefas de análise, como: a) realizar análise econômica; b) *benchmark* comparativo do produto; c) construção e teste de modelos e protótipos.

O método que iremos adotar para o desenvolvimento de um produto de design ecológico está indicado no fluxograma na Figura 2 (VINODH, 2011). A analogia de pesquisa por trás da condução deste projeto é que existe uma necessidade de desenvolver projetos de produtos ecologicamente corretos. A fim de realizar esta tarefa, tecnologias avançadas como CAD/CAM/CAE foram selecionados.

Figura 2 - Metodologia de Pesquisa

|  |
| --- |
| Revisão da literatura sobre design de produtos com consciência ambiental |

|  |
| --- |
| Seleção do produto candidato para investigação |

|  |
| --- |
| Modelagem CAD de componentes do produto |

|  |
| --- |
| Análise de sustentabilidade dos componentes do produto |

|  |
| --- |
| Determinação do impacto ambiental dos componentes do produto |

|  |
| --- |
| Otimização da topologia usando CAE |

|  |
| --- |
| Análise do impacto ambiental e desenvolvimento dos componentes do produto |

Fonte: VINODH, 2011.

O projeto começa com a revisão da literatura sobre projetos de produtos mais ecologicamente corretos. Em seguida, uma organização de manufatura apropriada será selecionada. Na sequência, a modelagem CAD dos componentes será realizada sendo seguido pela realização de análises de sustentabilidade pelas ferramentas disponíveis no mercado. O impacto ambiental dos componentes será analisado via ferramenta de sistema. Os componentes serão otimizados usando CAE e o impacto ambiental é medido novamente. Por fim, integração CAM para produção piloto.

**CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO**

Os tópicos de A à N das atividades listadas abaixo estão relacionados com o cronograma apresentado na a Tabela 2 a seguir, cobrindo o período de dois anos.

A. Pesquisa Bibliográfica;

B. Coleta de informações necessárias para o início do produto, ou reprojeto;

C. Planejamento do produto;

D. Otimização do layout do produto;

E. Análise, preparação e documentação da produção;

F. Detalhamentos dos planos de processo de fabricação e montagem;

G. Desenhos de detalhes, documentos de produção e verificação de documentos;

H. Análise econômica, *benchmark* comparativo do produto, construção e teste dos modelos e protótipos;

I. Modelagem CAD dos componentes do projeto;

J. Análise de sustentabilidade pelo software selecionado;

K. Determinação do impacto ambiental;

L. Otimização do projeto usando CAE;

M. Análise de impacto ambiental e desenvolvimento de componentes sustentáveis;

N. Projeto piloto (CAM).

Tabela 2 – Cronograma de Atividades do Projeto de Pesquisa.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **2022** | **2023** | | **2024** |
|  | **2o semestre** | **1o semestre** | **2o semestre** | **1o semestre** |
| **A** | X |  |  |  |
| **B** | X |  |  |  |
| **C** | X | X |  |  |
| **D** | X | X |  |  |
| **E** |  | X | X |  |
| **F** |  | X | X |  |
| **G** |  | X | X |  |
| **H** |  | X | X |  |
| **I** |  | X | X |  |
| **J** |  |  | X | X |
| **K** |  |  | X | X |
| **L** |  |  | X | X |
| **M** |  |  |  | X |
| **N** |  |  |  | X |

Fonte: Autor.

**RESULTADOS**

Como resultado, espera-se validar o processo de fabricação sustentável através das ferramentas CAD/CAE/CAM. Constatando sua viabilidade, eficiência, redução de custos, aumento de produtividade e baixo impacto ambiental. Com o presente trabalho será possível apoiar e complementar as pesquisas nesta área de conhecimento.

Por fim, cabe destacar que trabalhos semelhantes já estão sendo feitos por outras instituições, como a instituição SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) que iniciou projeto piloto de produção sustentável em indústrias de móveis [17].

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

1 – GAHA, R.; YANNOU, B.; BENAMARA, A. **Selection of a green manufacturing process based on CAD features**. Int J Adv Manuf Technol 87, 2016. 1335–1343 p. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7499-y>.

## 2 – Tecnologia de Usinagem da Força Aérea, consultado no site: <https://fit-tecnologia.com.br/a-forca-aerea-dos-eua-anuncia-sucessos-em-manufatura-sustentavel/>. Acesso em 18 de novembro de 2020.

# 3 – RUSSO D. A Computer Aided Strategy for More Sustainable Products. In: Cavallucci D., de Guio R., Cascini G. (eds) Building Innovation Pipelines through Computer-Aided Innovation. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 355. 2011. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-22182-8_12>

4 – NAÇÕES UNIDAS, consultado no site: <https://unric.org/pt/Objetivos-de-Desenvolvimento-Sustentavel/>. Acesso em 24 de novembro de 2020.

5 – RUGGLES, R.; PHANSEY, A.; LINDER, B.; **Guide to Sustainable Design: Using SolidWorks Sustainability**. Dassault Systèmes SolidWorks Corp., consultado no site: <https://www.solidworks.com/sustainability/images/content/sustainability/guide_to_sustainable_design.pdf>. Acesso 24 de novembro de 2020.

6 – NAIME, R.; ASHTON, E.; HUPFFER, H. M. **Do Design ao Ecodesign: Pequena História, Conceitos e Princípios**. v(7), nº 7, 2012. 1510-1519 p.

7 – GUELERE FILHO, A. **Integração do Ecodesign ao modelo unificado para a gestão do processo de desenvolvimento de produtos: estudo de caso em uma grande empresa de linha branca**. 243 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

8 – GUELERE FILHO, A; et all. **Ecodesign: Métodos e Ferramentas**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

9 – NIELSEN, P.H.; WENZEL, H. **Integration of environmental aspects in product development: a stepwiseprocedure based on quantitative life cycle assessment**. In: Journal of Cleaner Production 10. 2002. 247-257 p.

10 – KNIGHT, W., CURTIS, M.: **Design for environment software development**. Journal of Sustainable Product Design 9, 1999. 36–44 p.

11 – KOBAYASHI, H.: Strategic **evolution of eco-products: a product life cycle planning methodology**. Research in Engineering Design 16(1-2), 2005. 1–16 p.

12 – BRUNTLAND, G.H.: **Report of the World Commission on Environment and Development (WCED), Our Common Future (1987)**; Oxford University Press, Oxford, 1997.

13 – ULIANA, R. **Um panorama da evolução da abordagem e adoção da sustentabilidade na formação do Engenheiro**. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Sem data. 30 slides.

14 – KANITAR, F. P. **Análise do desenvolvimento dos sistemas CAD/CAE/CAM no Brasil nos diversos setores do conhecimento sob a ótica da propriedade industrial.** Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, RJ, 2005.

15 – PIECHNIK, S.K., NEUBAUER, S. & FERREIRA, V.M. **State-of-the-art review: stress T1 mapping - technical considerations, pitfalls and emerging clinical applications**. MagnReson Mater Phy 31, 2018. 131–141 p. <https://doi.org/10.1007/s10334-017-0649-5>.

16 – VINODH, S. **Environmental conscious product design using CAD and CAE**. Clean Techn Environ Policy 13, 2011. 359–367 p. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0310-8>.

## 17 – SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), consultado no site: <http://www.fiems.com.br/noticias/senai-e-instituto-preparam-projeto-piloto-de-producao-sustentavel-em-industrias-de-moveis/15867>. Acesso em 18 de novembro de 2020.